

# Trabajo Fin de Grado

Análisis técnico, económico y medioambiental de las  
baterías utilizadas en vehículos eléctricos

Technical, economic and environmental analysis of  
the batteries used in electric vehicles

Autor

Diego Campos Carbonel

Director

José Luis Bernal Agustín



DECLARACIÓN DE  
AUTORÍA Y ORIGINALIDAD

(Este documento debe acompañar al Trabajo Fin de Grado (TFG)/Trabajo Fin de Máster (TFM) cuando sea depositado para su evaluación).

D./D<sup>a</sup>. Diego Campos Carbonel

con nº de DNI 18452792F en aplicación de lo dispuesto en el art. 14 (Derechos de autor) del Acuerdo de 11 de septiembre de 2014, del Consejo de Gobierno, por el que se aprueba el Reglamento de los TFG y TFM de la Universidad de Zaragoza,

Declaro que el presente Trabajo de Fin de (Grado/Máster) Grado \_\_\_\_\_, (Título del Trabajo) Análisis técnico, económico y medioambiental de las baterías utilizadas en vehículos eléctricos

es de mi autoría y es original, no habiéndose utilizado fuente sin ser citada debidamente.

Zaragoza, a 20 de Abril de 2017

Fdo: Diego Campos Carbonel

# **Análisis técnico, económico y medioambiental de las baterías utilizadas en vehículos eléctricos**

## **RESUMEN**

Este trabajo se realiza como Trabajo de Fin de Grado con el fin de obtener la titulación de Grado en Ingeniería Eléctrica.

El objetivo de este trabajo es realizar un análisis desde el punto de vista técnico, económico y medioambiental de los distintos tipos de baterías utilizados en los vehículos eléctricos, así como la comparación con el vehículo convencional.

En primer lugar se exponen los tipos de baterías utilizadas en los vehículos eléctricos, así como una introducción a las posibles baterías que se utilizarán en el futuro. Posteriormente, con los datos extraídos de distintos catálogos, se realizará un análisis económico de ellas para así llegar a la conclusión de por qué unas son más utilizadas que otras.

También se realiza una exposición de los distintos tipos de recarga del vehículo eléctrico, además de nombrar otros tipos de recarga que podrían utilizarse en el futuro, como son la recarga por inducción o el cambio rápido de baterías.

Finalmente se realiza un análisis medioambiental, comprobando como se reciclan los distintos tipos de baterías, así como otras soluciones, como dar una segunda vida a las baterías cuando son reemplazadas en los vehículos. En este apartado también se realiza una comparación con el vehículo convencional en cuanto a la contaminación generada por cada uno de ellos, teniendo en cuenta el proceso de producción y no solamente la conducción.

# INDICE

1.	OBJETIVOS .....	1
2.	TIPOS DE BATERÍAS UTILIZADAS EN VEHÍCULOS ELÉCTRICOS .....	2
2.1.	Plomo ácido.....	2
2.2.	Niquel-hidruro metálico .....	5
2.3.	Ión-Litio .....	6
2.4.	LiFePO4.....	8
2.5.	ZEBRA (Sal fundida) .....	8
2.6.	Aluminio-aire.....	9
2.7.	Baterías de aluminio-grafito .....	10
2.8.	Baterías de grafeno .....	10
3.	ANÁLISIS ECONÓMICO Y TÉCNICO DE LAS BATERÍAS ELÉCTRICAS.....	11
3.1.	Tabla análisis económico y técnico de los distintos tipos de baterías .....	12
3.2.	Tipos de vehículos eléctricos.....	15
3.2.1.	Vehículo 100% eléctrico .....	15
3.2.2.	Vehículo eléctrico con autonomía extendida .....	15
3.2.3.	Vehículo híbridos enchufables .....	16
3.2.4.	Vehículos eléctricos híbridos.....	16
3.3.	Problemática de ruidos .....	16
4.	TESLA .....	18
5.	RECARGA .....	21
5.1.	Tipos de recarga y tiempos .....	21
5.1.1.	Recarga súper-lenta .....	21
5.1.2.	Recarga lenta.....	21
5.1.3.	Recarga semi-rápida.....	21
5.1.4.	Recarga rápida.....	22
5.1.5.	Recarga ultra-rápida.....	22
5.2.	Modos de carga o nivel de comunicación.....	22
5.2.1.	Modo 1 .....	22
5.2.2.	Modo 2 .....	23
5.2.3.	Modo 3 .....	24
5.2.4.	Modo 4 .....	24
5.3.	Carga rápida por inducción .....	25
5.4.	Cambio de baterías: .....	26

6.	LEGISLACIÓN EUROPEA RELATIVA A PILAS Y ACUMULADORES.....	27
7.	RECICLAJE DE LOS DISTINTOS TIPOS DE BATERÍAS: .....	28
7.1.	Baterías de plomo ácido.....	28
7.2.	Baterías NiMH .....	30
7.3.	Baterías de litio.....	31
7.4.	Baterías ZEBRA: .....	32
8.	CONTAMINACIÓN VEHICULO ELÉCTRICO. ....	33
8.1.	Producción energética en España .....	35
9.	CONCLUSIONES .....	36
	REFERENCIAS.....	37
	ANEXO	

## **1. OBJETIVOS**

El principal objetivo es el análisis del estado actual del mercado de baterías para vehículos eléctricos, así como su evolución a corto plazo. Dicho análisis se ha realizado desde los puntos de vista técnico, económico y medioambiental. Además se ha comparado el vehículo eléctrico con el convencional en algunos aspectos, como el medioambiental.

Para ello se ha buscado información en diversos artículos técnicos, científicos y de opinión. Se han obtenido datos de catálogos para la comparación de los distintos tipos de baterías y se han utilizado hojas de cálculo para reflejar dichos datos mediante gráficos y tablas.

En resumen, los objetivos de este trabajo son:

- Revisión de información sobre las tecnologías de baterías para los vehículos eléctricos.
- Análisis económico y técnico de los distintos tipos de baterías.
- Análisis de los tipos de carga en función del tipo de batería.
- Análisis del reciclaje y aspectos medioambientales.
- Obtención de resultados y conclusiones.

En esta memoria, en primer lugar, se muestra una introducción de los distintos tipos de baterías utilizadas en la actualidad, indicando los posibles modelos que pueden estar disponibles en un futuro próximo. Después se compararan las distintas características de dichas baterías desde un punto de vista económico. A continuación se exponen y comentan los distintos tipos de recarga y de vehículos eléctricos, y se realiza un análisis medioambiental, comparando las emisiones contaminantes producidas por los vehículos eléctricos y los de gasolina. Finalmente se indican las conclusiones a las que se puede llegar tras el estudio realizado.

## 2. TIPOS DE BATERÍAS UTILIZADAS EN VEHÍCULOS ELÉCTRICOS

### 2.1. Plomo ácido

El mecanismo que permite la utilización de una batería como una fuente portátil de energía eléctrica, es una doble conversión de energía llevada a cabo mediante el uso de un proceso electro-químico. La primera conversión, energía eléctrica en energía química, toma lugar durante el proceso de carga. La segunda, energía química en energía eléctrica, ocurre cuando la batería es descargada. Para que estas conversiones puedan llevarse a cabo se necesitan dos electrodos metálicos inmersos en un medio que los vincule, llamado electrolito.

Este conjunto forma una celda de acumulación, cuyo voltaje, en una batería de plomo-ácido, excede levemente los 2V, dependiendo de su estado de carga [1][2].

#### *Proceso de carga:*

El voltaje proporcionado por una batería de acumulación es de CC. Para cargarla se necesita un generador de CC, el que deberá ser conectado con la polaridad correcta: positivo del generador al positivo de la batería y negativo del generador al negativo de la batería. Para poder forzar una corriente de carga el voltaje deberá ser algo superior al de la batería.

La corriente de carga provoca reacciones químicas en los electrodos, las que continúan mientras el generador sea capaz de mantener esa corriente, o el electrolito sea incapaz de mantener esas reacciones. El proceso es reversible. Si se desconecta el generador y se conecta una carga eléctrica a la batería, circulará una corriente a través de ésta, en dirección opuesta a la de carga, provocando reacciones químicas en los electrodos que vuelve el sistema a su condición inicial.

#### *Ciclo carga-descarga:*

En principio el "ciclo" de carga-descarga puede ser repetido indefinidamente. En la práctica existen limitaciones para el máximo número de ellos, ya que los electrodos pierden parte del material con cada descarga. La diferencia funcional entre diferentes tipos de baterías obedece al uso de diferentes electrolitos y electrodos metálicos. Dentro de un mismo tipo de batería, la diferencia funcional es el resultado del método de fabricación.

#### *Características que definen la batería:*

Las características que definen una batería de acumulación son tres: la cantidad de energía que puede almacenar, la máxima corriente que puede entregar (descarga) y la profundidad de descarga que puede sostener. La cantidad de energía que puede ser acumulada por una batería está dada por el número de vatios-hora (Wh) de la misma. La capacidad (C) de una batería de sostener un régimen de descarga está dada por el número de amperios-hora (Ah).

El número de Ah de una batería es un valor que se deriva de un régimen de descarga especificado por el fabricante.

Curva de carga y descarga:

Las curvas de descarga muestran que a baja temperatura la caída de voltajes es mucho más severa que la que se observa, para la misma corriente a 25°C. La baja temperatura retarda la reacción química, lo que se traduce en un brusco aumento de la resistencia interna de la batería, lo que provoca una mayor caída del voltaje.

Para la carga, se observa que el voltaje correspondiente a un dado estado y corriente de carga, es siempre menor cuando la temperatura disminuye. Es conveniente cargar una batería con un nivel de corriente que no exceda el máximo dado por el fabricante.

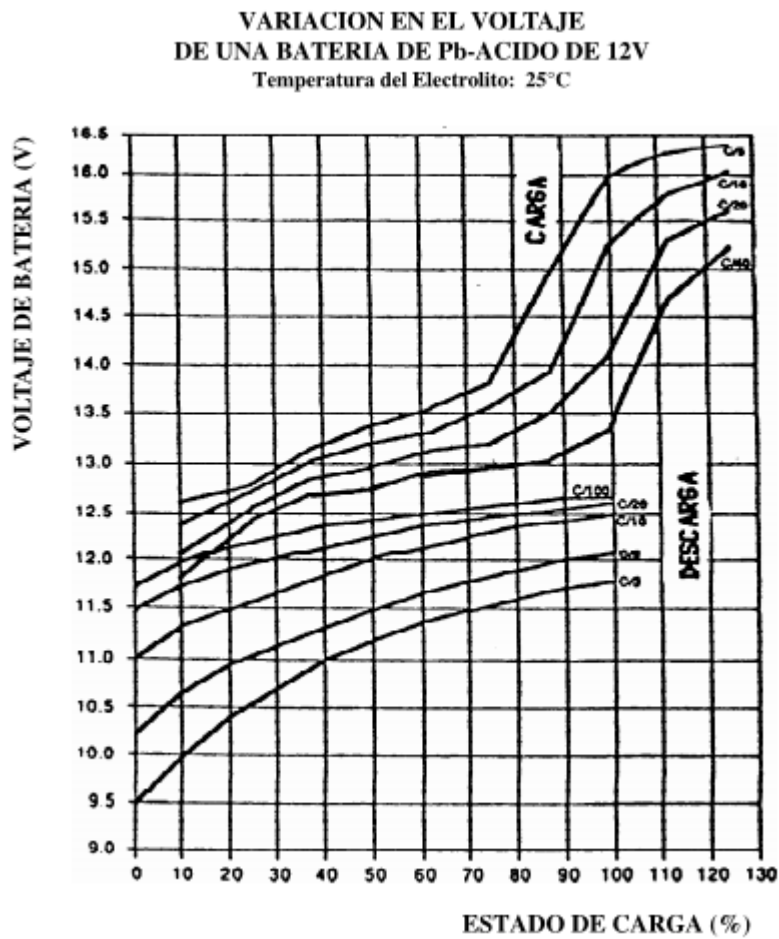


Figura 1. Variaciones de Voltaje en una Batería Pb-ácido a 25°C [1]



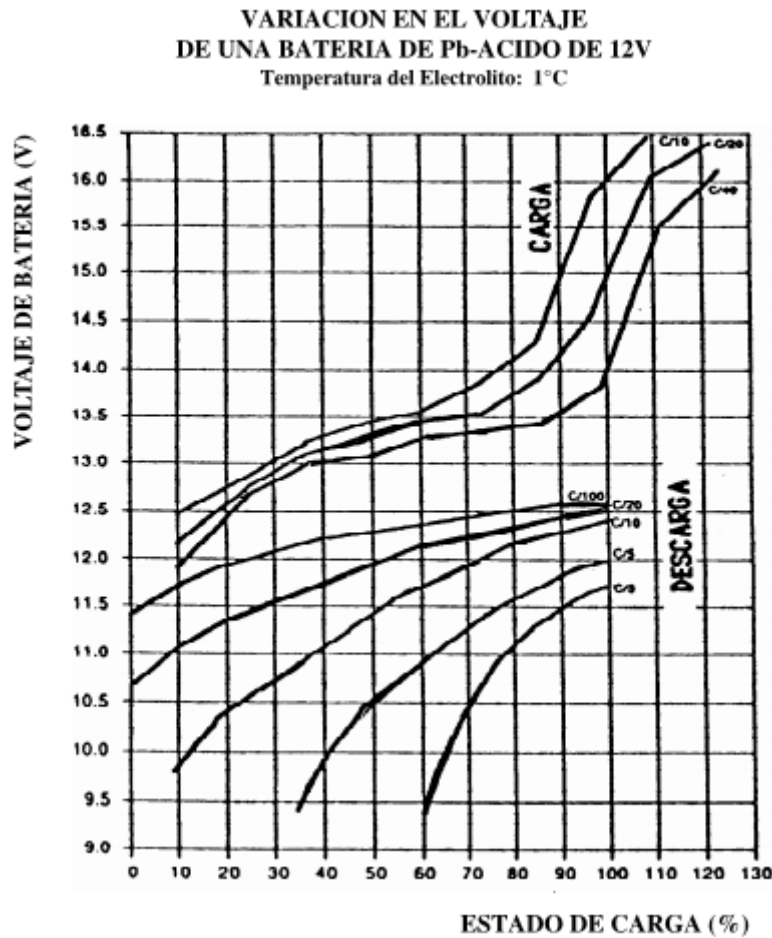


Figura 2. Variaciones de Voltaje en una Batería Pb-ácido a 1°C [1]

Las baterías de Plomo-Ácido son la opción de bajo coste, y se han utilizado durante décadas para arrancar los motores de combustión. Entre sus ventajas, además del bajo coste y estandarización universal, se encuentran su buena potencia específica (W/kg), buen comportamiento en un amplio rango de temperaturas, buena retención de la carga en el tiempo y son relativamente fáciles de reciclar. Pero en su contra podemos decir que sólo pueden almacenar unos 40 Wh/kg, una densidad energética muy pobre.

Características técnicas [3]:

Tensión nominal: 2 V

Eficiencia: 75 – 85 %

Temperatura de trabajo: -40 – 55 °C

Energía específica: 35 Wh/kg

Densidad de energía: 70Wh/L

Densidad de potencia: Alta

## **2.2. Níquel-hidruro metálico**

Una batería de Ni-MH (níquel-hidruro metálico) es un tipo de batería recargable que utiliza un ánodo de oxidróxido de níquel (NiOOH), y su cátodo es de una aleación de hidruro metálico. Esta batería permite eliminar el costoso cadmio, utilizado en las baterías de níquel-cadmio, y actualmente en desuso debido a que este material es peligroso para el medio ambiente, a la vez que se beneficia de una mayor capacidad de carga (entre dos y tres veces la de una batería de Ni-Cd del mismo tamaño y peso) y un menor efecto memoria. Por el contrario, estas baterías presentan una mayor tasa de autodescarga que las de Ni-Cd [4][5].

### *Autodescarga*

Las baterías sufren también de un efecto de autodescarga, o sea, pierden alguna energía cuando no son utilizadas.

Por lo general, las baterías no consiguen mantener toda la energía que contienen. Una batería de Ni-MH tiene una tasa de autodescarga mayor del 10 % en 24 horas, debido a los átomos de hidrógeno en fuga. Esta pérdida de energía hace que sean unas baterías con una de las mayores tasas de autodescarga [4].

### *Ventajas [5]:*

30-40 por ciento más de capacidad que una batería de NiCd estándar.

Menos propensas al efecto memoria que las de NiCd.

Simple almacenamiento y transporte; no están sujetas a control reglamentario.

Menos perjudiciales para el medio ambiente que las de NiCd.

El contenido de níquel hace rentable el reciclaje.

Amplio rango de temperatura.

### *Limitaciones:*

Vida útil limitada; la descarga total reduce la vida útil.

Sensible a la sobrecarga.

Genera calor durante la carga rápida y la descarga con alta carga.

Alta auto-descarga.

Eficiencia alrededor del 65%.

*Características técnicas [3]:*

Tensión nominal: 1.2 V

Eficiencia: ~65%

Temperatura de trabajo: -20 – 50 °C

Energía específica: 75 Wh/kg

Densidad de energía: 240 Wh/L

Densidad de potencia: Moderada – alta

Tasa de autodescarga: 15 – 25 % al mes

### **2.3. Ión-Litio**

Una batería de iones de litio, es una batería de alta densidad de energía. Este tipo de baterías son muy utilizadas en equipos portátiles. Comercialmente, lo más utilizado para el cátodo es el grafito, y para el ánodo, se suele utilizar: óxido de litio cobalto, fosfato de litio cobalto u óxido de litio manganeso. Dentro de la batería, los iones de litio se transfieren entre el electrodo positivo y el electrodo negativo durante la carga o descarga [2].

*Entre las ventajas de este tipo de baterías se pueden destacar [5][6]:*

El litio posee un gran potencial electroquímico (comparado con Pb y Ni).

Se trata de un material muy ligero.

Posee una conductividad eléctrica relativamente alta.

No tiene efecto memoria.

Capacidad para operar con un elevado número de ciclos de regeneración.

Baja tasa de autodescarga (entorno al 6% mensual).

Energía específica elevada.

Se trata de baterías selladas, por lo que no requieren mantenimiento.

Están capacitadas para la carga rápida.

*Pero también hay que tener en cuenta algunas desventajas [5][6]:*

A pesar de poseer una energía específica elevada (150 Wh/kg), aún es mucho inferior a la de los combustibles líquidos (10000 Wh/kg).

Elevado coste, lo que conlleva a un sobrecosto del vehículo.

Necesidad del control preciso de la tensión de la celda.

Necesidad de control de la temperatura y de la corriente.

Pérdida de capacidad cuando se sobrecargan.

Se producen daños irreversibles en descargas bajo un límite.

*Características de carga [3]:*

Debido a los posibles riesgos de explosión, la degradación que se produce al sobrecargar las celdas y los daños irreversibles al descargar la celda por debajo de un cierto límite, es necesario el uso de un circuito de protección y gestión de la carga.

Generalmente, este circuito establece unos límites superior e inferior entre los cuales la batería puede ser cargada y descargada sin problemas. En caso contrario, el circuito de protección se encarga de la desconexión de la batería.

La carga de las baterías de Ión-Litio se distribuye en 3 fases:

Fase 1: se aplica una corriente constante límite hasta alcanzar el voltaje límite de la celda.

Fase2: se aplica el voltaje límite de la celda hasta que la corriente desciende por debajo del 3% de la corriente nominal de la fase 1.

Fase 3: periódicamente, se recomienda realizar una carga completa cada 500 horas.

*Características técnicas [7]:*

Tensión nominal: 3.6 V

Eficiencia: ~89%

Temperatura de trabajo: -20 – 50 °C

Energía específica: 240 Wh/kg

Densidad de energía: 670 Wh/L

Densidad de potencia: Moderada; alta en diseños prismáticos.

Tasa de autodescarga: 2 % al mes

## **2.4. LiFePO4**

Este tipo de batería Ion-litio es parecida a la batería de litio convencional, nombrada en el apartado anterior, con la diferencia de que no usa el cobalto, por lo que tiene una mayor estabilidad y seguridad de uso. Otras ventajas son un ciclo de vida más largo y una mayor potencia. Como inconvenientes a destacar su menor densidad energética y su alto coste [8][9].

Tensión nominal: 3.2 V

Temperatura de trabajo: -40 a 60°C

Energía específica: 130 Wh/kg

Densidad de energía: 220 Wh/L

Densidad de potencia: Menor que la batería de Ion-litio.

Tasa de autodescarga:  $\leq 3\%$  al mes

## **2.5. ZEBRA (Sal fundida)**

Su temperatura interna de funcionamiento va desde los 270°C hasta 350°C haciendo de la batería Zebra una batería caliente. Pero no tiene efecto memoria y ofrece una capacidad energética de unos 125 Wh/kg. Se compone de materiales “renovables”, sal (NaCl), nickel y hierro, mantenidos al vacío en un contenedor sellado [10].

*Ventajas de las baterías Zebra [5]:*

Se trata de baterías 100% reciclables.

Bajo precio (unas cuatro veces más baratas que las baterías de litio con características similares).

Alta energía específica, hasta tres veces más que las baterías de plomo ácido.

Poseen unos 2000 ciclos de vida, de los mejores entre las baterías.

Necesitan 6 horas para llegar a la carga completa en modo normal de carga. En modo de carga rápida necesita 1 hora para cargarse al 80%.

*Desventajas de las baterías Zebra:*

Operan en un rango de temperaturas de 270°C hasta los 350°C, por lo que es necesario un aislamiento.

Cuando no se utilizan, el electrolito se solidifica, por lo que necesitan un tiempo de fundición que puede llegar a ser de dos días para que alcance la temperatura óptima y ofrezca plenamente su carga.

Limitación en su tamaño y capacidad.

*Características técnicas [11][12]:*

Tensión nominal: 2.58 V

Eficiencia: 92.5 %

Temperatura de trabajo: 270 - 350 °C

Energía específica: 300 Wh/kg

Densidad de energía: 125 Wh/L

Tasa de autodescarga: 14% de su capacidad al día para mantener la temperatura cuando se encuentra en desuso.

## **2.6. Aluminio-aire**

Se trata de baterías que aún están en desarrollo, pero investigadores de la empresa española Albufera Energy Storage, especializados en almacenamiento energético para vehículos eléctricos y Smart Grids, están trabajando en el desarrollo de baterías de Aluminio-aire recargables, 8 veces más energéticas que las de Litio, y que son consideradas en el mercado como sus potenciales sustitutas [13].

En las baterías de Aluminio-aire el metal se oxida formando hidróxido de Aluminio, entonces se genera corriente. El Aluminio tiene una de las densidades de energía más altas; las baterías que lo utilizan tienen un potencial 8 veces mayor que las de iones de Litio, usadas actualmente en vehículos eléctricos. Sin embargo, para que estas baterías puedan sustituir a las actuales, todavía deben superar algunos retos como su dificultad de recarga.

## **2.7. Baterías de aluminio-grafito**

Las baterías recargables de ión aluminio empiezan a ser una alternativa a bajo costo de las de ión litio. Se trata de una batería con alta velocidad de recarga, que usa un ánodo de aluminio y un cátodo de espuma de grafito pirolítico. Como ventajas, cabe destacar unos tiempos de recarga de un minuto (ultrarrápido) con una densidad de energía de 40 Wh/kg (similar a las baterías actuales), una alta potencia de unos 3000 W/kg (similar a un supercondensador) y capaz de soportar más de 7500 ciclos de carga/descarga [14][15].

## **2.8. Baterías de grafeno**

El grafeno es un material nanométrico bidimensional, consistente en una sola capa de átomos de carbono fuertemente cohesionados y dispuestos en una superficie uniforme, ligeramente ondulada [16].

Es el material más fuerte jamás registrado, resistente, elástico y está dotado de la mayor conductividad eléctrica y térmica que existe. Tiene una resistencia 200 veces superior al acero y, sin embargo, es el material más fino que se conoce con un grosor de uno o dos átomos de carbono.

Este tipo de baterías se basan en un polímero con base de grafeno que consigue mejorar las propiedades de las baterías en términos de:

- Densidad energética
- Tiempo de carga
- Peso
- Volumen
- Sin efecto memoria

Estas características dotan a las baterías de grafeno de una gran ventaja competitiva frente a las actuales (ión-litio) y abren un gran abanico de aplicaciones en las que integrar esta nueva tecnología.

Las celdas de polímero de grafeno rompen con el inconveniente de la baja autonomía que ofrecen las actuales baterías de ión-litio, proporcionando autonomías superiores a los 600 km reales, haciendo así posible realizar viajes de larga distancia.

### **3. ANÁLISIS ECONÓMICO Y TÉCNICO DE LAS BATERÍAS ELÉCTRICAS**

#### **COSTE:**

El coste se mide en unidad monetaria por kilovatio hora. Es el precio al que los fabricantes venden las baterías según la energía que ésta es capaz de entregar. Para este caso se da el coste en \$/kWh y en €/kWh.

#### **ENERGÍA ESPECÍFICA:**

Se mide en vatios-hora por kilogramo (Wh/kg). La energía específica es la cantidad de energía que la batería puede almacenar por unidad de kg [17].

#### **VIDA ÚTIL:**

La vida útil de una batería se mide en ciclos o en años. Un ciclo es cuando se usa el 100% de la energía de la batería y después se vuelve a cargar. No tiene por qué ser de 100 a 0, pueden ser dos descargas parciales del 50%, por ejemplo. El número de ciclos de la vida útil indican cuando una batería pierde un tanto por ciento de su capacidad (mAh), éste tanto por ciento es especificado por el fabricante [18].

#### **TIEMPO DE CARGA:**

Número de horas necesarias para la carga completa de la batería en unas condiciones estándar (en una toma de corriente de una vivienda).

$$TC = \text{mAh (Batería)} / \text{mAh (Cargador)} = \text{horas de carga [19]}$$

#### **MANTENIMIENTO:**

Conjunto de acciones y cuidados necesarios para que las baterías sigan funcionando correctamente [20].

#### **RECICLAJE:**

Posibilidad de someter a las baterías a un proceso mediante el cual puedan volver a ser usadas [20].



### 3.1. Tabla análisis económico y técnico de los distintos tipos de baterías

TIPO	COSTE (\$/kWh)	COSTE (€/kWh)	ENERGÍA ESPECÍFICA (Wh/kg)	VIDA ÚTIL (ciclos)	TIEMPO DE CARGA (horas)	MANTENIMIENTO	RECICLABLE
Pb Ácido	150[21]	142	35	400-800	8 a 10	Mínimo[22]	si[23]
NiMH[24]	350[25]	331	75	300-600	6	En desuso alta autodescarga[26]	si[23]
Ión-litio[27]	150-350[28]	142-331	240	1000-3000	4 a 5	Ninguno	parcialmente[23]
LiFePO4[29]	167[30]	158	90	2000-3000		Ninguno	parcialmente[23]
ZEBRA[31][32][33]	100	95	300	1000-2000	6 a 8	En desuso el electrolito se solidifica	si
Al-Aire[13]	-	-	-	-	-	-	si
Al-Grafito[14][15]	-	-	40	7000-7500	-	-	si
Grafeno[34][35]	-	-	1000	-	-	-	si[36]

Tabla 1. Análisis económico y técnico de los distintos tipos de baterías. Elaboración propia.

En la tabla se observan algunos datos que afectan al aspecto económico de la batería, ya que no solo el coste es lo único a tener en cuenta. Las horas de carga y la energía que ésta es capaz de almacenar también es un aspecto muy a tener en cuenta económicamente hablando. Al igual que la vida útil, ya que nos indicia, aproximadamente, cuando tendremos que reemplazar la batería.

Hablando de costes, la que mejor se posiciona es la batería ZEBRA (sal fundida) seguida por la de plomo ácido y las de litio. El principal problema de estas baterías de sal fundida es su alta temperatura de operación y que requieren alto mantenimiento ya que cuando no se usan durante un periodo de tiempo, el electrolito se solidifica. Las de plomo ácido tienen el inconveniente de que el plomo es muy tóxico, y tienen un peso muy elevado. Las de Ion-litio poseen el inconveniente de que el coste de producción es más elevado, aunque poco a poco este se va reduciendo, también son frágiles, y pueden llegar a explotar por sobrecalentamiento.

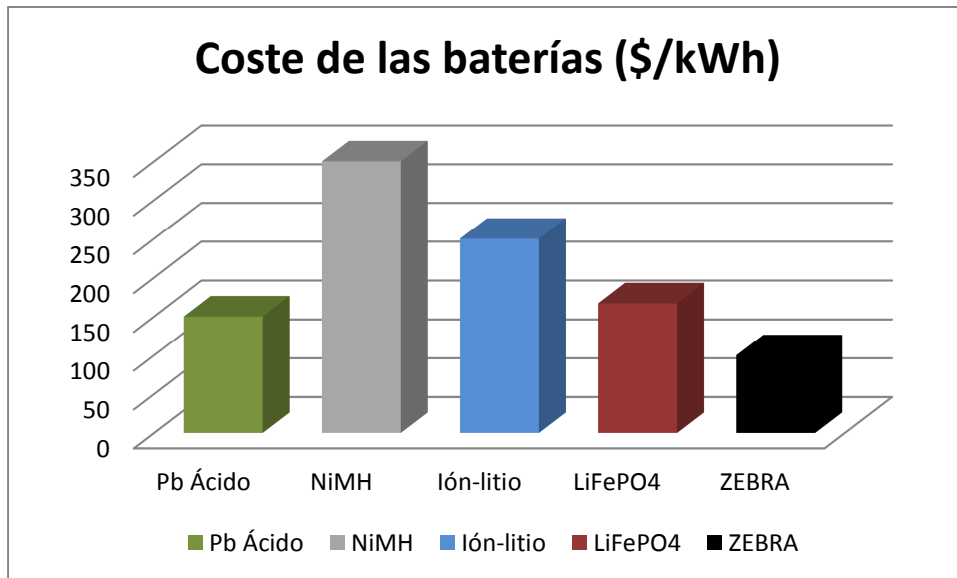


Figura 3. Costes de los distintos tipos de baterías. Elaboración propia

En cuanto a energía específica, las baterías de sal fundida y las de Ion-litio son las mejores, ya que están muy por encima del resto, sobre todo de las de plomo ácido, que son las que menos energía específica poseen de las utilizadas en vehículos.

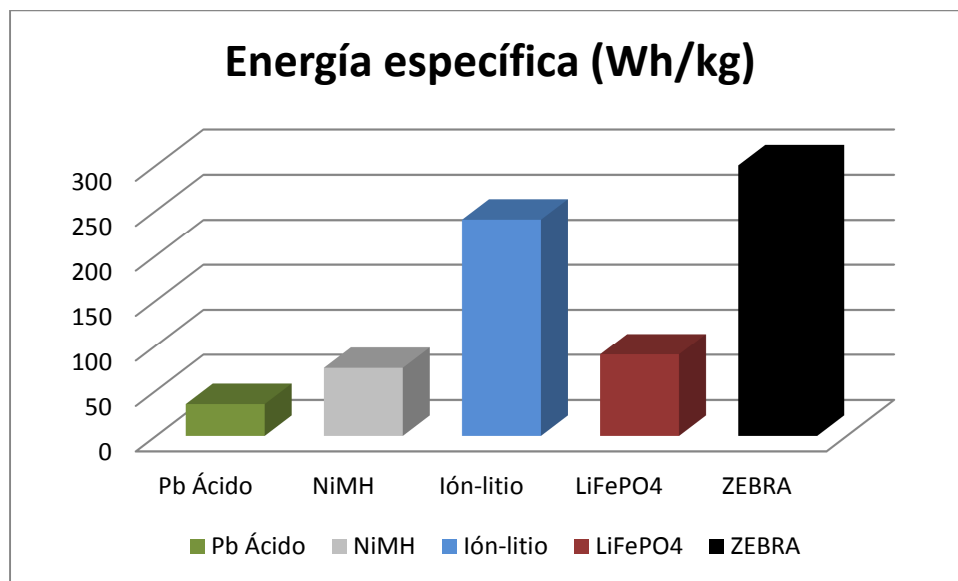


Figura 4. Energía específica de las distintas baterías. Elaboración propia

En el apartado de vida útil, las baterías de Ion-litio y las ZEBRA, vuelven a ser mejores que el resto, ya que las de hidruro metálico y las de plomo ácido tienen una vida útil mucho más reducida comparada con estas. Las baterías de LiFePO4 son baterías de Ion-litio, pero a diferencia de las normales, estas no usan cobalto, esto les da una mayor estabilidad, también tienen la ventaja de poseer mayor potencia y un ciclo de vida más largo. Pero tienen mayor coste y menor densidad de energía que las de Ion-litio convencionales [2].

Observando el tiempo de carga, en condiciones normales, como podría ser la carga en una vivienda, vemos como las de Ion-litio son las que mejores condiciones presentan respecto a las otras, y las baterías de plomo ácido son las que más tiempo requieren.

Por último, vemos que las baterías de Ion-litio no requieren ningún tipo de mantenimiento, las baterías de plomo ácido, en algunas ocasiones requieren ser rellenadas con agua, lo que supone un mantenimiento mínimo. Por otro lado, las baterías de hidruro metálico requieren un mantenimiento bastante alto, ya que cuando no se utilizan tienen una alta tasa de autodescarga. Las baterías de sal fundida también requieren mantenimiento, ya que en desuso el electrolito se solidifica, y hasta que alcanza de nuevo la temperatura óptima de utilización pueden pasar varios días, además este tipo de baterías también requieren ocupar mucho espacio debido a la alta temperatura de operación.

Teniendo en cuenta toda esta información, se puede llegar a la conclusión de por qué las baterías más utilizadas en los vehículos eléctricos son las de Ion-litio, ya que aunque tenga un coste de producción mayor al resto, es superior en el resto de características.

Cabe destacar que se está investigando en otros tipos de baterías. En la tabla se destacan las que están formadas por aluminio-aire, aluminio-grafito y las formadas por grafeno. De estas últimas se espera que tengan una energía específica muy superior a las de Ion-litio, lo que proporcionaría una mayor autonomía a los vehículos con este tipo de baterías. Los fabricantes también aseguran que la vida útil de estas baterías de grafeno puede llegar a ser hasta 4 veces mayor que las de Ion-litio [34].

De las baterías cuyo metal principal es el aluminio, cabe destacar su vida útil, muy por encima de cualquiera de los otros tipos de baterías. Por el contrario, vemos que la energía específica es semejante a las baterías de plomo ácido. Los fabricantes de baterías de aluminio-aire afirman que este tipo de baterías serán hasta 10 veces más baratas que las actuales de Ion-litio y 3 veces más baratas. También afirman que un vehículo eléctrico equipado con este tipo de baterías podría recorrer 10 veces más kilómetros, o lo que es lo mismo, recorrer los mismos kilómetros con una batería 10 veces menor [37].

Endesa compara entre el vehículo eléctrico y un coche tradicional, en lo que a diferencia económica a la hora de repostar se refiere. Basta con observar el consumo medio de un vehículo eléctrico, que está sobre unos 17kWh/100km, recargando en horario nocturno con una tarifa supervalle, puede suponer un coste de unos 1,55€/100km, frente a un mínimo de 7,79€/100km de un vehículo de combustión tradicional [38].

Además del ahorro de combustible, el gasto en mantenimiento es mucho menor, ya que no hay aceites ni lubricantes, escaso desgaste de frenos, ausencia de transmisiones mecánicas, etc.

## **3.2. Tipos de vehículos eléctricos**

### **3.2.1. Vehículo 100% eléctrico**

Éste tipo de vehículos disponen de un motor eléctrico que transforma la energía almacenada en las baterías en energía cinética que se transmite directamente a las ruedas. Este tipo de vehículos aprovechan la energía de las frenadas y los desniveles para generar la electricidad que se acumula en las baterías [39].

### **3.2.2. Vehículo eléctrico con autonomía extendida**

Son vehículos eléctricos con un pequeño motor extra, de combustión, que sirve para generar electricidad que alimenta la batería cuando se ha descargado, para así tener un extra de autonomía. Una vez descargada la batería, el usuario puede elegir entre recargar la batería en un punto de carga, o bien dejar que entre en acción el motor de combustión. Que a la vez cargaría de nuevo la batería. Este motor proporciona un extra de autonomía.

### **3.2.3. Vehículo híbridos enchufables**

En este caso se dispone de dos motores, uno eléctrico alimentado por baterías, las cuales se pueden recargar en un punto de carga, y uno convencional de gasolina o diésel. Pueden funcionar en modo eléctrico en recorridos urbanos, y usar el motor de combustión en desplazamientos por carretera. En este tipo de vehículos, la autonomía y la potencia, dependen del motor convencional gasolina o diésel.

### **3.2.4. Vehículos eléctricos híbridos**

Estos vehículos disponen de los mismos elementos que los enchufables, pero la batería únicamente se recarga aprovechando la energía en las frenadas y la inercia en los desniveles, no tienen la opción de enchufarse.

## **3.3. Problemática de ruidos**

El Parlamento europeo ha aprobado una propuesta que obligará a coches eléctricos e híbridos, a emitir una determinada cantidad de ruido durante a su circulación. Una medida que según la propuesta, está destinada a mejorar la seguridad de los peatones.

Se trata de una normativa que afectará a los coches fabricados a partir de 2019. Fecha desde la cual todos los vehículos impulsados por un motor eléctrico, deberán llevar un sistema de aviso sonoro de forma obligatoria.

Uno de los aspectos más curiosos de la normativa, es que se especifica que este ruido deberá ser similar al de los coches con motor de combustión. Es de suponer que se refieren al nivel de decibelios [40].

En Estados Unidos, las normas propuestas obligarían a los fabricantes a añadir alertas acústicas automáticas cuando los coches circulen por debajo de 30 kilómetros por hora, pero los fabricantes no están de acuerdo [41].

Las alegaciones de los fabricantes se entran en el volumen del ruido que tienen que generar pero sobre todo en la complicación para implementarlo en los coches. Los coches eléctricos necesitan disponer de altavoces externos a prueba de agua para emitir el sonido, un controlador especial y un software que controle el sonido en función de la situación en la que se encuentre el vehículo (acelerando, frenando, velocidad a la que circula...).

Los fabricantes alegan que esto supondría un coste que habrá que trasladar al vehículo y por tanto lo acabaría asumiendo el cliente, y existen dudas acerca de si los usuarios aceptarían asumir este coste [42].

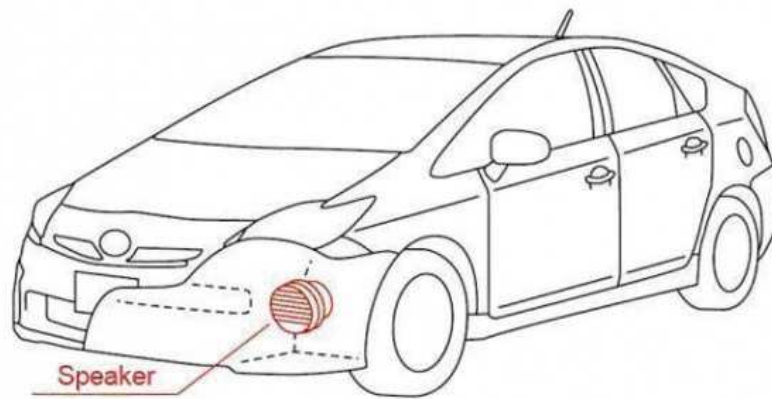


Figura 5. Posible solución para la emisión de ruido del vehículo eléctrico. [41]

## 4. TESLA

Tesla Inc, es una empresa estadounidense, que diseña, fabrica y vende coches eléctricos, componentes para la propulsión de vehículos eléctricos y sistemas de almacenamiento de baterías.

El pack de baterías del modelo Tesla Model S, está compuesto por más de 7000 celdas baterías de iones de litio de la marca Panasonic, conocidas como NCR18650B. Unas baterías tipo celda muy común en la electrónica de consumo, pero que solo es utilizada por Tesla en el mercado de los coches eléctricos [18].

Las principales características de este tipo de baterías son las siguientes:

Especificaciones [18]:

En la siguiente tabla se muestran las especificaciones técnicas de la batería Panasonic NCR18650B.

Specifications	
Rated capacity <sup>(1)</sup>	Min. 3200mAh
Capacity <sup>(2)</sup>	Min. 3250mAh Typ. 3350mAh
Nominal voltage	3.6V
Charging	CC-CV, Std. 1625mA, 4.20V, 4.0 hrs
Weight (max.)	48.5 g
Temperature	Charge*: 0 to +45°C Discharge: -20 to +60°C Storage: -20 to +50°C
Energy density <sup>(3)</sup>	Volumetric: 676 Wh/l Gravimetric: 243 Wh/kg

<sup>(1)</sup> At 20°C <sup>(2)</sup> At 25°C <sup>(3)</sup> Energy density based on bare cell dimensions

Figura 6. Características NCR18650B [18]

Se puede observar que la capacidad nominal de la celda es de 3.200 mAh, medida a una temperatura de 20°C. Si se mide a 25°C, esta capacidad aumenta hasta los 3.250 mAh. Un aumento insignificante, pero que da muestra de cómo afecta la temperatura a este tipo de baterías.

La densidad energética se queda en los 243 Wh/kg. Hay que tener en cuenta que hablamos de la densidad de la celda y no del pack completo.

Características de carga [18]:

La siguiente figura muestra las características de carga de la batería Panasonic NCR18650B:

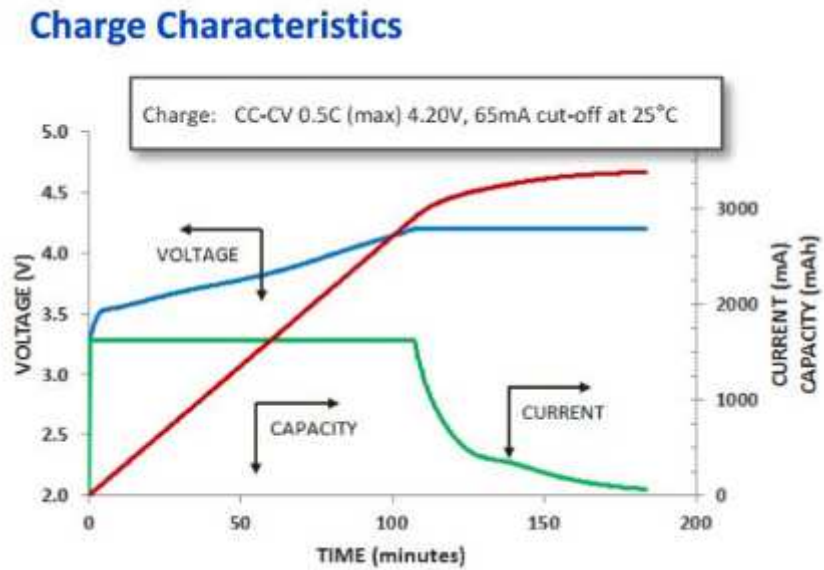


Figura 7. Características de la carga de las NCR18650B [18]

De este gráfico se puede destacar el valor de la corriente, la línea verde. Se puede comprobar cómo según va subiendo la tensión de la celda (es decir, su estado de carga), llega un momento en la que esta se reduce drásticamente. Esto explicaría por qué Tesla anuncia que sus Supercargadores cargan de 0 al 80% en solo 40 minutos, pero necesitan 75 minutos para llegar al 100%. Esto también pasa con la inmensa mayoría de coches que equipan baterías de iones litio.



Figura 8. Tesla Model S [18]



Vida útil [18]:

El siguiente gráfico muestra la capacidad de la batería en función del número de ciclos:

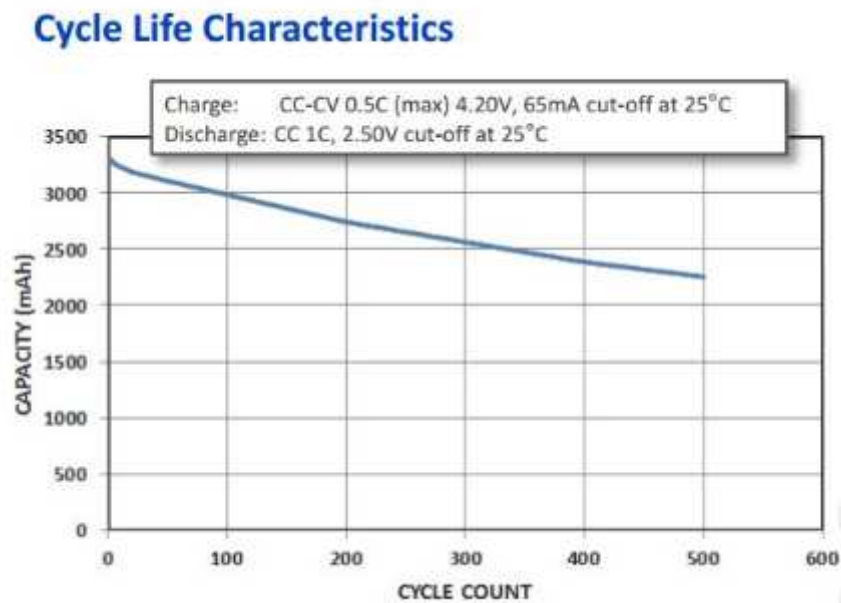


Figura 9. Vida útil de las NCR18650B [18]

Según este gráfico, después de 500 ciclos la celda pasaría de tener 3.300 mAh de capacidad a tener 2.300 mAh, un 30% menos. Sobre el papel, se trata de una pérdida de capacidad importante. Pero hay que tener en cuenta los márgenes de seguridad que establecen las marcas, que no permiten la descarga completa, y alargan la vida útil.

En el 2016 se hizo oficial que Tesla utilizará baterías con una capacidad de 100 kWh en sus nuevos modelos. Unas baterías que proporcionarán una autonomía considerable a estos modelos. En el Model S, la nueva batería alcanzará más de 500 km de autonomía [43].

## **5. RECARGA**

### **5.1. Tipos de recarga y tiempos**

Se distinguen cinco tipos de recarga según la velocidad de esta, que a su vez depende directamente de la potencia disponible. Se distinguen dos grupos, recarga lenta y recarga rápida [37][44][45].

#### **5.1.1. Recarga súper-lenta**

Se da cuando la intensidad de corriente se limita a 10A o menos por no disponer de una base de recarga con protección e instalación adecuada. La recarga completa de las baterías de un vehículo eléctrico medio, de unos 22-24 kWh de capacidad, puede llevar entre diez y doce horas.

#### **5.1.2. Recarga lenta**

También conocida como recarga convencional o normal. Es monofásica, se emplea la intensidad y voltaje eléctricos del mismo nivel de la propia vivienda, es decir, 16A y 230V, demandando unos 3,7kW de potencia.

Con este nivel de potencia, el proceso de carga de la batería tarda unas 8 horas. Esta solución es óptima, fundamentalmente, para recargar el vehículo eléctrico durante la noche en un garaje de una vivienda unifamiliar o garaje comunitario.

Es recomendable la recarga durante el período nocturno, porque teniendo en cuenta el sistema eléctrico actual, es cuando menos demanda energética existe.

#### **5.1.3. Recarga semi-rápida**

Este tipo de recarga aplica niveles de potencia que implican una carga con una duración de unas cuatro horas aproximadamente. Se emplean unos 32A de intensidad y 230V de corriente alterna. Esto implica que la potencia eléctrica que puede entregar el punto para este tipo de cargas es de 7,3kW aproximadamente. Esta solución es óptima, fundamentalmente para recargar el vehículo eléctrico durante la noche en un garaje de una vivienda unifamiliar o garaje comunitario, por ello, algunos fabricantes como Renault están apostando por este tipo de recarga.

#### **5.1.4. Recarga rápida**

Este tipo de recarga se realiza en corriente continua. La potencia que se demanda es muy alta, entre 44 y 50kW, la recarga de esos 22-24kWh puede llevar media hora. Lo normal es que no se haga una recarga del 100% sino en torno al 80% o 90%.

Esta solución es la que, desde el punto de vista del cliente, se asemeja a sus hábitos actuales de repostaje de un vehículo de combustión. Este tipo de carga debe ser concebida como extensión de autonomía o carga de conveniencia.

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

#### **5.1.5. Recarga ultra-rápida**

Apenas se usa, y debe considerarse algo todavía experimental, en vehículos eléctricos a prueba con acumuladores de tipo supercondensadores (por ejemplo algunos autobuses eléctricos). La potencia de recarga es muy elevada, y en unos cinco o diez minutos se pueden recargar las baterías. Las baterías de iones de litio no soportan la temperatura tan elevada que provoca este tipo de recarga pues deteriora gravemente su vida útil.

### **5.2. Modos de carga o nivel de comunicación**

Los modos de carga tienen que ver con el nivel de comunicación entre el vehículo eléctrico y la infraestructura de recarga (y por consiguiente la red eléctrica), y el control que se puede tener del proceso de carga, para programarla, ver el estado, pararla, reanudarla, o incluso volcar electricidad a la red [46].

#### **5.2.1. Modo 1**

No existe comunicación con la red. La carga se lleva a cabo en una toma de corriente monofásica de uso no exclusivo, es decir, por el lado de la pared tenemos un enchufe convencional, el conector tipo Schuko. La toma es normalizada pero no exclusiva para vehículos eléctricos.

En el lado del vehículo nos encontramos un conector específico, que dependerá del modelo elegido por el fabricante. Este modo de recarga es considerado ideal para pequeños vehículos eléctricos, pero no es aconsejable para coches eléctricos debido al sobrecalentamiento de la instalación en usos tan continuados y a su falta de protección.

# MODO 1



Figura 10. Modo 1 de recarga [46]

## 5.2.2. Modo 2

Grado bajo de comunicación con la red. Al igual que el Modo 1, la toma de corriente es estándar de uso no exclusivo, pero en este caso el cable lleva incluido el sistema de protección. La conexión se realiza mediante un cable especial que cuenta con un piloto de control entre el vehículo y la clavija, además de un sistema de protección diferencial. Esto permite verificar si está correctamente conectado a la red, elegir la velocidad de carga y activar/desactivar la recarga.

En la actualidad es el modo más habitual de recarga, ya que la mayoría de los fabricantes incluye de serie el cable con la unidad de carga al comprar el vehículo. Por razones de seguridad no suele sobrepasar los 10-13A. En conclusión, el Modo 2 no es más que un Modo 1 que cuenta con un sistema de protección.

# MODO 2



Figura 11. Modo 2 de recarga [46]

### 5.2.3. Modo 3

Grado elevado de comunicación con la red. Este modo utiliza una toma de corriente especial de uso exclusivo para la recarga del vehículo eléctrico. Se trata de un terminal de recarga, también llamado SAVE (Sistema de Alimentación del Vehículo Eléctrico) o “Wall Box”, que dispone de un sistema de alimentación específico para vehículos eléctricos, donde las funciones de control y protección están en el lado de la instalación fija de forma permanente. Este terminal monitoriza la carga y corta el suministro eléctrico al enchufe cuando no detecta un conector.

Ambos extremos del cable cuentan con conectores específicos. Aunque algunos “Wall Box” llevan integrado el conector del lado de la infraestructura de recarga. Este Modo permite intensidades de hasta 63A, aunque lo normal son 32A.

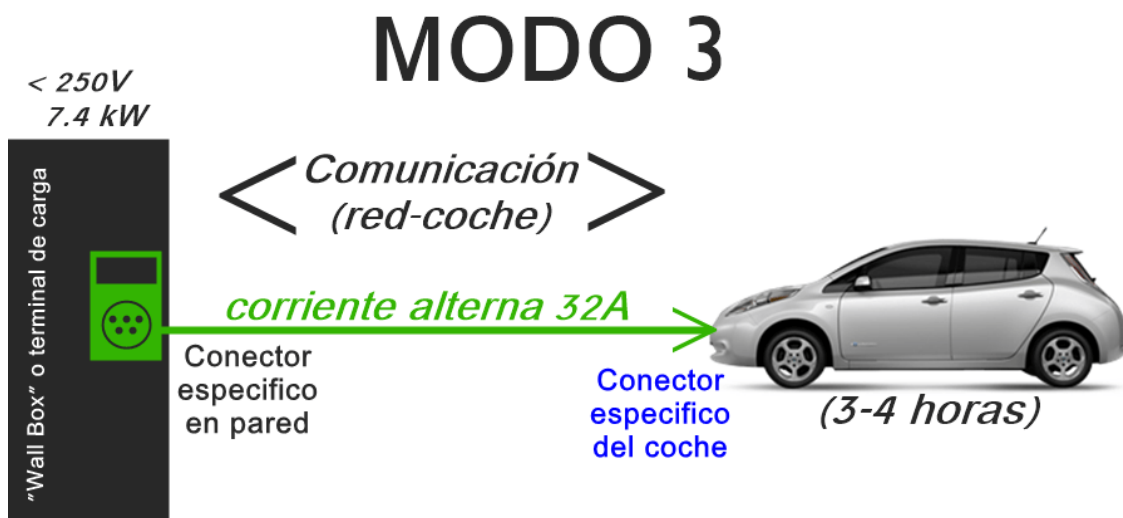


Figura 12. Modo 3 de recarga [46]

### 5.2.4. Modo 4

Grado elevado de comunicación con la red. El vehículo eléctrico se conecta a la red de Baja Tensión a través de una estación de recarga, que mediante un cargador externo realiza la conversión de corriente alterna a continua. Debido a que la conversión se realiza fuera del vehículo se evitan problemas como el calentamiento o la pérdida de energía. Las funciones de control y protección, así como el cable de recarga, están instalados en la parte de la infraestructura de forma permanente. Al igual que en el Modo 3, el cable tiene en sus extremos conectores específicos, estando en la mayoría de los casos el conector del lado de la infraestructura integrado en la estación.

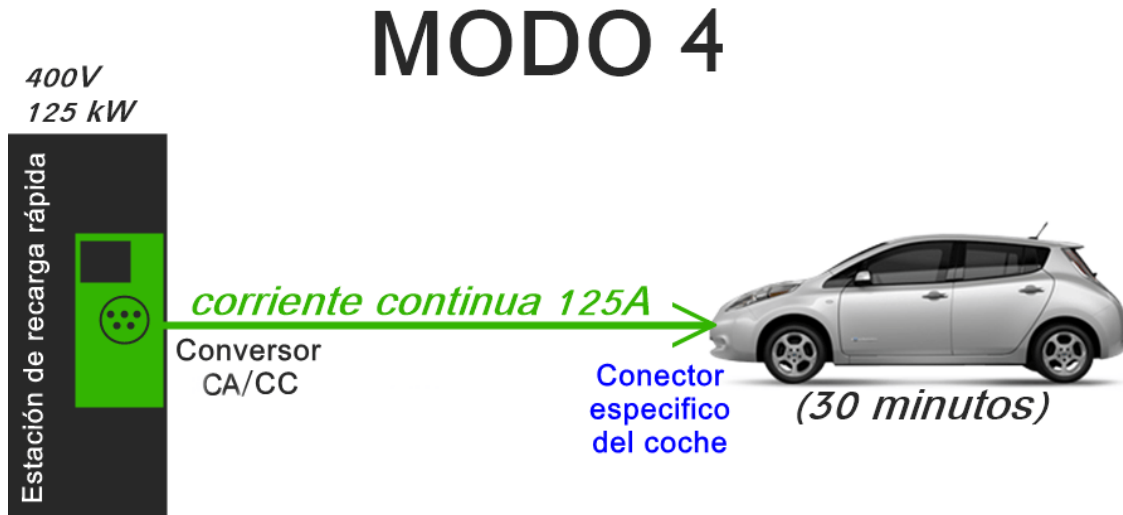


Figura 13. Modo 4 de recarga [46]

### 5.3. Carga rápida por inducción

Concepto [47]:

Un acoplamiento inductivo de transferencia de energía a través del aire, se refiere conceptualmente a un sistema formado por dos bobinas eléctricamente aisladas y acopladas magnéticamente a través del aire, que son capaces de transferir potencia a una elevada eficiencia.

Con la carga por inducción de los vehículos eléctricos no se requiere la existencia de conexión física entre el vehículo y la fuente de alimentación o punto de recarga. De este modo, un emisor situado en el suelo es capaz de transferir energía a un receptor que se encuentra a varios decímetros de distancia, integrado en la carrocería del vehículo. El receptor del vehículo se encarga posteriormente de transferir esa energía a una batería, de la que se alimentará el motor eléctrico.

Ventajas:

Frente a los sistemas convencionales, el modelo de carga rápida por inducción presenta una serie de importantes ventajas:

Es un sistema seguro, sencillo y cómodo para el usuario, al no tener que bajar del vehículo para realizar la carga ni tener que manipular ningún cable.

El equipo no genera impacto visual en el entorno al hallarse todos los dispositivos ocultos en el pavimento, protegiéndolo al mismo tiempo de posibles accidentes o actos vandálicos.

Al estar soterrado, es más fiable en condiciones adversas como temperaturas extremas, o cubierta por agua, hielo o nieve.

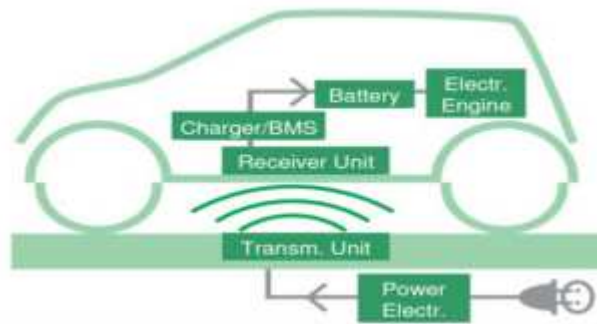


Figura 14. Esquema de recarga por inducción. [47]

## 5.4. Cambio de baterías

Una de las particularidades del vehículo eléctrico es que su batería es muy grande, tiene que acumular mucha energía eléctrica, del orden de varias decenas de kWh, de media unos 20 o 25kWh, y eso implica que no se recarga tan rápido como la batería de un teléfono móvil o un ordenador portátil [48].

La recarga rápida es un gran avance, pero la potencia necesaria para que esta se lleve a cabo no está disponible en un domicilio, y solo se tiene acceso en estaciones de recarga rápida específicas, las cuales se encuentran en la vía pública, en estaciones de servicio o en aparcamientos públicos.

Pero aun con los tipos de carga más rápidos, recuperar una cantidad de unos 200-250km no cuesta menos de 20-30 minutos, esto lleva a pensar en otra solución.

Así, a finales del año 2007 ya nace una propuesta como es el cambio rápido de batería como solución óptima para poder generalizar el uso de los coches eléctricos.

El concepto es el siguiente: quitamos la batería descargada, ponemos otra batería completamente cargada, el coche puede irse, y la batería descargada se queda en la estación para recargarse sin que ello afecte al conductor.

Para llevar a cabo esta idea hay que construir una infraestructura de estaciones de cambio de batería estratégicamente ubicadas. El conductor llega a ella con su coche, lo detiene sobre una plataforma. Debajo de esta plataforma hay un foso por el que se mueve una base robotizada que se eleva hasta entrar en contacto con la cara inferior del paquete de baterías, desatornilla los anclajes que los sujetan al bastidor del coche y desciende llevándose la batería.

Una segunda plataforma con una batería idéntica, pero completamente cargada, se mueve hasta colocarse debajo del coche y se eleva hasta colocarla en su sitio correspondiente. De nuevo se atornillan los anclajes, el paquete de baterías queda perfectamente sujeto al bastidor, y el coche puede irse.

El sistema de cambio rápido de batería de Tesla fue presentado en 2013 y fue sorprendente porque en menos de 90 segundos se cambia la batería de un Tesla Model S. En menos tiempo que lo que se tarda en llenar el depósito de gasolina de un coche similar.

## **6. LEGISLACIÓN EUROPEA RELATIVA A PILAS Y ACUMULADORES**

En Europa existe una ley relativa a las pilas y acumuladores, y a los residuos que estas generan. Aunque se encuentra en el anexo adjunto, podemos afirmar que en dicha ley se recogen:

Las normas de puesta en el mercado de las pilas y acumuladores, y en particular la prohibición de poner en el mercado pilas y acumuladores que contengan sustancias peligrosas.

Las normas específicas de recogida, tratamiento, reciclado y eliminación de los residuos de pilas y acumuladores que completen la correspondiente legislación comunitaria en materia de residuos y fomenten un alto nivel de recogida y reciclado de residuos de pilas y acumuladores.

Con ella se procura mejorar el rendimiento medioambiental de las pilas y acumuladores y de las actividades de todos los operadores económicos que participan en el ciclo de vida de las pilas y acumuladores, como los productores, los distribuidores y los usuarios finales, y en particular, de aquellos operadores que participan directamente en el tratamiento y reciclado de residuos de pilas y acumuladores [49].



## **7. RECICLAJE DE LOS DISTINTOS TIPOS DE BATERÍAS:**

### **7.1. Baterías de plomo ácido**

El plomo es un material muy fácil de reciclar, pudiéndose reutilizar un número indefinido de veces y, aunque en todas ellas se someta a procesos de fusión y afino, el producto final, llamado plomo secundario, es muy similar al primario obtenido a partir de minerales.

A lo largo de los últimos años, la valoración de los residuos del plomo ha sido fundamental para abastecer la mayor parte de la demanda, satisfaciéndose el resto por parte de la minería y de la metalurgia primaria.

El índice de recuperación de baterías en España es superior al 95%: es muy poco el plomo que queda sin ser recuperado y reciclado

El proceso de reciclado de las baterías y otros compuestos de plomo (tuberías, planchas de tejados, etc.) es el siguiente:

Una vez son desechadas las baterías por los usuarios son recopiladas en los talleres de reparación de automóviles, centros autorizados de tratamiento y descontaminación de Vehículos Fuera de Uso (VFU), puntos limpios y gestores autorizados. A través de un sistema de recogida capilar las baterías recuperadas son almacenadas en gestores intermedios junto con el resto de compuestos de plomo que les llegan directamente; una vez se junta el volumen suficiente estos materiales son remitidos a plantas autorizadas que realizan dos procesos:

La trituración de las baterías y separación de los diferentes componentes, y la fusión de todos los compuestos de plomo obtenidos para la obtención de plomo final apto de nuevo para su transformación (principalmente por fábricas de baterías nuevas). Adicionalmente a esto el polipropileno obtenido se remite a plantas de extrusión donde también es recuperado [50].

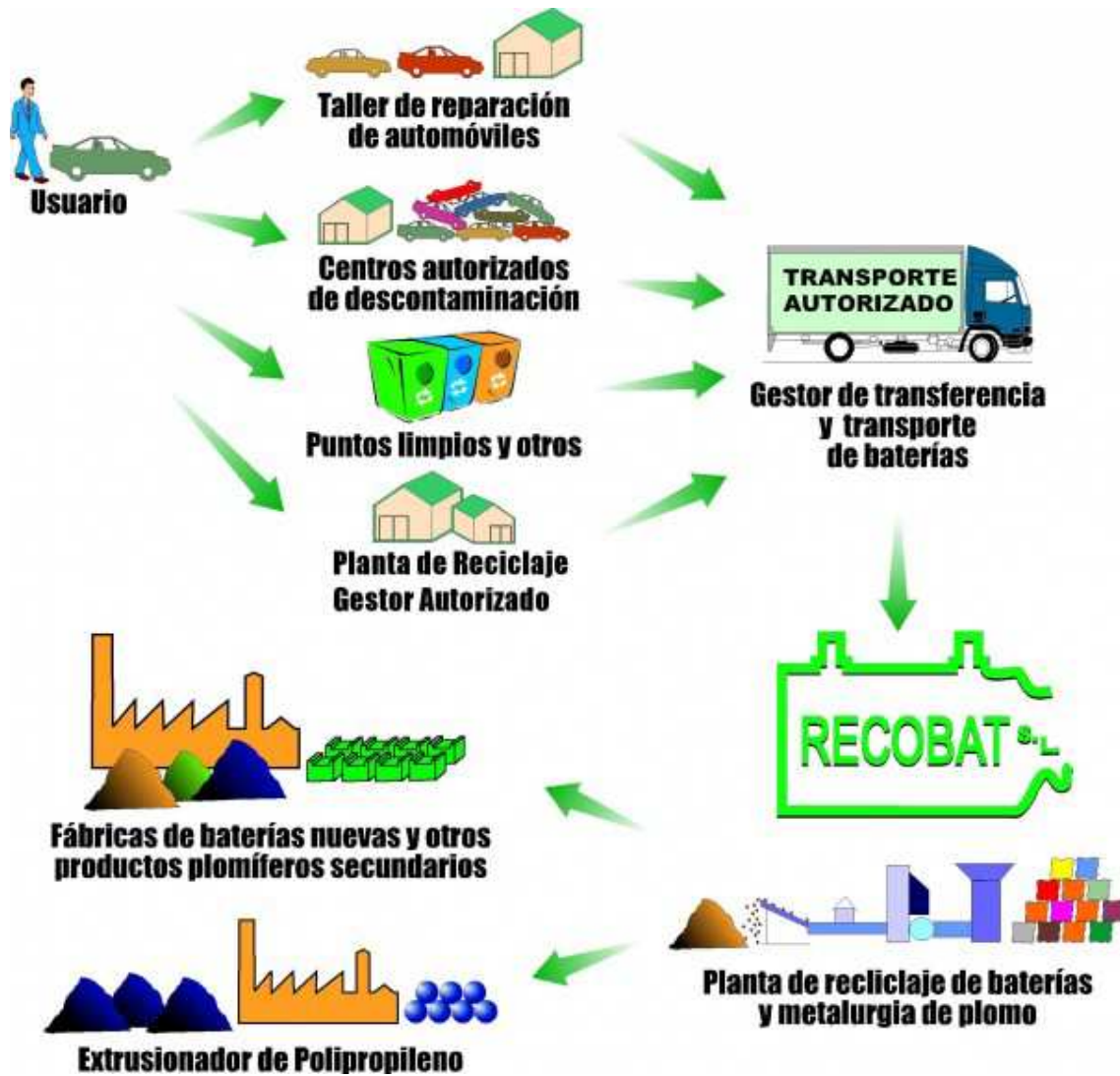


Figura 15. Esquema reciclado RECOBAT [50]

Más del 95% del plomo secundario reciclado es destinado de nuevo a la fabricación de acumuladores o baterías.

## 7.2. Baterías NiMH

La cuota de mercado de las baterías de níquel-hidruro metálico ha ido creciendo constantemente. El objetivo de reciclar este tipo de baterías es la recuperación de níquel, que sirve como un metal importante en el proceso de mejorar el acero.

En la empresa de reciclaje de baterías REDUX el reciclado se realiza de la siguiente manera:

El proceso de recuperación es monitorizado por sensores para asegurar que el escape de hidrógeno no derive en una explosión de este gas. Después de la separación de los plásticos, se obtiene como resultado un producto formado por hierro con una alta concentración en níquel. Este producto obtenido juega un papel importante en el método REDUX para producir una materia prima a base de níquel, que se utiliza como sustituto del ferro-níquel en la producción de acero inoxidable.

Esta empresa no solo utiliza las baterías de níquel-hidruro metálico para la recuperación de este metal, también utilizan todo tipo de basura y chatarra (libre de cadmio) que contenga níquel [51].



Figura 16. Esquema de reciclaje baterías NiMH [52]

### **7.3. Baterías de litio**

El reciclado de las baterías de litio es un negocio rentable, en el cual se desecha el propio litio de las mismas. Esto puede parecer una incongruencia, pero económicamente es así. El precio del litio es alrededor de 6 euros por kilogramo, lo suficientemente bajo como para que no exista un movimiento privado a favor del reciclaje [53].

Cuando mandamos a reciclar nuestras baterías de litio a reciclar, los metales que se extraen de las baterías son aquellos más valiosos, como el cobalto. El cobalto se utiliza en las baterías de ion litio, de donde luego se extrae en forma de óxido de cobalto y litio, con un precio de 19 euros por kilo, más de tres veces en el precio en el mercado del litio.

Aunque los fabricantes han comenzado a tomar cartas en el asunto, algunos buscan nuevas utilidades para las baterías, mientras que otros buscan alianza para reciclar las baterías de sus vehículos [54].

En el caso de Bosch, BMW y Vattenfall han puesto en marcha un proyecto para impulsar el progreso de la movilidad eléctrica y el almacenamiento energético como elementos capitales hacia formas alternativas de energía. Consiste en la interconexión de las baterías usadas procedentes de vehículos eléctricos para formar un sistema de almacenamiento de energía a gran escala en Hamburgo. Su energía está disponible en cuestión de segundos y puede ayudar a mantener la red eléctrica estable.

BMW suministra las baterías de sus modelos de coches eléctricos (ActiveE e i3), mientras que Vattenfall, empresa sueca de suministro de energía, ha accedido a operar el sistema de almacenamiento masivo "in situ" por un periodo de diez años. Bosch por su parte se encarga de la integración de las baterías y la gestión del sistema.

Las baterías de iones de litio aún mantienen una elevada capacidad de almacenamiento de energía al final de su ciclo de vida útil en los vehículos eléctricos. Como resultado de ello, todavía son muy valiosas y pueden ser utilizadas de forma muy eficaz como un 'buffer' estacionario de almacenamiento durante muchos años más.



Figura 17. Esquema reutilización baterías de litio [54]

Mientras tanto, Toyota, en un acuerdo de colaboración con la empresa belga Umicore, apuesta por el reciclaje sostenible de baterías de Ion-litio en Europa. Toyota informa que el proceso de reciclaje de baterías recargables exclusivo de Umicore emplea una tecnología patentada de fundición a temperatura ultra alta que permite reciclar los elementos de valor, como cobalto, níquel y cobre, de las baterías de ión-litio agotadas de forma rentable y respetuosa con el medio ambiente [55].

#### 7.4. Baterías ZEBRA:

La empresa estadounidense Inmetco ha reciclado con éxito 20 toneladas de células ZEBRA añadiéndolas a su horno de fundición de arco sumergido estándar para producir níquel, que contiene aleación fundida, usada en la industria del acero inoxidable. La cerámica y la sal contenidas en las células se recogen en la escoria y es compatible con su proceso. Esto se vende como un reemplazo para caliza utilizada en la construcción de carreteras. Nada va al vertedero [31].

## **8. CONTAMINACIÓN VEHICULO ELÉCTRICO.**

En lo que a emisiones de gases contaminantes durante la conducción se refiere, el coche eléctrico es, sin duda, más respetuoso que el tradicional de gasolina. Pero un estudio llevado a cabo por The National Academy of Science asegura que el vehículo eléctrico es incluso más contaminante que el de gasolina [56].

En este estudio se tiene en cuenta de que materiales están compuestos tales vehículos, ya que los paquetes de baterías son muy pesados, el resto del vehículo lo forman materiales más ligeros como el aluminio y derivados del carbono, los cuales requieren mucha energía en su proceso de producción.

Además, los imanes situados en el motor de algunos de los vehículos eléctricos contienen las conocidas como “tierras raras”. Curiosamente, estos metales no son tan raros como su nombre sugiere. Las tierras raras están esparcidas por gran parte de la tierra, haciendo su extracción poco rentable en muchos lugares. La complicación que aparece, es que China, el principal productor mundial de estas tierras raras, últimamente ha estado tratando de restringir su exportación y extracción, como medida para evitar su agotamiento y, a la vez, minimizar los efectos que sus procesos provocan en el medio ambiente [57].

También se tiene en cuenta de donde procede la energía necesaria para la recarga y por lo tanto para el funcionamiento del vehículo, esta energía proviene en su gran mayoría de combustibles fósiles, que producen gases contaminantes (el 78% de la electricidad producida en China proviene del carbón, el combustible fósil más contaminante), también se produce dicha energía mediante centrales nucleares, cuyos residuos son peligrosos y difíciles de tratar.

Las baterías y sus componentes también suponen un problema medioambiental. Los compuestos como el litio, el cobre y el níquel deben ser extraídos de la tierra y procesados de manera que demandan energía y puedan liberar desechos tóxicos. Y en las regiones con regulaciones deficientes, la extracción de minerales puede extender los riesgos más allá de los trabajadores directamente involucrados. Las poblaciones de los alrededores pueden estar expuestas a sustancias tóxicas a través de la contaminación del aire y del agua subterránea. Al final de su vida útil, las baterías también pueden plantear un problema. Si se reciclan adecuadamente, los compuestos son bastante benignos. Pero manejadas incorrectamente, las baterías desechadas pueden liberar productos químicos tóxicos. Sin embargo, estos factores son difíciles de medir, por lo que a menudo se dejan fuera de los estudios sobre los impactos de los vehículos eléctricos.

El estudio de The National Academy no hizo caso omiso de esas realidades difíciles de medir. Reunió los efectos de la construcción de vehículos, la extracción de combustible, el refinado, las emisiones y otros factores. Con todos los datos obtenidos se llegó a la conclusión de que los daños ambientales (excluyendo los efectos climáticos a largo plazo) son en realidad mayores que los provocados por los vehículos de gasolina.

El estudio de The National Academy destacó por su exhaustividad, pero no es el único que hace evaluaciones tan sombrías. Un estudio noruego publicado en el Journal of Industrial Ecology comparaba los impactos del ciclo de vida de los vehículos eléctricos. Los

investigadores consideraron la lluvia ácida, las partículas en suspensión en el aire, la contaminación del agua, la niebla tóxica y la toxicidad para los seres humanos, así como el agotamiento de los combustibles fósiles y los recursos minerales. Según el coautor Anders Stromman los vehículos eléctricos son peores o están a la par que los vehículos de gasolina, a pesar de las cero emisiones que son emitidas por los eléctricos durante la conducción.

Otro estudio llevado a cabo por investigadores de la Universidad de Tennessee, en el cual se estudiaron distintos tipos de vehículos en 34 ciudades chinas, llegaba a una conclusión similar. Estos investigadores se centraron en los impactos en la salud de las emisiones y las partículas, como los ácidos aéreos, los productos químicos orgánicos, los metales y las partículas de polvo. Para un vehículo convencional, éstos son peores en áreas urbanas, mientras que las emisiones asociadas con los vehículos eléctricos se concentran en las regiones menos pobladas que rodean las centrales eléctricas de carbón de China.

Esta es una tecnología moderna, todavía muy joven, por lo cual tiene mucho margen de mejora, por lo que en un futuro será mucho más respetuosa con el medio ambiente.

## 8.1. Producción energética en España

Según los datos de Red Eléctrica Española, la generación en España, en el año 2016 se distribuyó de la siguiente manera:

Tecnología	Energía producida (%)
Ciclo combinado (gas)	11,4
Carbón	14,5
Fuel/Gas/Cogeneración	12,5
Nuclear	21,7
Eólica	18,4
Hidráulica	13,8
Solar	5,1
Resto Renovables	2,6

Tabla 2. Producción energética en España [58]

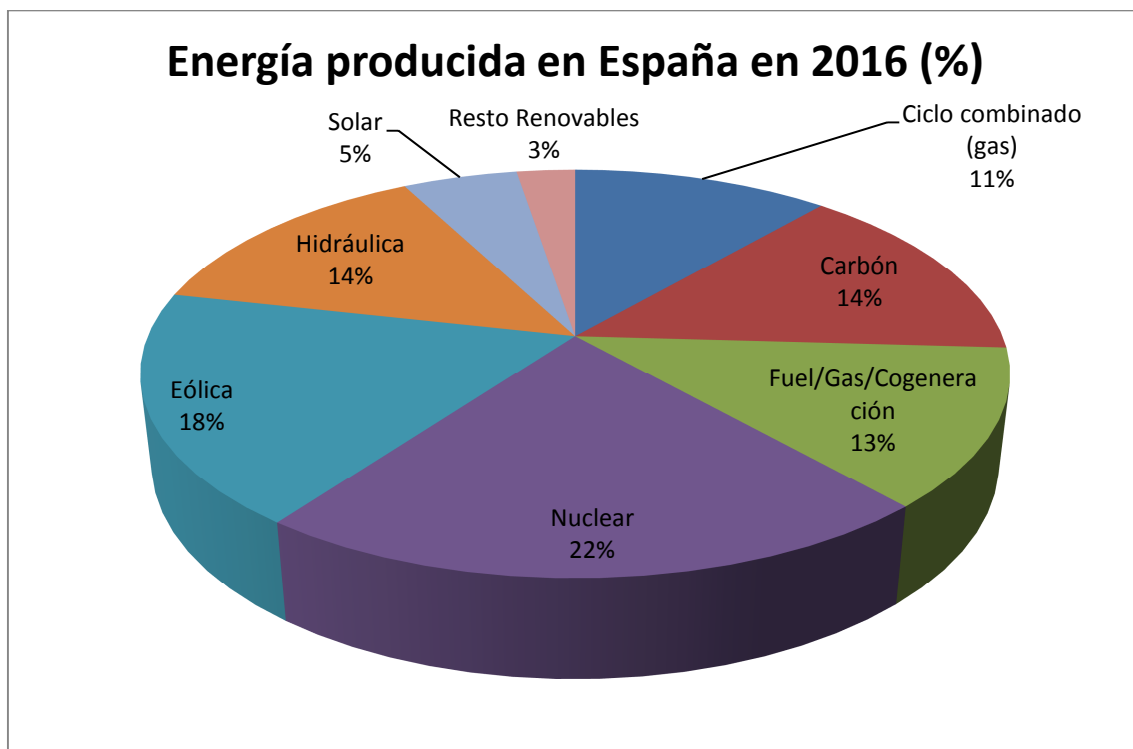


Figura 18. Energía producida en España. Elaboración propia.

Como se puede observar en los datos obtenidos, tan solo el 39,9% de la energía eléctrica generada proviene de las energías renovables, esto supone que en la generación del “combustible” necesario para los vehículos eléctricos se estaría contaminando en gran medida.



## **9. CONCLUSIONES**

Una vez realizados todos los análisis, llega el momento de sacar las conclusiones.

Desde el punto de vista técnico, en el mundo de las baterías se han conseguido múltiples y muy importantes avances, como en el caso de Tesla, que ha conseguido aumentar en gran medida la autonomía de sus baterías de Litio. De todos modos, habrá que esperar a ver si con las nuevas baterías en las que se está investigando, se consigue aumentar aún más la autonomía de los vehículos para competir más directamente con los vehículos de gasolina.

Económicamente, y viendo cómo evoluciona el mercado, está visto que las baterías van en el buen camino para hacer frente a los vehículos de gasolina, pero aún tienen que abaratare más los costes para adquirir este tipo de vehículos, ya que está comprobado que tanto el mantenimiento como el coste de recorrer kilómetros, es menor en los vehículos eléctricos.

Analizando la recarga, desde mi punto de vista, uno de los mayores puntos débiles de este tipo de vehículos, hay mucho margen de mejora, ya que actualmente con los cargadores rápidos, el tiempo de espera para recargar la batería es de unos 20-30 minutos. No obstante, es muy interesante la propuesta del cambio rápido de baterías, ya que esto recortaría los tiempos en gran medida, siendo incluso más rápido este método que la manera de repostar en una gasolinera convencional.

Medioambientalmente, hoy en día es posible reciclar todo tipo de baterías, así que esto no debería suponer ningún tipo de problema. Además, con la apuesta de algunos fabricantes de dar un segundo uso a sus baterías, la contaminación en este sentido es muy baja, o prácticamente nula. Pero si nos fijamos en la producción del vehículo eléctrico, este apartado es un poco más delicado, ya que algunos estudios afirman que en la producción de las baterías, los imanes del motor y los materiales necesarios para construir el vehículo, este tipo de vehículos podría llegar a ser incluso más contaminante que el vehículo convencional. También es muy importante tener en cuenta de donde proviene la energía necesaria para el funcionamiento del vehículo, ya que en el caso de España, más de la mitad de la energía proviene de energías no renovables, lo que supone una emisión de gases contaminantes o de residuos de manera indirecta.

## REFERENCIAS

- [1] “La Batería De Plomo- acido,” pp. 39–48.
- [2] “Tipos de batería para coche eléctrico.” 2017.
- [3] S. Bardo Cáceres, “Proyecto/Trabajo final de carrera,” pp. 1–40, 2010.
- [4] “Nickel-based Batteries.” 2016.
- [5] N. Galindo Martín, “Impacto de la incorporación del vehículo eléctrico en la integración de energías renovables en el sistema eléctrico .,” 2010.
- [6] “Baterías recargables para coche eléctrico.” 2012.
- [7] AVELE, “Las Baterías.” [Online]. Available: <http://www.avele.org/las-baterias/>.
- [8] “Baterías de coches eléctricos e híbridos, hoy [estado de la tecnología del automóvil],” 2012. [Online]. Available: <http://www.diariomotor.com/tecnovia/2012/03/14/bat>.
- [9] “Características de las baterías de LiFePO<sub>4</sub>,” 2011. [Online]. Available: <http://blog.technosun.com/caracteristicas-de-las-baterias-de-lifepo4/>.
- [10] R. Berizzo, “Batería de sal fundida - ZEBRA,” pp. 1–5, 1946.
- [11] C.-H. Dustmann, “Advances in ZEBRA batteries.” 2004.
- [12] “Zebra Batteries.” [Online]. Available: <http://www.mpoweruk.com/zebra.htm>.
- [13] Albufera Energy Storage, “Albufera Energy Storage tendrá sus baterías de Aluminio-aire disponibles en el mercado en 2018,” 2016. [Online]. Available: <http://www.albufera-energystorage.com/2016/10/27/albufera-energy-storage-tendra-sus-baterias-de-aluminio-aire-disponibles-en-el-mercado-en-2018/>.
- [14] Cmsseguros, “Nuevas baterías de aluminio-grafito para los vehículos,” 2015. [Online]. Available: <http://www.cmsseguros.es/nuevas-baterias-de-aluminio-grafito-para-los-vehiculos/>.
- [15] “Baterías de ión aluminio de recarga ultrarrápida.” [Online]. Available: <http://francis.naukas.com/2015/04/08/baterias-de-ion-aluminio-de-recarga-ultrarrapida/>.
- [16] “Graphenano.” [Online]. Available: <http://www.graphenano.com/es/>.
- [17] E. Lorenzo, D. Bellon, and G. Lopez, “Energía específica,” 2010.
- [18] S. Fernandez, “Todo sobre la batería Panasonic NCR18650B. La batería utilizada por Tesla,” 2016. [Online]. Available: <http://forococheselectricos.com/2016/02/la-bateria-panasonic-ncr18650b.html>.
- [19] “Cargue las baterías. Tiempo de cálculo.” [Online]. Available: <https://www.easycalculation.com/es/physics/classical-physics/battery-charge.php>.
- [20] “Diccionario de la lengua española.” [Online]. Available: <http://www.rae.es/>.

- [21] "Battery and Energy Technologies." [Online]. Available: [http://www.mpoweruk.com/chemical\\_energy.htm#top](http://www.mpoweruk.com/chemical_energy.htm#top).
- [22] "Maintenance of Lead Acid Battery." [Online]. Available: <https://www.electrical4u.com/maintenance-of-lead-acid-battery/>.
- [23] BATTERY UNIVERSITY, "How to Recycle Batteries," 2016. [Online]. Available: [http://batteryuniversity.com/learn/article/recycling\\_batteries](http://batteryuniversity.com/learn/article/recycling_batteries).
- [24] C. Noya, "Un vistazo al pasado: Honda Ev Plus," 2009. [Online]. Available: <http://forococheelectricos.com/2009/06/un-vistazo-al-pasado-honda-ev-plus.html>.
- [25] "GM, Chevron and CARB killed the sole NiMH EV once, will do so again," 2016.
- [26] "How to maintain NiMH Battery ?," pp. 1–5.
- [27] P. Name, D. Name, and E. E. Limited, "Cost and performance of EV batteries Final report for The Committee on Executive summary," 2012.
- [28] E. Wesoff, "How Soon Can Tesla Get Battery Cell Costs Below \$100 per Kilowatt-Hour?," 2016. [Online]. Available: <https://www.greentechmedia.com/articles/read/How-Soon-Can-Tesla-Get-Battery-Cell-Cost-Below-100-per-Kilowatt-Hour>.
- [29] LISUN, "Lithium iron phosphate battery (LiFePO4)." [Online]. Available: <http://lisun.com/show/?id=60&page=1&siteid=1>.
- [30] "LiFePO4 vs Lead Acid a cost analysis for energy storage.," 2014. [Online]. Available: <https://www.solarpaneltalk.com/forum/off-grid-solar/batteries-energy-storage/14343-lifepo4-vs-lead-acid-a-cost-analysis-for-energy-storage>.
- [31] R. C. Galloway, M. Sa, and V. Laveggio, "ZEBRA Battery - Material Cost Availability and Recycling," pp. 1–9, 2003.
- [32] "Las baterías Zebra, otra alternativa para los vehículos eléctricos," 2009. [Online]. Available: <http://www.evwind.es/2009/06/08/las-baterias-zebra-otra-alternativa-para-los-vehiculos-electricos/442>.
- [33] A. Moreno, "Baterías Zebra," 2007. [Online]. Available: <http://vehiculosverdes.com/opiniones-y-criticas/baterias-zebra/gmx-niv20-con48.htm>.
- [34] Alvy, "Baterías de grafeno: más rendimiento, mismo precio, altas prestaciones," *microsiervos*, 2016. .
- [35] C. Noya, "Más detalles técnicos de las baterías de Graphenano. Certificados TÜV y Dreka.," 2016. [Online]. Available: <http://forococheelectricos.com/2016/02/mas-detalles-tecnicos-de-las-baterias-de-graphenano.html>.
- [36] R. Abrego Delgado, "Grafeno (Material del futuro)," 2015.
- [37] S. Fernandez, "Tiempo de recarga del coche eléctrico," 2016. [Online]. Available: <http://corrienteelectrica.renault.es/tiempo-recarga-del-coche-electrico/>.
- [38] Endesa, "PREGUNTAS FRECUENTES > Vehículo Eléctrico." [Online]. Available: <http://www.endesavehiculoelectrico.com/vehiculo-electrico/preguntas-frecuentes/cuanto-cuesta>.

- [39] “Tipos de vehículo eléctrico,” 2017. [Online]. Available: <https://www.factorenergia.com/es/blog/eficiencia-energetica/tipos-de-vehiculo-electrico/>.
- [40] C. Noya, “Los coches eléctricos deberán emitir ruido en Europa,” 2014. [Online]. Available: <http://forococheselectricos.com/2014/04/los-coches-electricos-deberan-emitir-ruido-en-europa-partir-del-2019.html>.
- [41] J. Valero, “La obligación para los coches eléctricos de emitir ruido se retrasa,” 2015. [Online]. Available: <https://hipertextual.com/2015/02/coches-electricos-ruido>.
- [42] J. Valero, “El complejo asunto del ruido de los coches eléctricos,” 2015. [Online]. Available: <https://hipertextual.com/2015/12/ruido-coches-electricos>.
- [43] “Ya es oficial la batería de 100 kWh de Tesla,” 2016. [Online]. Available: <http://movilidadelectrica.com/ya-oficial-la-bateria-100-kwh-tesla/>.
- [44] Endesa, “Recarga del vehículo eléctrico.” [Online]. Available: <http://www.endesavehiculoelectrico.com/vehiculo-electrico/recarga/tipos>.
- [45] FAEN, “Recarga del Vehículo Eléctrico,” pp. 2–4.
- [46] “Modos de recarga del vehículo eléctrico.” [Online]. Available: <http://electromovilidad.net/modos-de-recarga-del-vehiculo-electrico/>.
- [47] “Vehículos eléctricos: carga rápida por inducción.”
- [48] Ibáñez, “El cambio rápido de batería en los coches eléctricos: más rápido que repostar gasolina,” 2013. [Online]. Available: <https://www.xataka.com/automovil/el-cambio-rapido-de-bateria-en-los-coches-electricos-mas-rapido-que-repostar-gasolina>.
- [49] “DIRECTIVA 2006/66/CE DEL PARLAMENTO EUROPEO Y DEL CONSEJO de 6 de septiembre de 2006 relativa a las pilas y acumuladores y a los residuos de pilas y acumuladores y por la que se deroga la Directiva 91/157/CEE,” 2006.
- [50] RECOBAT S.L., “RECOBAT S.L.” [Online]. Available: <http://www.recobat.com/?lang=es>.
- [51] REDUX, “Recycling of Primary- and Nickel-Metal Hydride Batteries.” [Online]. Available: <http://www.redux-gmbh.de/english/verwertung.html>.
- [52] “Esta batería de Toyota sobrevive a tu coche y así se recicla su energía.” [Online]. Available: <https://www.motorpasion.com/espaciotoyota/esta-bateria-de-toyota-sobrevive-a-tu-coche-y-asi-se-recicla-su-energia>.
- [53] “El reciclado de las baterías de litio: un negocio rentable en el que se desecha el litio,” 2012. [Online]. Available: <https://www.motorpasionfuturo.com/reciclaje/el-reciclado-de-las-baterias-de-litio-un-negocio-rentable-en-el-que-se-desecha-el-litio>.
- [54] “Baterías de vehículos eléctricos para integrar en la red eléctrica,” 2015. [Online]. Available: <https://www.smartgridsinfo.es/2015/03/04/baterias-de-vehiculos-electricos-para-integrar-en-la-red-electrica>.
- [55] “Toyota selecciona a una empresa belga para que recicle sus baterías de ión-litio,” 2012. [Online]. Available: <http://www.energias-renovables.com/movilidad/toyota-selecciona-a-una-empresa-belga-para-20120828>.

- [56] O. Zehner, "Unclean at Any Speed," 2013.
- [57] I. Valenzuela, "¿Qué son las tierras raras?" [Online]. Available: <http://www.vix.com/es/btg/curiosidades/4694/que-son-las-tierras-raras>.
- [58] "¿Cómo es el sistema de producción de energía eléctrica en España?" [Online]. Available: <http://blogs.publico.es/econonuestra/2014/10/01/como-es-el-sistema-de-produccion-de-energia-electrica-en-espana/>.