

Trabajo de fin de grado en Ingeniería Mecánica:  
**Recarga Autónoma de Coches Eléctricos**

Autor: **Francisco Manuel González Fernández**  
Tutora: María del Carmen Morón



## Agradecimientos

En primer lugar, a mi tutora M<sup>a</sup> del Carmen Morón por haberme dado la oportunidad de hacer este proyecto con ella bajo su tutela.

A continuación, a mi madre Aurora, a mi padre Manuel y a mi tía M<sup>a</sup> del Carmen por el apoyo dado durante la realización de este.

## ESTRUCTURA DEL PROYECTO

A continuación, se detalla la estructura que se ha seguido para la descripción del trabajo realizado. En el capítulo 1 y el capítulo 2 se describe el objeto y alcance del presente proyecto, para posteriormente, en el capítulo 3 y 4 describir los antecedentes del mismo y las normas y referencias empleadas.

En el capítulo 5, se describe el estado del arte de las tecnologías de baterías, que se utilizan en aplicaciones cíclicas de carga-descarga. En este capítulo se definen los principales índices de comportamiento, que fijan las características de las tecnologías de baterías, facilitándose una mejor comprensión del análisis que se realiza de los mismos.

En el capítulo 6, se expone las características de las diferentes baterías que existen actualmente en el mercado.

El objetivo del capítulo 7, es exponer las ventajas y desventajas de las distintas baterías vistas en el apartado anterior y deducir cual es la más idónea para nuestro caso.

El capítulo 8, es explicar los pasos de fabricación del polímero de litio, hasta su uso comercial.

En el capítulo 9 y 10, se propone un sistema de supercondensadores complementarios a las baterías, con el objetivo de mejorar la eficiencia del motor y conseguir una mayor autonomía, debido al frenado regenerativo.

Finalmente, en el capítulo 11, se exponen las conclusiones de este proyecto y las principales aportaciones realizadas. Además, se enumeran una serie de sugerencias o propuestas para futuros trabajos, teniendo en cuenta nuevas ideas surgidas durante la investigación desarrollada y que no ha sido posible estudiar en este proyecto.

## Índice General

1. Memoria descriptiva.....	9
1. Objeto.....	16
2. Alcance.....	16
3. Antecedentes.....	16
4. Normas y referencias .....	17
5. Motor de combustión interna alternativo vs motor eléctrico.....	18
5.1 ¿Qué es un motor? .....	18
5.2 Funcionamiento de un motor de combustión interna .....	21
5.3 Funcionamiento de un motor eléctrico .....	25
5.4 Disposición de un coche eléctrico, híbrido y de combustión interna	29
5.5 Ventajas e inconvenientes .....	30
5.6 Conclusiones .....	37
6. Batería de un vehículo eléctrico .....	38
6.1 Parámetros que caracterizan a una batería .....	40
6.2 Clasificación de las distintas baterías en un motor eléctrico .....	44
6.2.1 Baterías Plomo-ácido .....	44
6.2.2 Baterías Níquel-Cadmio .....	46
6.2.3 Baterías Níquel-hidruro metálico .....	48
6.2.4 Baterías Litio .....	49
6.2.4.1 Características del polímero de Litio (LiPo) .....	51
6.2.4.2 Características del ion Litio con cátodo (LiCoO <sub>2</sub> ) .....	53
6.2.4.3 Características del cátodo Litio (LiFePO <sub>2</sub> ).....	55
7. Análisis de la batería más idónea en un vehículo eléctrico .....	56
8. Construcción de la batería de polímero de Litio .....	62
8.1 Elementos de una celda de polímero de litio .....	62
8.2 Temperatura y diseño de la batería .....	65

## Universidad de Sevilla. Escuela Politécnica Superior de Sevilla

8.3	Protecciones internas de la celda .....	67
8.4	Elementos para la fabricación de una celda de polímero de litio .....	67
8.5	Generación de atmosfera protectora .....	68
8.5.1	Sala acondicionada .....	68
8.5.2	Líneas de producción aisladas .....	69
8.6	Fabricación .....	70
8.6.1	Fabricación lámina de litio .....	70
8.6.1.1	Extrusión .....	71
8.6.1.2	Laminación .....	72
8.6.1.3	Comprobación de calidad .....	73
8.6.1.4	Enrollado .....	74
8.6.2	Fabricación del electrolito .....	75
8.6.3	Fabricación de la lámina de aluminio .....	76
8.6.4	Unión de las láminas .....	77
8.6.5	Soldadura de los electrodos .....	78
9.	Módulo balanceador de carga y descarga .....	79
10.	Supercondensadores .....	81
10.1	Ventajas de los supercondensadores .....	81
10.2	Desventajas de los supercondensadores .....	82
10.3	Frenado regenerativo eléctrico .....	82
10.3.1	El motor como generador .....	82
10.4	Ventajas del uso de supercondensadores para un motor eléctrico .....	83
10.4.1	Mejoras en rendimiento .....	83
10.4.2	Mejoras en la autonomía .....	84
10.5	Circuito para el sistema de condensadores en combinación con batería de polímero de litio .....	85
10.5.1	Funcionamiento como motor .....	85
10.5.2	Funcionamiento como generador .....	86
11.	Carga del condensador .....	86

## Universidad de Sevilla. Escuela Politécnica Superior de Sevilla

11.1	Frenado regenerativo .....	86
11.2	Recarga a través de la superficie de contacto de las ruedas con la carretera .....	88
12.	Conclusiones.....	92
13.	Bibliografía .....	93
13.1	Libros de texto .....	93
13.2	Proyectos académicos y de investigación .....	93
13.3	Páginas webs .....	93
<b>2.</b>	<b>Anexos .....</b>	<b>96</b>
2.1	Cálculos .....	97
2.1.1	Comparativa entre un golf 1,6 TDI, un golf 1,4 TSI y un motor eléctrico .....	97
2.1.2	Comparativa energética vehículo eléctrico y vehículo de combustión .....	97
2.1.3	Cálculo para el sistema de condensadores .....	99
2.	Documentos que justifican aspectos del proyecto .....	103
2.1.1	Anexo 1: tabla de potenciales estándar de reducción y oxidación..	103
2.2.2	Anexo 2: Curva de descarga de una batería de polímero de litio ...	104
<b>3.</b>	<b>Estudio de impacto ambiental.....</b>	<b>105</b>
3.1	Reciclaje de una batería de litio .....	106
3.2	Reciclaje de un condensador y convertidor .....	107
<b>4.</b>	<b>Planos .....</b>	<b>108</b>
4.1	Índice de planos .....	109
<b>5.</b>	<b>Pliego de condiciones .....</b>	<b>112</b>
5.1	Descripción del proyecto .....	113
5.2	Pliego de condiciones generales.....	113
5.3	Pliego de condiciones particulares.....	114
5.3.1	Componentes .....	114
5.3.2	Funcionalidad .....	115
5.3.3	Atributos.....	115

## Universidad de Sevilla. Escuela Politécnica Superior de Sevilla

<b>6. Mediciones.....</b>	<b>116</b>
6.1 Disposición eléctrica en el vehículo .....	117
<b>7. Presupuesto.....</b>	<b>118</b>
7.1 Partidas descompuestas .....	119
7.2 Cálculo del precio de ejecución de contrata (PEC) y precio final (PF) ..	120

## Resumen

Los coches eléctricos han adquirido cada vez más relevancia en nuestro día a día, uno de sus puntos fuertes es su poca contaminación, proporcionando, además, gran eficiencia y potencia, pero uno de sus grandes inconvenientes es su limitada autonomía y la forma de aumentarla.

En este trabajo, se va a realizar un estudio de cómo podría recargarse la batería de un coche eléctrico de forma que no se necesite recargarlo y se pueda tener la suficiente autonomía para realizar viajes de largo recorrido.

## Palabras clave

Vehículos eléctricos, motores eléctricos, batería, autonomía, recarga, medioambiente, supercondensadores.



## Abstract

Electric cars have become increasingly important in our day to day, one of its strengths in its small pollution, another point, they provide great efficiency and power, but one of its major drawbacks is its limited autonomy and how to increase it.

In this project, we are going to study how the battery of an electric car could be recharged in such a way that it can not be recharged and that it can have sufficient autonomy to travel long distances.

## Key words

Electric vehicles, electric motors, battery, autonomy, recharge, environment,, supercapacitors.

# 1. Memoria descriptiva

## Índice de contenido

1. Objeto .....	16
2. Alcance .....	16
3. Antecedentes .....	16
4. Normas y referencias.....	17
5. Motor de combustión interna alternativo vs motor eléctrico .....	18
5.1 ¿Qué es un motor? .....	18
5.2 Funcionamiento de un motor de combustión interna .....	21
5.3 Funcionamiento de un motor eléctrico .....	25
5.4 Disposición de un coche eléctrico, híbrido y de combustión interna ...	29
5.5 Ventajas e inconvenientes .....	30
5.6 Conclusiones.....	37
6. Batería de un vehículo eléctrico .....	38
6.1 Parámetros que caracterizan a una batería .....	40
6.2 Clasificación de las distintas baterías en un motor eléctrico .....	44
6.2.1 Baterías Plomo-ácido .....	44
6.2.2 Baterías Níquel-Cadmio .....	46
6.2.3 Baterías Níquel-hidruro metálico .....	48
6.2.4 Baterías Litio.....	49
6.2.4.1 Características del polímero de Litio (LiPo).....	51
6.2.4.2 Características del ion Litio con cátodo (LiCoO <sub>2</sub> ) .....	53
6.2.4.3 Características del cátodo Litio (LiFePO <sub>2</sub> ).....	55
7. Análisis de la batería más idónea en un vehículo eléctrico .....	56
8. Construcción de la batería de polímero de Litio .....	62
8.1 Elementos de una celda de polímero de litio.....	62

## Universidad de Sevilla. Escuela Politécnica Superior de Sevilla

8.2	Temperatura y diseño de la batería .....	65
8.3	Protecciones internas de la celda .....	67
8.4	Elementos para la fabricación de una celda de polímero de litio .....	67
8.5	Generación de atmosfera protectora.....	68
8.5.1	Sala acondicionada .....	68
8.5.2	Líneas de producción aisladas .....	69
8.6	Fabricación.....	70
8.6.1	Fabricación lámina de litio .....	70
8.6.1.1	Extrusión .....	71
8.6.1.2	Laminación.....	72
8.6.1.3	Comprobación de calidad.....	73
8.6.1.4	Enrollado .....	74
8.6.2	Fabricación del electrolito .....	75
8.6.3	Fabricación de la lámina de aluminio.....	76
8.6.4	Unión de las láminas .....	77
8.6.5	Soldadura de los electrodos .....	78
9.	Módulo balanceador de carga y descarga.....	79
10.	Supercondensadores .....	81
10.1	Ventajas de los supercondensadores .....	81
10.2	Desventajas de los supercondensadores .....	82
10.3	Frenado regenerativo eléctrico .....	82
10.3.1	El motor como generador.....	82
10.4	Ventajas del uso de supercondensadores para un motor eléctrico..	83
10.4.1	Mejoras en rendimiento.....	83
10.4.2	Mejoras en la autonomía.....	84
10.5	Circuito para el sistema de condensadores en combinación con batería de polímero de litio.....	85
10.5.1	Funcionamiento como motor.....	85
10.5.2	Funcionamiento como generador.....	86

## Universidad de Sevilla. Escuela Politécnica Superior de Sevilla

<b>11.</b>	<b>Carga del condensador .....</b>	<b>86</b>
11.1	Frenado regenerativo.....	86
11.2	Recarga a través de la superficie de contacto de las ruedas con la carretera.....	88
<b>12.</b>	<b>Conclusiones.....</b>	<b>92</b>
<b>13.</b>	<b>Bibliografía .....</b>	<b>93</b>
13.1	Libros de texto .....	93
13.2	Proyectos académicos y de investigación.....	93
13.3	Páginas webs.....	93

## Índice de figuras

Figura 5.5.1.1 Motor de combustión interna.....	19
Figura 5.5.1.2 Motor de combustión externa.....	20
Figura 5.5.1.3 Motor eléctrico.....	20
Figura 5.5.2.1 Balance energético en el interior de un motor de combustión...	24
Figura 5.5.3.1 Representación del paso de corriente eléctrica por una espira.	26
Figura 5.5.3.2 Representación de las partes de un motor eléctrico .....	27
Figura 5.5.4.1 Representación de elementos que conforman un motor eléctrico .....	29
Figura 5.5.4.2 Representación de elementos que conforman un motor de combustión interna .....	30
Figura 5.5.5.1 Gráficas comparativas de par y potencia de dos vehículos Nissan .....	30
Figura 6.1 Disposición batería en un coche eléctrico .....	39
Figura 6.6.1.1 Gráficas de funcionamiento de distintas baterías.....	42
Figura 6.6.2.1.1 Batería de plomo-ácido .....	45
Figura 6.6.2.2.1 Batería de Níquel – Cadmio .....	47
Figura 6.6.2.3.1 Batería de Níquel-hidruro metálico (Fuente Saft).....	48
Figura 6.6.2.4.1 Batería de ion-litio .....	50
Figura 6.6.2.4.1.1 Batería de polímero de Litio .....	52
Figura 6.6.2.4.2.1 Batería de Litio con cátodo $\text{LiCoO}_2$ .....	54
Figura 6.6.2.4.3.1 batería de litio con cátodo de $\text{LiFePO}_2$ .....	55
Figura 8.8.1.1 Disposición de una batería de polímero de Litio.....	64
Figura 8.8.1.2 Capas pertenecientes a una batería de Litio .....	64
Figura 8.8.2.1 Gráfica que representa la conductividad del electrolito .....	65
Figura 8.8.5.1.1 Esquema de los conductos de entrada y salida de aire .....	69
Figura 8.8.6.1.1.1 Boquilla para extrusión del litio.....	71
Figura 8.8.6.1.2.1 Esquema del proceso de laminación del litio.....	73
Figura 8.8.6.1.4.1 Carrete de litio para la fabricación de baterías .....	74
Figura 8.8.6.1.4.2 Características de un carrete de litio .....	75

## Universidad de Sevilla. Escuela Politécnica Superior de Sevilla

Figura 8.8.6.3.1 Características lámina de aluminio.....	76
Figura 8.8.6.5.1 Soldador de control numérico.....	78
Figura 10.10.5.1 Circuito de batería de condensadores.....	85
Figura 11.11.1.1 Partes de un motor eléctrico.....	87
Figura 11.11.2.1 carril de recarga eléctrica inalámbrica .....	91

## Índice de tablas

Tabla 6.6.2.1.1 Ventajas y desventajas de las baterías de plomo-ácido.....	45
Tabla 6.6.2.2.1 Ventajas y desventajas de las baterías Níquel-Cadmio .....	47
Tabla 6.6.2.3.1 Ventajas y desventajas de las baterías Níquel-hidruro metálico .....	49
Tabla 6.6.2.4.1. Ventajas y desventajas de las baterías de ion-litio .....	51
Tabla 6.6.2.4.1.1, Ventajas y desventajas de baterías de polímero de Litio ....	53
Tabla 6.6.2.4.2.1 Ventajas y desventajas de baterías de Litio con cátodo de LiCoO <sub>2</sub> .....	54
Tabla 6.6.2.4.3.1 Ventajas y desventajas batería con cátodo de LiFePO <sub>2</sub> .....	56
Tabla 8.8.6.1.1 Características de una lámina de litio.....	70



# Universidad de Sevilla. Escuela Politécnica Superior de Sevilla

## 1. Objeto

En el presente trabajo se pretende dar una visión general de los coches eléctricos y más particularmente del proceso de carga de estos, exponiendo el funcionamiento de un coche eléctrico y como el motor utiliza la batería como medio para la generación de par, para posteriormente analizar cómo se regenera la carga de la batería, se estudiará cómo hacer más eficiente las baterías y estudiar posibles alternativas de carga de la misma diferentes a las actuales, proponiendo soluciones y cuantificando los parámetros de recarga característicos para que el estudio sea riguroso.

## 2. Alcance

En principio se trata de explicar con detalle el funcionamiento de un motor eléctrico, imprescindible para poder comprender el funcionamiento de la batería eléctrica, así como la fabricación de una a partir de la cual se procederá a la búsqueda de alternativas de recarga de la misma sean lo más óptima posible.

## 3. Antecedentes

Este trabajo surge como la necesidad de resolver el problema de la recarga de los coches eléctricos el cual es un inconveniente a la hora de comprar estos, puesto que aparte de ofrecer una autonomía muy reducida respecto a los motores de combustión interna, los puntos de recarga públicos son muy limitados en España y si un usuario deseara adquirir un coche de este tipo posiblemente tendría que crear una estación eléctrica en su propiedad y probablemente no podría realizar viajes de gran recorrido por temor a no encontrar una estación de servicio cercana adaptada a la carga de coches eléctricos.

Es por todo esto, por lo que se ha realizado este trabajo de investigación, con vistas a mejorar la eficiencia de los coches eléctricos.

#### 4. Normas y referencias

**Real Decreto 1053/2014**, de 12 de diciembre, por el que se aprueba una nueva **Instrucción Técnica Complementaria (ITC) BT 52**

«Instalaciones con fines especiales. Infraestructura para la recarga de vehículos eléctricos»

**Real Decreto 647/2011. Gestor de carga**

Regulación de la figura del gestor de carga dentro de la Ley 54/97 del Sector Eléctrico como consumidor capacitado para vender electricidad para la recarga de vehículos.

**Real Decreto 216/2014. Tarifa PVPC**

Regulación de la tarifa regulada PVPC, donde se encuentra la de Coche Eléctrico

**Directiva europea 2011/92/UE**

Evalúa las repercusiones de determinados proyectos públicos

## 5. Motor de combustión interna alternativo vs motor eléctrico

### 5.1 ¿Qué es un motor?

Un motor es parte de una máquina que transforma algún tipo de energía (eléctrica, de combustibles fósiles, etc.), en energía mecánica, disponible en su eje de salida.

Los motores son utilizados para realizar un trabajo mecánico, su utilización es muy variada con una gran variedad de aplicaciones, como bombas de superficie, generadores, vehículos etc.

Los motores más usuales se clasifican en dos grandes grupos:

- ❖ Motores térmicos: Generan trabajo a partir de energía calorífica. Dentro de este grupo podemos encontrar los siguientes subgrupos:
  - Motores de combustión interna: Son motores que transforman la energía química en mecánica mediante la combustión del fluido del motor, dicho fluido de motor es una mezcla de normalmente aire y un combustible fósil derivado del petróleo tales como gasolina o gasoil. Actualmente este tipo de motores son los más utilizados con una fabricación de 9,08 millones de coches anuales en todo el mundo.

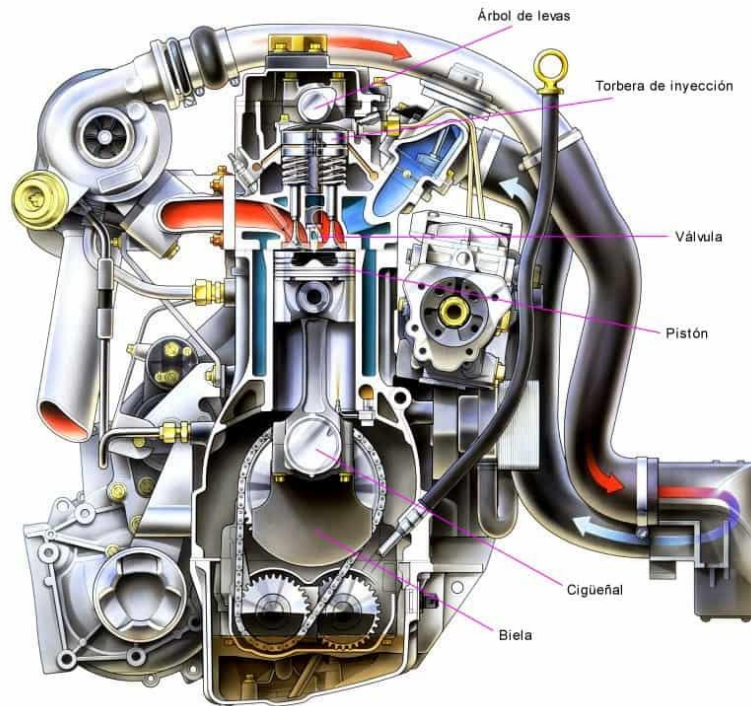


Figura 5.5.1.1 Motor de combustión interna

(<https://www.baselogica.com/descripcion-de-los-sistemas-de-un-motor-de-combustion-interna-alternativa/>)

- Motores de combustión externa: Este tipo de motores son idénticos a los anteriores mencionados, con la particularidad de que la combustión se realiza en un fluido distinto al fluido de motor, es decir, el fluido motor alcanza un estado térmico de mayor poder calorífico y por tanto de mayor fuerza para que a través de unas paredes se transmita la energía.

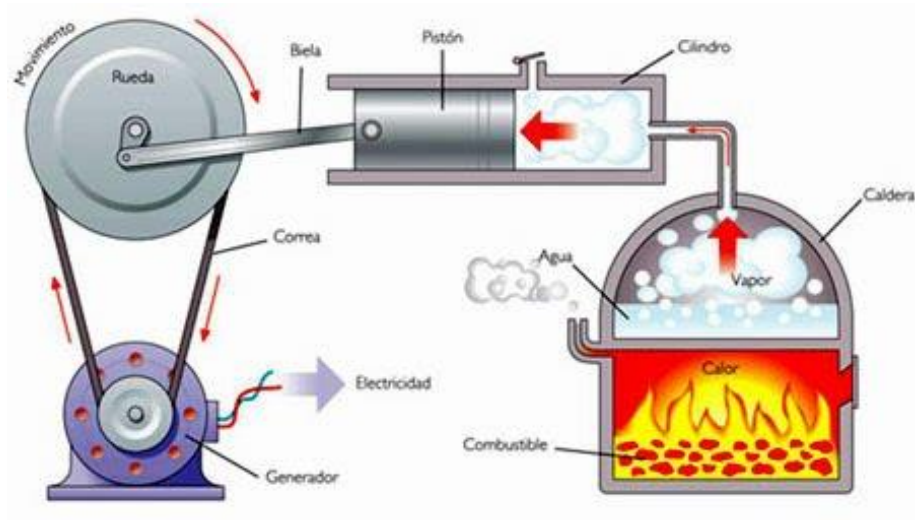


Figura 5.5.1.2 Motor de combustión externa  
<https://sites.google.com/site/maquinastermicas3d/2clasificacion/2-1>

- ❖ Motores eléctricos: Son aquellos motores que obtienen trabajo a través de una corriente eléctrica. En la actualidad son los menos fabricados, con una fabricación anual de 800 mil vehículos.

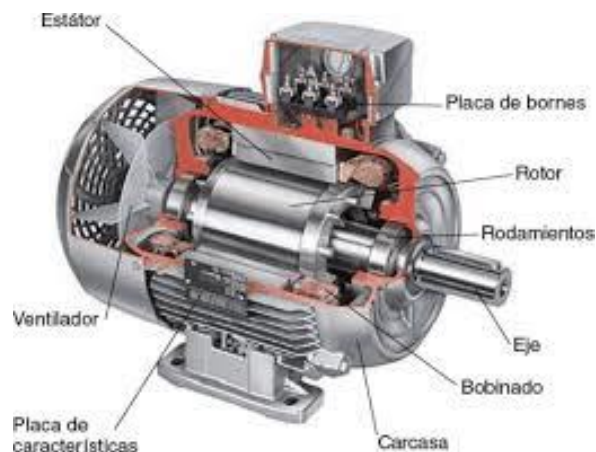


Figura 5.5.1.3 Motor eléctrico  
<https://sites.google.com/site/279motoreselectricos/partes-fundamentales-de-un-motor-electrico>

## Universidad de Sevilla. Escuela Politécnica Superior de Sevilla

Las características y parámetros técnicos que definen un motor son:

- ❖ Rendimiento: Se define como el cociente entre la potencia útil, que es aquella que utiliza el motor para producir trabajo, es decir, potencia mecánica, entre la potencia absorbida, que es aquella que es capaz de transformar la energía eléctrica o calorífica en trabajo.
- ❖ Velocidad nominal: Hace referencia a la velocidad angular del cigüeñal o lo que es lo mismo a las revoluciones por minuto a las que gira.
- ❖ Potencia: Se trata del trabajo que un motor puede desempeñar en una unidad de tiempo cuando el cigüeñal está girando unas revoluciones determinadas. Esta magnitud se mide en CV o en vatios.
- ❖ Par motor: Se refiere al momento de rotación que actúa sobre el cigüeñal determinando su giro, se suele medir en Newton por metro (N·m).

### 5.2 Funcionamiento de un motor de combustión interna

El presente tipo de motor obtiene energía mecánica directamente de la energía química de un combustible que arde dentro de la cámara de combustión. Su nombre es debido a que la combustión se produce dentro la propia máquina.

Los tipos de motores de combustión interna son:

- I. Alternativos: Dentro de los cuales podemos encontrar motor de explosión ciclo de Otto o llamado vulgarmente motor de gasolina y el motor diésel.
- II. La turbina de gas: Utilizadas normalmente en aeronáutica
- III. El motor rotatorio

## Universidad de Sevilla. Escuela Politécnica Superior de Sevilla

Los motores alternativos son los utilizados en los vehículos convencionales y se puede clasificar según el ciclo:

- ❖ Dos tiempos: Son aquellos que efectúan una carrera útil en cada giro de cigüeñal. Tuvieron una gran aplicación en motocicletas tales como la Vespa.
- ❖ Cuatro tiempos: Son aquellos que efectúan una carrera útil cada dos giros de cigüeñal. Actualmente domina en las aplicaciones de vehículos y motocicletas de cualquier clase.

Tanto los motores diésel y gasolina constan de los mismos elementos principales, los cuales se detalla a continuación:

- ❖ Cámara de combustión: Se trata de un cilindro fijo y cerrado por el cual se desplaza un pistón el cual modifica el volumen existente entre la cara interior del pistón y las paredes de la cámara.
- ❖ Sistema de distribución: Se trata de una cadena o correa que coordinan apertura y cierre de las válvulas al actuar las levas de un árbol de levas movido por el cigüeñal.
- ❖ Sistema de alimentación: Hace referencia al sistema que suministra al cilindro la mezcla necesaria para la combustión consta de un depósito, una bomba de combustible para la correcta fluidez del fluido de trabajo y un dispositivo dosificador que atomiza el combustible en estado líquido en unas proporciones adecuadas para ser posteriormente quemado.
- ❖ Encendido: Los motores necesitan un elemento que provoque la combustión, para ello, los motores de gasolina tienen incorporado una bujía que provocan una chispa e inducen a la combustión, en motores diésel la combustión es

## Universidad de Sevilla. Escuela Politécnica Superior de Sevilla

provocada por la autoinflamación de la mezcla al encontrarse esta en unas temperaturas muy elevadas.

- ❖ Refrigeración: Para evitar el sobrecalentamiento del motor se debe disponer de un sistema de refrigeración. Puede ser con un medio refrigerante como el aire o el agua o mediante unas láminas de metal que emiten el calor producido en el interior del cilindro. El más común es la refrigeración a través de agua, implica que los cilindros se encuentran en una carcasa llena de agua, la cual se hace circular gracias a una bomba, hasta pasar por las láminas de un radiador que la enfría y así constantemente.
- ❖ Sistema de arranque: Los motores de combustión interna no son capaces de producir un par de fuerzas cuando arrancan, lo que supone que debe provocarse el movimiento del cigüeñal para poder comenzar el ciclo. Se suele utilizar un motor eléctrico conectado al cigüeñal por un embrague automático el cual se desacopla en cuanto arranca el motor.

Una vez distinguido las distintas partes de un motor de combustión interna, pasamos a explicar en qué consiste el ciclo por el cual transformamos energía química a energía mecánica:

El ciclo consta de cuatro fases, las cuales se denominan admisión, compresión, explosión y escape:

1. Fase de admisión: El pistón desciende por el interior del cilindro con la consecuente aspiración de una mezcla de oxígeno y combustible por la válvula de entrada, mientras que la válvula de salida permanece cerrada.
2. Fase de compresión: A continuación, las dos válvulas, tanto la de entrada como la de salida, permanecen cerradas, el pistón asciende, comprimiendo la mezcla de combustible y oxígeno, haciendo incrementar la presión y la temperatura de esta para que la explosión sea aún mayor y se genere más trabajo.



## Universidad de Sevilla. Escuela Politécnica Superior de Sevilla

3. Fase de explosión: Se trata de la fase en la cual la mezcla se encuentra en el punto de máxima presión, es aquí donde la bujía provoca una chispa generando la combustión en motores de gasolina mientras que en motores diésel es el momento en el cual se produce combustión debido a la autoinflamación de la mezcla que se encuentra a una gran temperatura y nivel de presión.
4. Fase de escape: El pistón nuevamente asciende, abriéndose la válvula de salida que permite la salida de los gases producidos por la explosión. Una vez realizado este proceso de nuevo comienza el ciclo.

Este ciclo se efectúa en milésimas de segundos y sin interrupción en varios cilindros (Normalmente cuatro). En la figura 5.5.2.1 se representa el proceso energéticamente.

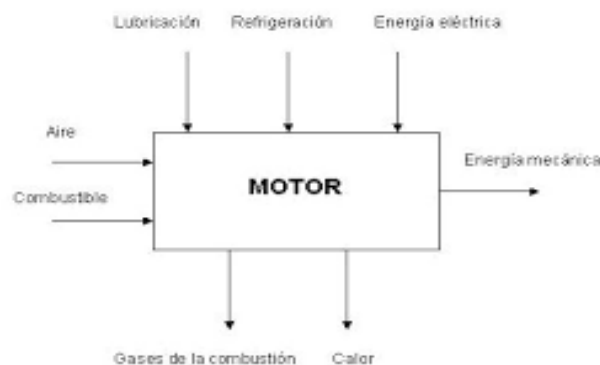


Figura 5.5.2.1 Balance energético en el interior de un motor de combustión  
<http://www.monografias.com>

Mediante este sistema se transforma la energía calorífica en movimiento alternativo y esta a su vez mediante un mecanismo biela-manivela se transforma en un movimiento de rotación. En estos motores es muy importante la relación de compresión que es el número de veces que el volumen de la cámara formada por el pistón en su punto muerto superior cabe en el volumen de la cámara que

## Universidad de Sevilla. Escuela Politécnica Superior de Sevilla

se produce con las paredes del cilindro y el pistón cuando este está en su punto muerto inferior.

### 5.3 Funcionamiento de un motor eléctrico

Un motor eléctrico se trata de un dispositivo que convierte la energía eléctrica en mecánica a través de la acción de los campos magnéticos generados en sus bobinas. Están formados por un estator y un rotor y son impulsados por corriente continua o por corriente alterna, se pueden clasificar por el tipo de fuente de energía eléctrica, construcción interna, aplicación, etc.

En el caso de que sean impulsados por corriente continua provienen actualmente de baterías, paneles solares, dinamos y fuentes de alimentación instaladas en el interior de los aparatos que operan con estos motores, mientras que si son de corriente alterna pueden tomar su uso a través de la red eléctrica o alternadores y otras formas como corrientes alterna bifásica o trifásica como los inversores de potencia.

El funcionamiento de un motor eléctrico se basa en el principio del magnetismo. Según éste, en función de cómo se sitúen los polos de un imán, éstos se atraen o se rechazan (“los polos opuestos se atraen” y “los polos iguales se repelen”), generando movimiento la idea de que el magnetismo produce una fuerza física que mueve los objetos, en dependencia de cómo se alineen los polos de un imán, así podrá atraer o rechazar otro imán.

En los motores se utilizan campos magnéticos que se opongan entre sí, de tal modo que hagan moverse su parte giratoria, llamado rotor, en dicho rotor se encuentra un cableado llamado bobina, la cual tiene un campo magnético opuesto a la parte estática del motor.

Estos campos magnéticos lo generan imanes permanentes, por tanto, debido a la acción repelente a dichos polos opuestos es lo que hace que el rotor comience

## Universidad de Sevilla. Escuela Politécnica Superior de Sevilla

a girar dentro del estator, debido a que en un lado de la espira sube la corriente y por el otro descende generando así un par de fuerzas en sentido contrario haciendo girar la espira todo por medio de la corriente eléctrica.

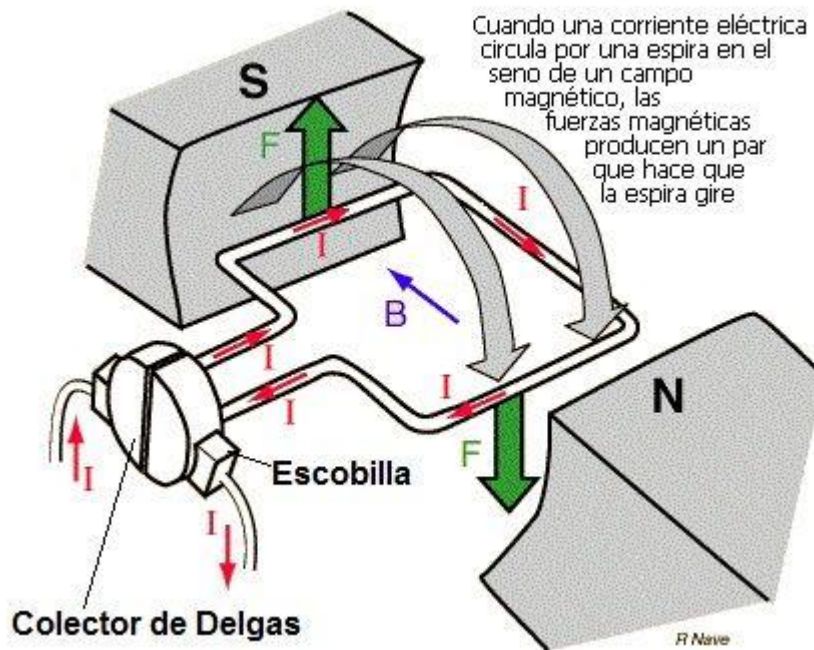


Figura 5.5.3.1 Representación del paso de corriente eléctrica por una espira (<http://www.areatecnologia.com/>)

En el caso de la figura 5.5.3.1, el imán es fijo (estator) y el rotor sería la espira o el bobinado sería lo más frecuente de encontrar.

La entrada y salida de la corriente debe tener siempre el mismo sentido es por ello por lo que se debe colocar el colector de delgas, el cual recoge la corriente desde las escobillas y hace que la corriente entre y salga por el mismo lado.

Lógicamente cuantas más espiras y más imanes tengan, mayor será su fuerza, ya que sumarían todas las fuerzas de todas las espiras e imanes.

## Universidad de Sevilla. Escuela Politécnica Superior de Sevilla

Si colocamos las espiras sobre un eje, las espiras harán girar dicho eje y constituirán lo que se denomina el rotor de un motor eléctrico. Estas espiras son denominadas bobinas de motor y tienen un principio en la primera espira y un final en la última espira, es decir, en un solo cable enrollamos una gran cantidad de espiras, por el principio del cual entre la corriente eléctrica y saldrá por el final.

Si a continuación, se coloca varios imanes fijos alrededor de este rotor, tendremos una parte fija denominada estator.

Todo este bloque, rotor y estator, irá colocado sobre una base para que pueda girar el rotor (sobre unos rodamientos) y que además cubrirá todo el bloque para que no se vea, dicho bloque se denomina carcasa del motor.

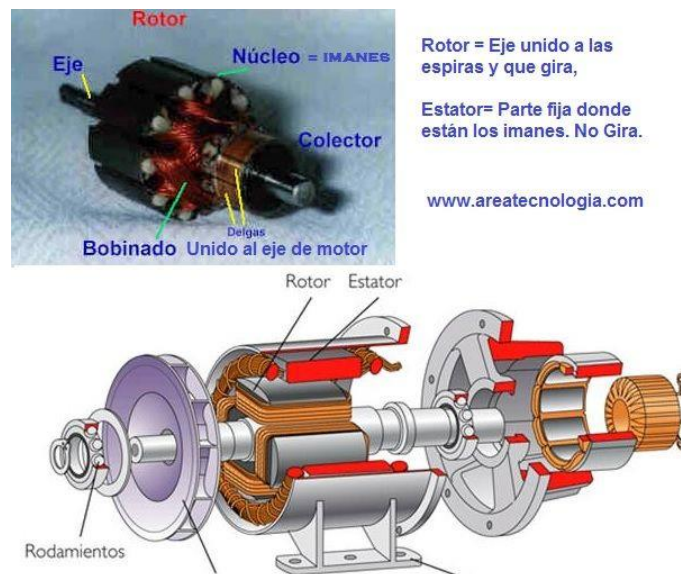


Figura 5.5.3.2 Representación de las partes de un motor eléctrico (<http://www.areatecnologia.com/>)

## Universidad de Sevilla. Escuela Politécnica Superior de Sevilla

Si el mecanismo terminara allí, cuando se diese el caso que los polos se alinearan el motor se detendría, por tanto, es necesario invertir la polaridad de los imanes para conseguir que el rotor no se detuviera y así impedir que el motor se detuviera.

En motores de corriente continua alimentado por baterías, el proceso de inversión es logrado a través de un conmutador que alterna dentro de un electroimán la dirección de la corriente y cambia la polaridad del campo magnético.

Cada motor tiene distintos componentes cuya estructura determina la interacción de los flujos eléctricos y magnéticos que originan trabajo y por tanto la fuerza del motor no obstante no suelen necesitar muchas piezas móviles lo que los convierten en máquinas bastantes fiables y sencillas. Otro componente clave en los motores eléctricos es que cuenten con un controlador, cuya función es absorber la energía procedente de la batería para llevarla al motor.

Algunas características significativas de los motores eléctricos son:

1. A igual potencia, su tamaño y peso son más reducidos.
2. Se puede construir de cualquier tamaño y forma, siempre que el voltaje lo permita.
3. Tiene un par de giro elevado, casi constante.
4. Tiene un rendimiento muy elevado en torno al 75 %, cuanto más elevada sea la potencia de la máquina mayor es el rendimiento.

## Universidad de Sevilla. Escuela Politécnica Superior de Sevilla

5. Este tipo motores no emite contaminantes, aunque en la generación de energía eléctrica si se generan contaminantes como el deshacerse de las baterías.
6. Estos tipos de motores son autoventilados, sin que necesiten ventilación externa.

El uso cada vez mayor de la energía eléctrica para conducir subsistemas de automóviles se considera una tendencia dominante en los sistemas de potencia automotriz avanzados.

Los avances electrónicos en áreas de electrónica de potencia, sistemas de distribución de energía eléctrica tolerantes a las fallas etc. están permitiendo mejorar el rendimiento de los sistemas eléctricos de automóviles y su fiabilidad.

### 5.4 Disposición de un coche eléctrico, híbrido y de combustión interna

A continuación, se detallan 3 esquemas de la disposición en un coche eléctrico, híbrido y de combustión interna, donde se podrá apreciar las distintas partes que los componen:



Figura 5.5.4.1 Representación de elementos que conforman un motor eléctrico (<https://respuestas.tips/que-es-un-coche-electrico/>)

### Diagrama del Sistema de Combustible EFI

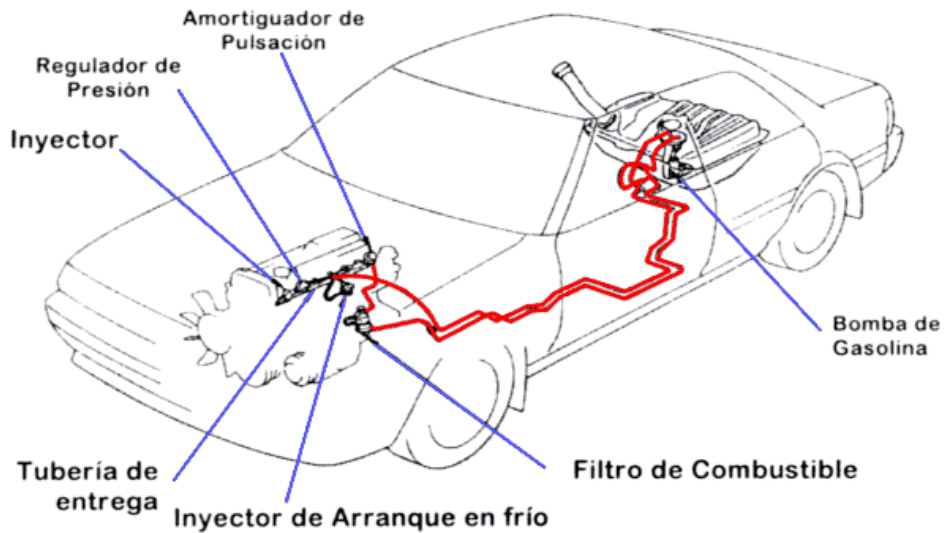


Figura 5.5.4.2 Representación de elementos que conforman un motor de combustión interna  
(<http://autobirf.blogspot.com/2011/10/sistema-de-alimentacion.html>)

### 5.5 Ventajas e inconvenientes

Para abordar mejor esta comparativa vamos a hacer uso de la figura 5.5.5.1

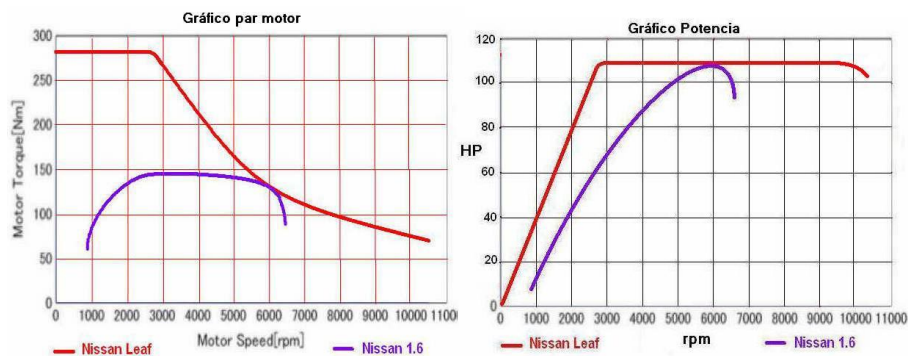


Figura 5.5.5.1 Gráficas comparativas de par y potencia de dos vehículos Nissan  
(<http://forococheelectricos.com/2011/11/motor-electrico-versus-motor-de.html>)



## Universidad de Sevilla. Escuela Politécnica Superior de Sevilla

En la figura 5.5.5.1 se puede observar las curvas típicas de un motor eléctrico y de un motor de gasolina de 1600 cm<sup>3</sup>, se trata de dos motores de la marca japonesa Nissan de 109 CV de potencia, cómo se ha podido leer la potencia máxima es la misma, pero realmente el motor eléctrico es más potente en prácticamente todas las circunstancias cómo puede observarse en la gráfica hasta la 1000 rpm el motor eléctrico ofrece el triple de potencia y en 2000 rpm el doble que el de un motor de combustión.

Estas curvas se van acercando hasta llegar a encontrarse en el punto de 6000 rpm, o lo que es lo mismo, que a 6000 rpm ambos motores proporcionan la misma potencia, pero aun así, cuando las rpm aumentan el motor eléctrico sigue ofreciendo una potencia de 150 HP hasta las 9500 rpm, punto en el cual comienza a decrecer la potencia que puede dar hasta llegar a las 10400 rpm punto en el cual dejaría de girar, sin embargo, la potencia en el motor de gasolina decrece a las 6000 rpm, continuando su descenso hasta las 6500 rpm momento en el cual deja de girar y ofreciendo una potencia de 95 HP, quedando patente que aunque un motor de gasolina pueda proporcionar a unas 6000 rpm la misma potencia que uno eléctrico.

Esta potencia no se mantiene constante en el tiempo debido a que la rpm van a subir o bajar en el siguiente instante al alcanzar esas 6000 rpm, llevando consigo además, un alto consumo de combustible, sin embargo, en los motores eléctricos aunque las rpm se incrementen o disminuyan la potencia que van a proporcionar siempre va a ser de unos 150 HP en un intervalo de entre 2800 rpm y 9500 rpm, el cual es bastante amplio y lo que nos permitiría mantener dicha potencia de 150 HP constante.

Otro factor diferenciador es que el motor térmico es incapaz de girar por debajo del régimen de ralentí (unas 700 rpm): el giro se vuelve inestable y se detiene el motor. Por el contrario, el motor eléctrico es capaz de girar igual de equilibrado y con la misma fuerza a 5 rpm que a 10000 rpm.



## Universidad de Sevilla. Escuela Politécnica Superior de Sevilla

Un aspecto técnico que diferencia a los motores eléctricos de los motores térmicos es que el motor eléctrico no necesita girar cuando el vehículo está parado ni un embrague para iniciar la marcha, lo importante sería el par y no la potencia.

En los motores eléctricos, en cuanto al rendimiento energético, es la relación entre la energía eléctrica que absorbe y la energía mecánica que produce, en los coches eléctricos se montan motores de alto rendimiento, con una eficiencia media del 90%. En motores térmicos el rendimiento energético es la relación entre la energía contenida en el combustible y la energía mecánica ofrecida, su rendimiento es muy inferior al de los motores eléctricos, debido a que la combustión genera una gran cantidad de calor que no es aprovechable así como la necesidad de contar con un gran número de piezas que generan pérdidas por rozamiento, es decir, que la mayor parte de la energía se pierde en forma de calor, bien a través del radiador o del escape estimándose un rendimiento energético de estos motores de en torno al 25% para motores de gasolina y un 30% en motores diésel.

Si contabilizáramos este rendimiento considerando que un 1L de gasolina equivale a 9,7 kWh y un litro de gasóleo 10,3 kWh, se podría comparar la eficiencia de diferentes vehículos.

Por ejemplo, vamos a comparar el motor eléctrico de la figura 2.4.1 con un motor Golf 1,6 TDI : 4,7L/100 km y un Golf 1,7 TSI : 6L/100 km ambos de la marca Volkswagen cuyos cálculos pueden revisarse en el anexo concluyéndose que aunque se trata de una comparativa muy general, puede observarse que la eficiencia del motor eléctrico triplica a la del vehículo térmico, y otro dato impactante que se puede obtener es que la batería del vehículo eléctrico de la figura 2.4.1 valorada en miles de euros, solo puede almacenar 24 kWh o lo que es lo mismo solo puede almacenar una energía equivalente de poco más de 2L de gasolina o diésel.

Una ventaja de los coches eléctricos es que son más respetuosos con el medio ambiente, esto se demuestra mediante una serie de datos que se detallan a continuación:

## Universidad de Sevilla. Escuela Politécnica Superior de Sevilla

- ❖ El consumo medio de los vehículos eléctricos que ahora mismo están en el mercado se encuentra en torno a 14 kWh/100Km.
- ❖ Las emisiones medias del mix eléctrico de generación español es de 0,234 KgCO<sub>2</sub>/kWh
- ❖ El consumo de un vehículo diésel de unos 100 CV es de 5 L/100Km
- ❖ Las emisiones producidas por litro de diésel consumido es de 2,67 KgCO<sub>2</sub>/L

Según estos datos, las emisiones de CO<sub>2</sub> expulsadas por un coche eléctrico serían de unos 3,3 Kg de CO<sub>2</sub>, mientras que los vehículos diésel serían de unos 13,3 kg de CO<sub>2</sub>, observándose que se triplica las emisiones de CO<sub>2</sub> expulsados por los motores diésel frente a los motores eléctricos.

Pero para realizar un cálculo más preciso, se tendrían que considerar las pérdidas energéticas en la generación, transporte y transformación de la electricidad, de forma análoga sucede con el petróleo. Los tres factores claves en cuanto a eficiencia son:

- ❖ La eficiencia de transportar la energía desde su fuente al tanque o batería del coche
- ❖ La eficiencia de transporte desde el tanque o batería a las ruedas
- ❖ La eficiencia de transporte global, que no es más que la suma de las anteriores.

A continuación, procedemos a cuantificar las pérdidas y ver la eficiencia de ambos tipos de motores especificándose en el anexo final del presente documento.

Con estos resultados, se comprueba la verdadera energía eléctrica que necesita un vehículo eléctrico para hacer 100 km.

## Universidad de Sevilla. Escuela Politécnica Superior de Sevilla

Es interesante ver que los 12,65 kWh aplicados en las ruedas del vehículo, debido a las pérdidas mencionadas, se traducen en 32,80 kWh de motor térmico.

Cabe recordar que un usuario pagaría tan solo los 12,65 kWh en lo referido al vehículo eléctrico, por lo que la importancia de un mejor sistema eléctrico, una distribución más eficiente y un mayor uso de las energías renovables queda demostrada.

En el apartado económico, el precio medio sin impuesto de las diferentes comercializadoras eléctricas es de 0,136366 €/kWh aproximadamente, lo que se concluye que el coste de recorrer 100 km es de unos 1,71 € de media. Si ahora lo comparamos con un coche de combustión, como por ejemplo el Seat León, un coche muy popular en nuestro país, con una motorización de 1,4 gasolina 110 CV, que además incorpora el sistema Star&Stop, desconectando el motor en las paradas y registrando un consumo de tan solo 3,8 L/ 100 km resulta que, realizando un estudio similar al anterior se obtiene que:

- ❖ Vehículo eléctrico medio: 1,71 €/100km
- ❖ Seat León 1.4 TGI: 5,50 €/100km contando con un precio de la gasolina de 1,44 €/litro.

También si lo comparamos con otro superventas del mercado español, el Opel Corsa, eligiendo una de sus versiones diésel más ecológicas, la 3 puertas 1.3 CDTI ecoFLEX 95 cv Start/Stop que homologa un consumo de 3,3 litros. El resultado sería:

- ❖ Vehículo eléctrico “medio”: 1,71 €/100km
- ❖ Opel Corsa 3p 1.3 CDTI: 4,40 €/100km contando con un precio del gasóleo de 1,33 €/litro.

## Universidad de Sevilla. Escuela Politécnica Superior de Sevilla

Cómo se puede observar en los dos ejemplos expuestos, la diferencia es verdaderamente ventajosa para el vehículo eléctrico, ya que, aunque se compare con los coches de combustión más eficiente del mercado estos tienen un gasto solo en combustible del orden de 2,5-3 veces más.

En conductores que realicen 10000 km al año, esta diferencia supone 270 €/año para el Opel Corsa o 380 €/año para el Seat León, y, es más, estas diferencias económicas se pueden ampliar y extrapolar si se tienen en cuenta el gasto en mantenimiento que tienen los coches de combustión interna, el cual es muy superior al del eléctrico, ya que en el mismo no es necesario el cambio de aceite, de filtros, de correas ni caja de transmisiones.

A raíz de lo explicado en este punto se puede afirmar que en los vehículos eléctricos la eficiencia global es prácticamente el triple que la de los coches con motor de combustión interna, tanto en el aspecto económico como en el de eficiencia del motor.

Entonces, ¿dónde está el problema de los coches eléctricos si a priori son todo ventajas?, pues la desventaja principal de los coches eléctricos está en su autonomía, la cual está actualmente en unos 500 km de media, ¿pero es esto real?, según unos estudios que detallaremos a continuación, se demuestra que no es exactamente así.

Se realizó una prueba de conducción en tres vehículos eléctricos: el Nissan leaf, el Opel ampera-e y el Renault Zoe. La prueba consistía en conducir cada uno de ellos en un trayecto combinado de ciudad, carretera y autopista, algunas veces con un solo conductor, otra transportando además un pasajero (75 kg), dos niños (30 kg cada uno) y un poco de equipaje (20 kg) y con la calefacción encendida a 22 °C cuando en el exterior había 10 °C, un aspecto para tener en cuenta, ya que los coches eléctricos no pueden aprovechar el calor que genera un motor de combustión y necesitan activar una resistencia o una pequeña bomba de calor.

## Universidad de Sevilla. Escuela Politécnica Superior de Sevilla

Se descubrió que la autonomía real resultó, de media, un 36% inferior a la anunciada. Y hasta un 43% inferior si viaja con la familia. Un serio problema si nos quedásemos parados en carretera sin un punto de recarga cerca.

Otro aspecto de gran importancia es la seguridad en los vehículos eléctricos, cuando estos se empezaron a comercializar se produjeron una serie de incendios en este tipo de vehículos, atribuyéndose una publicidad engañosa acerca de estos vehículos.

Como todos los metales, el litio tiene un punto de fusión. Si la temperatura de una celda alcanza ese punto de fusión, puede causar que la batería se desestabilice y descargue rápidamente la energía almacenada a temperaturas extremadamente altas, creando incendios o incluso explosiones violentas. Este fenómeno está mayoritariamente asociado a portátiles, móviles y otros dispositivos electrónicos pequeños, pero puede afectar a cualquier batería, no solo a aquellos con química de iones de litio.

Actualmente se han desarrollado una serie de soluciones tecnológicas y de ingeniería que ha logrado reducir el riesgo de desestabilización y descarga rápida de las baterías, tales como:

- ❖ Los sistemas avanzados de administración de batería monitorean la actividad de cada celda y transmiten información a una CPU, que puede ajustar el sistema de enfriamiento, advertir al conductor e incluso apagar la batería por completo tan pronto como se detecte un problema.
- ❖ Los fabricantes de automóviles también han construido los paquetes de baterías de sus vehículos para resistir daños durante colisiones y pinchazos.
- ❖ Las celdas de la batería están segmentadas por cortafuegos, que contienen o al menos reducen la propagación de un incendio, lo que permite que el conductor pueda detenerse y salir del vehículo.

## Universidad de Sevilla. Escuela Politécnica Superior de Sevilla

Desde que los vehículos eléctricos salieran al mercado los informes de incendios han sido mínimos y cada vez más escasos, por lo que se puede afirmar que la seguridad en los vehículos eléctricos está garantizada.

Una desventaja es la pobre infraestructura para la recarga de los vehículos eléctricos, la cual supone una gran problemática, debido a la gran inversión económica que supondría.

Otra desventaja es la producción de las baterías de iones litio y quien las va a fabricar. Actualmente china posee la mayor capacidad de producción de estas baterías, un aspecto en el cual Europa se ha quedado muy atrás, además de la creciente problemática de las reservas de litio para la fabricación de las baterías, ya que las mayores reservas se encuentran en Argentina, Chile y Bolivia las cuales agrupan el 60% de las reservas de litio conocidas, lo cual se podría asimilar al petróleo llegando a ser un problema en el futuro cuando surja la necesidad de hacer baterías y no se disponga de reservas de litio suficientes.

### 5.6 Conclusiones

Se ha demostrado que los motores eléctricos son más eficientes que los motores de combustión interna en todos los sentidos (potencia, par, medio ambiente etc.) con la única particularidad de que las baterías actuales no permiten una gran autonomía para la realización de un viaje largo por carretera. En el siguiente apartado vamos a proceder a explicar el funcionamiento de las baterías incorporadas a los coches eléctricos, así como formas de recargas autónomas para alargar su autonomía y conseguir así un coche que además de ser eficiente en los puntos mencionados anteriormente, también lo sea en recorridos de largas distancias.

## 6. Batería de un vehículo eléctrico

Las baterías es un elemento indispensable en un vehículo eléctrico, a través de la misma el motor eléctrico obtiene la fuerza necesaria para desarrollar un par.

Las baterías transforman energía química en energía eléctrica y viceversa, se efectúa mediante una reacción redox con la principal ventaja de ser un elemento portátil el cual nos suministra energía eléctrica sin tener que usar un enchufe cercano.

En el caso de baterías secundarias la reacción es reversible, de forma que una vez que se ha descargado la batería puede volver a recargarse.

La unidad básica electroquímica es la celda, compuesta por tres elementos principales: el ánodo o electrodo negativo, el cátodo o electrodo positivo y por último el conductor iónico que proporciona el medio físico para la transferencia de carga.

Una batería consta de una o más celdas conectadas en serie y/o en paralelo en función de las características eléctricas de salida y de la capacidad de almacenamiento de energía deseadas. Los datos técnicos relativos de las baterías dependen de los materiales con los que están construidas y puede calcularse a partir de los potenciales estándar de los electrodos los cuales se encuentran en tablas.

La capacidad teórica de una celda está definida por la cantidad relativa de material que tiene almacenado en el mismo, la unidad de medición son culombios y Amperios horas (Ah), definiéndose así la cantidad total de electricidad envuelta en la reacción electroquímica.

A partir de dicha capacidad teórica y el voltaje teórico se puede calcular el máximo valor teórico de energía que puede proporcionar dicha celda en vatios-hora (Wh), expresando con relación al peso o al volumen.

## Universidad de Sevilla. Escuela Politécnica Superior de Sevilla

Dicho cálculo vendrá dado por la siguiente expresión:

$$E_{teor} \text{ (Wh)} = V_{teor} \text{ (V)} \times C_{teor} \text{ (Ah)}$$

Dicha energía calculada no es la real debido a que en la práctica intervienen diversos factores que disminuyen la energía que puede proporcionar una batería, entre los que se encuentran el peso/volumen o los componentes no reactivos para su construcción física, además a lo anterior hay que añadir que los materiales no están adecuadamente balanceados desde el punto de vista estequiométrico como en la reacción teórica, todo esto reduce la energía específica de las baterías y celdas reales. Con ello se deduce que la energía liberada por una batería depende directamente de los materiales que lo componen y de su cantidad, cuanto más energía se necesite más cantidad de materiales se necesitará.

BMWEL05



Figura 6.1 Disposición batería en un coche eléctrico  
(<https://www.motorpasion.com/industria/el-jefe-de-i-d-de-volkswagen-preve-una-penuria-de-baterias-para-coches-electricos-pero-ese-el-menor-de-los-problemas>)



## 6.1 Parámetros que caracterizan a una batería

Hay una serie de parámetros que caracterizan a una batería los cuales se detallan a continuación:

- ❖ Estado de carga (SOC): Indica el estado de la carga de la batería de manera porcentual, expresado sobre 100 % de la capacidad cuando está la carga totalmente completa.
  
- ❖ Celda: Es un elemento cuyo objetivo es conseguir los valores de corriente o tensión deseados, se pueden asociar en serie o en paralelo.
- ❖ Profundidad de descarga: Es la relación entre la capacidad en amperios-hora (Ah) entregada por la batería durante su descarga y la capacidad nominal de la misma
  
- ❖ Tensión en vacío: Es la tensión que tiene una batería entre sus terminales, cuando no se cierra un circuito a través de ellos, su valor depende de su naturaleza química.
  
- ❖ Tensión en circuito cerrado: Tensión que aparece entre los terminales de una batería cuando está conectada a una carga.
  
- ❖ Resistencia interna: Es un concepto que ayuda a modelar las consecuencias eléctricas debido a las reacciones químicas producidas en el interior de la batería.

La resistencia interna es imposible medirla directamente, pero puede ser calculada mediante datos de corriente y voltaje medidas en ella a través de la siguiente ecuación:

$$R_b = \left( \frac{V_s - V}{I} \right) - R_L$$

## Universidad de Sevilla. Escuela Politécnica Superior de Sevilla

La resistencia interna varía con la edad de la batería, pero en la mayoría de las baterías comerciales la resistencia interna es del orden de 1 ohmio.

- ❖ **Capacidad:** Es la cantidad medida de amperios-hora  $m$  (Ah), que puede suministrar o aceptar una batería. Esta magnitud se calcula como la integral de la corriente a lo largo de un determinado periodo de tiempo.

En una batería viene indicada su capacidad expresado por el código 'CX Y Ah', donde X es el tiempo de descarga y Ah es cantidad de carga de dicha descarga, siempre para un voltaje fijo. Por ejemplo, si tenemos una batería C10 50 Ah, significa que la batería de 50 Ah puede descargarse durante 10 horas.

- ❖ **Capacidad nominal:** Es la capacidad que puede entregar una batería desde plena carga, hasta alcanzar una tensión determinada a una temperatura fijada y a una razón de descarga específica.
- ❖ **Capacidad real:** Capacidad que puede entregar una batería desde su estado de plena carga y en condiciones distintas a las especificadas en la capacidad nominal de la batería, exceptuando la tensión de finalización de descarga.
- ❖ **Capacidad retenida:** Capacidad conservada por la batería después de un periodo de inactividad o reposo.
- ❖ **Máxima corriente en intervalos:** Corriente máxima a la que la batería puede ser descargada en intervalos de tiempo, se trata de un límite definido por el fabricante todo ello con el fin de evitar daños y pérdidas de prestaciones.
- ❖ **Máxima corriente de descarga continua:** Como su nombre indica, es la máxima corriente que la batería puede descargar de forma continuada. Es un valor facilitado por el fabricante a fin de evitar daños o una posible reducción de la capacidad de la batería.
- ❖ **Autodescarga:** Pérdida de la capacidad de la batería cuando se mantiene el circuito abierto, se expresa en términos de porcentaje de pérdida de capacidad con respecto a la capacidad nominal.

## Universidad de Sevilla. Escuela Politécnica Superior de Sevilla

- ❖ Sobrecarga: Proceso que tiene lugar cuando se continúa cargando la batería después de perder la eficiencia de las reacciones electroquímicas en el proceso de carga.
- ❖ Vida útil: Tiempo que una batería puede mantener sus prestaciones por encima de unos límites mínimos predeterminados, se define también como el número de veces que una batería puede ser recargada.
- ❖ Eficacia: Es la fracción de energía eléctrica que devuelve la batería, en proporción a la energía necesaria para su carga. A mayor eficacia, mayor rendimiento.
- ❖ Tiempo de recarga normal: Se trata del tiempo necesario para recargar completamente una batería.
- ❖ Tiempo de recarga rápida: Son los tiempos necesarios para recargar una batería al 50 % o al 99 %.
- ❖ Curvas de carga y descarga: Son gráficas utilizadas para definir el funcionamiento y prestaciones de la batería.

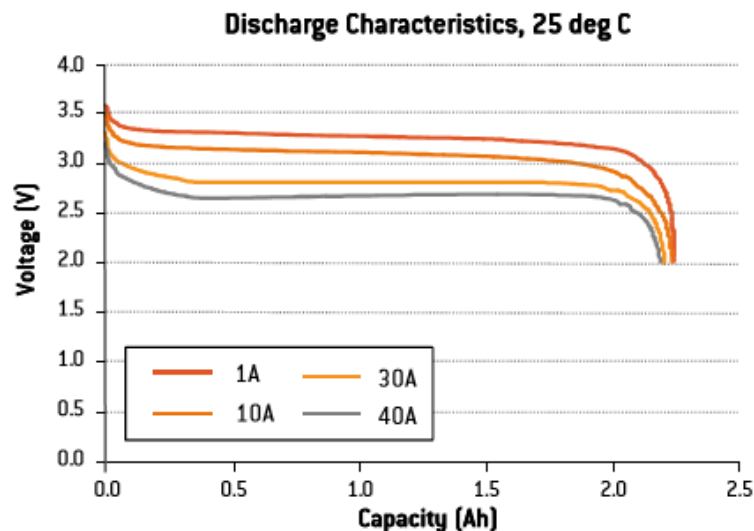


Figura 6.6.1.1 Gráficas de funcionamiento de distintas baterías  
([www.robotcombat.com/products/images/bp\\_configs/pdf/ANR26650M1.pdf](http://www.robotcombat.com/products/images/bp_configs/pdf/ANR26650M1.pdf))

## Universidad de Sevilla. Escuela Politécnica Superior de Sevilla

- ❖ Delta peak: Sistema utilizado para cargar baterías tipo NiMH y NiCd, su característica particular es que cuando se acercan a su plena carga su voltaje aumenta bruscamente aumentando también sus picos de tensión, los cuales son detectados por el cargador el cual dará por finalizada la carga.
- ❖ Descargas anormales: Son aquellas que se separa al menos un 10 % de la normal que nos proporciona el fabricante a través de las curvas de descarga.
- ❖ Potencia máxima de un elemento: Es aquella en la que el elemento es capaz de entregarnos al menos un 80 % de su capacidad nominal antes de bajar 3V y no superar 50 °C en su superficie en el menor tiempo posible.
- ❖ Coste: Es el coste de la batería por unidad de energía almacenada, para un acumulador de plomo está en torno a 350 €/kWh, en Europa el gasto medio en electricidad es 10 céntimos de €/kWh.
- ❖ Toxicidad: Debido a que muchas tecnologías utilizan productos altamente contaminantes es necesario hacer una cuantificación, es por ello que las altas tecnologías desechan el uso de metales como el mercurio.
- ❖ Índice C: Es la unidad derivada del sistema internacional para la medida de la magnitud física referida a la cantidad de electricidad, se define como la cantidad de carga transportada en un segundo por una corriente de un amperio de intensidad de corriente eléctrica:

$$1 \cdot C = 1 \cdot A \cdot s$$

- ❖ Densidad de Energía: Energía que puede almacenar una batería por unidad de volumen (Wh/L).
- ❖ Densidad de Potencia: Potencia que puede entregar una batería por unidad de volumen (W/L).
- ❖ Energía Específica: Energía que puede almacenar una batería por unidad de masa (Wh/kg).

## Universidad de Sevilla. Escuela Politécnica Superior de Sevilla

- ❖ **Potencia Específica:** Potencia que puede entregar una batería por unidad de masa (W/kg).
- ❖ **Ecualización de las baterías:** Se trata de una sobrecarga forzada que elimina la sulfatación de la batería que pueda haberse formado durante las cargas bajas

### 6.2 Clasificación de las distintas baterías en un motor eléctrico

Existen dos clases de pilas: la primaria, cuya carga no puede renovarse cuando se agota, excepto reponiendo las sustancias químicas de las cuales están compuesta y la segunda, la cual, si es susceptible de reactivarse, sometiéndola a un paso de corriente eléctrica en sentido inverso al cual la pila suministra normalmente la corriente eléctrica.

Las pilas primarias se aplican fundamentalmente en necesidades de potencia baja, siendo por tanto su tamaño bastante pequeño.

Por el contrario, las secundarias se comercializan en un amplio margen de capacidades, desde capacidades bajas hasta capacidades medias y altas.

Para nuestro trabajo, consideraremos las secundarias puesto que son las que se adaptan a los vehículos eléctricos, no tendría sentido colocar una batería primaria a un vehículo eléctrico puesto que no suministraría la potencia necesaria para que el vehículo pudiera mantener una velocidad adecuada.

#### 6.2.1 Baterías Plomo-ácido

Este tipo de baterías son comunes en vehículos convencionales, no híbridos, constituidas por celdas de 2 V hasta llegar a 6 V o 12 V.

## Universidad de Sevilla. Escuela Politécnica Superior de Sevilla

Poseen una gran capacidad de descarga durante un breve periodo de tiempo, lo cual las hace ideales para motores de combustión interna. Están formadas por un depósito de ácido sulfúrico y en su interior una serie de placas de plomo dispuestas alternadamente.



Figura 6.6.2.1.1 Batería de plomo-ácido  
([www.silversanz.com](http://www.silversanz.com))

Las ventajas y desventajas las analizamos en la siguiente tabla:

Ventajas	Desventajas
Tecnología totalmente establecida	Elevado peso, debido a su composición en plomo
Alta tensión por celda	Baja energía específica, menor que 30-50 Wh/Kg
Gran capacidad para suministrar picos de corriente altos	Corta vida cíclica
Alta eficiencia	No aceptan carga rápida
Facilidad de reciclado	Baja resistencia ante sobrecargas y descargas accidentales

Tabla 6.6.2.1.1 Ventajas y desventajas de las baterías de plomo-ácido

Las investigaciones actuales se enfocan en la reducción de la necesidad del mantenimiento de estas baterías, aumentando la vida útil, disminución del volumen, peso o reducción del tiempo de recarga.

## Universidad de Sevilla. Escuela Politécnica Superior de Sevilla

Dentro de este tipo de baterías encontramos las de válvula regulada, que han representado un gran avance respecto a las baterías de plomo-acido convencionales. Una de las ventajas que representan este tipo de baterías es la posibilidad de la recombinación de los gases producidos durante las reacciones de sobrecarga, cuando la batería se encuentra próxima a su estado de carga.

Con esto se consigue evitar la pérdida de electrolito en forma de gases, reduciendo el mantenimiento de la batería. Las reacciones electroquímicas que se producen durante la sobrecarga en una batería de plomo-ácido de válvula regulada están basadas en el principio de recombinación.

En cuanto al proceso de recarga, se presentan diversas dificultades, ya que la recombinación no garantiza la reducción del gas que se produce de forma temprana en el interior de la batería, en este caso se fuerza la apertura de la válvula de seguridad y el exceso de gas se expulsa al exterior con la consiguiente pérdida de electrolito.

Para poder utilizar una batería de plomo acido en muchos ciclos no se recomienda que extraiga más del 50 % de su carga, es decir, que siempre quede un 50 % de la carga en la batería.

Su coste es relativamente bajo frente a otras tecnologías, así como un proceso de reciclaje relativamente sencillo, por lo que tiene un uso elevado en la actualidad frente a otros tipos de baterías.

### 6.2.2 Baterías Níquel-Cadmio

Este tipo de baterías utilizan un cátodo de hidróxido de níquel, un ánodo compuesto de cadmio y un electrolito de hidróxido de potasio. Gracias a esta combinación de materiales permite recargar la batería una vez agotada, para su reutilización.

## Universidad de Sevilla. Escuela Politécnica Superior de Sevilla

Sin embargo, su densidad de energía es relativamente baja, en torno a 50 Wh/kg, por lo que poseen una capacidad media. Pueden seguir admitiendo más carga cuando ya están cargadas gracias a que admiten sobrecargas.



Figura 6.6.2.2.1 Batería de Níquel – Cadmio  
([www.wikipedia.org](http://www.wikipedia.org))

A continuación, se detallan las ventajas y desventajas de este tipo de baterías:

Ventajas	Desventajas
Tecnología totalmente establecida	Precio elevado
Buen comportamiento en un amplio margen de temperaturas	Están fabricados con Cadmio, elemento altamente contaminante
Admiten sobrecargas	Actualmente no se fabrican en muchos países desarrollados
Vida cíclica alta	La tensión nominal es de 1,2 V por celda, un valor bastante bajo por celda
Gran robustez ante abusos eléctricos y mecánicos	Efecto memoria muy alto
Gran fiabilidad, no fallan de forma repentina	Sufren envejecimiento prematuro con el calor

Tabla 6.6.2.2.1 Ventajas y desventajas de las baterías Níquel-Cadmio



## Universidad de Sevilla. Escuela Politécnica Superior de Sevilla

Este tipo de baterías, a pesar de los avances tecnológicos que ofrece, no es una de las más utilizadas, debido a que presenta algunas desventajas muy notables tales como el coste.

### 6.2.3 Baterías Níquel-hidruro metálico

Las baterías Níquel-hidruro metálico están compuestas, como su nombre indica, por hidruro metálico el cual se introdujo comercialmente en el siglo XIX.

Tienen un rendimiento similar a las baterías de NiCd, siendo la principal diferencia que en la batería de NiMH utiliza un ánodo de hidróxido de níquel y un cátodo de una aleación de hidruro metálico, que las hacen libre de cadmio, lo que conlleva una ventaja considerable. Básicamente las ventajas son aumento de la capacidad, disminución del peso y un menor efecto memoria.

Las baterías de Níquel-hidruro metálico tiene características eléctricas similares a las de tecnologías de Níquel-Cadmio, la tensión nominal por celda es 1,2 V y las curvas de descarga y descarga son bastante similares.



Figura 6.6.2.3.1 Batería de Níquel-hidruro metálico (Fuente Saft)

## Universidad de Sevilla. Escuela Politécnica Superior de Sevilla

A continuación, se detalla una vez más, las ventajas y desventajas de este tipo de baterías:

Ventajas	Desventajas
Mayor densidad energética y mayor energía específica, que el NiCd	Alta razón de autodescarga, entre un 15 y un 20 % por mes
Tecnología libre de Cadmio	Menor fiabilidad que las baterías Ni-Cd
Pueden ser cargadas por un cargador convencional	No soportan fuertes descargas
Son seguras	La tensión nominal es de 1,2 V por celda, un valor bastante bajo por celda
Presenta un fácil manejo en comparación con la tecnología del Litio	Vida media de 300-500 ciclos de carga

Tabla 6.6.2.3.1 Ventajas y desventajas de las baterías Níquel-hidruro metálico

### 6.2.4 Baterías Litio

Durante muchos años las baterías de Ni-Cd fue la única opción que había para ordenadores portátiles o teléfonos móviles. En los años 90 aparecieron las baterías de níquel-hidruro metálico e ion litio ofreciendo mayores capacidades y menores pesos, ambas tecnologías reclaman su sitio en el mercado, pero sin lugar a duda las baterías de ion-litio han ganado la partida.

El litio es el material más ligero que existe, debido a que posee 3 protones, su peso atómico es muy bajo, lo que permite crear baterías con un peso atómico muy bajo.

Al comienzo de su creación presento numerosos problemas debido a la inherente estabilidad química del litio por lo que se adoptó utilizar una forma del litio que no fuera metálico para mejorar la seguridad de estas baterías.

En 1991, Sony vendió su primera batería de ion-litio, después otras marcas tales como Samsung la siguieron.

## Universidad de Sevilla. Escuela Politécnica Superior de Sevilla

La densidad de energía de las baterías es casi el doble de las baterías de Níquel-Cadmio y no solo eso, numerosos investigadores estiman que se pueden desarrollar densidades de energía más grandes que las actuales.

Este tipo de baterías no requieren mantenimiento, algo que las hace destacar respecto a las otras mencionadas, no tienen efecto memoria y no es necesario realizar un reciclado en función de las cargas.

El voltaje de una celda de la familia de litio oscila entre los 3,3 a 3,7 voltios, lo que permite diseñar baterías de una única celda, se utiliza sobre todo en teléfonos móviles.

La estructura es frágil por lo que requerirán un circuito de seguridad, dicho circuito limitará el voltaje máximo que puede alcanzar cada célula durante la carga, y también limitar el voltaje mínimo de cada célula durante la descarga.

El envejecimiento de las baterías de litio es un tema que los fabricantes suelen ocultar ya que las capacidades químicas se degradan notablemente al cabo de un año.

Cada vez se están consiguiendo mejores baterías para mejorar dicha degradación y que el envejecimiento sea cada vez menor.



Figura 6.6.2.4.1 Batería de ion-litio  
(Get Science & Technology Publicado el 21 jul. 2016)

## Universidad de Sevilla. Escuela Politécnica Superior de Sevilla

A continuación, se detalla las ventajas e inconvenientes que presentan este tipo de baterías:

Ventajas	Desventajas
Alta densidad de energía	Requieren de un circuito de seguridad
Alta energía específica	Almacenar en lugar frío al 40% de su carga
Alta capacidad de descarga en algunos tipos de baterías de litio	Baja capacidad de descarga en las baterías de ion-litio
No necesitan mantenimiento	Limitaciones en su transporte aéreo
Sin efecto memoria	Precio superior a otras baterías

Tabla 6.6.2.4.1. Ventajas y desventajas de las baterías de ion-litio

### 6.2.4.1 Características del polímero de Litio (LiPo)

Este tipo de baterías, conocidas como lipo, se empezaron a fabricar en los años 70, se ensamblaban en un recipiente de plástico que no conducía la electricidad y que impedía el paso de los electrones.

Este tipo de baterías presentan algunas ventajas tales como crear baterías con un espesor de una tarjeta de crédito.

Desafortunadamente presenta una desventaja, tiene demasiada baja conductividad debido a la alta resistencia interna lo que conlleva una insuficiencia en la descarga, así como aumentar su temperatura hasta los 60 °C lo que lo hace inviable para ciertas aplicaciones. Para solucionar este problema se añadió un gel al electrolito.



Figura 6.6.2.4.1.1 Batería de polímero de Litio  
(<https://upload.wikimedia.org>)

Las celdas de polímero de litio utilizan unas bolsas flexibles de aluminio en lugar de fundas rígidas conllevando un menor peso y un menor tamaño de celda, siendo un 20 % más ligero que en el equivalente en pilas cilíndricas.

Este tipo de baterías es el futuro en los coches eléctricos, pero actualmente su precio es desorbitado.

## Universidad de Sevilla. Escuela Politécnica Superior de Sevilla

A continuación, se detalla las ventajas e inconvenientes de este tipo de baterías:

Ventajas	Desventajas
Pueden empaquetarse de múltiples formas	Requieren de un circuito de seguridad
Alta densidad de energía	Almacenar en lugar frío al 40% de su carga
Poco peso	Pueden explotar si se perforan
No necesitan mantenimiento	Limitaciones en su transporte aéreo
Sin efecto memoria	Precio superior a otras baterías

Tabla 6.6.2.4.1.1, Ventajas y desventajas de baterías de polímero de Litio

### 6.2.4.2 Características del ion Litio con cátodo ( $\text{LiCoO}_2$ )

Las baterías de ion-litio con cátodo de  $\text{LiCoO}_2$  son muy populares en el mundo de la electrónica, sobre todo es muy usado en elementos portátiles, con la mejor relación peso energía, sin efecto memoria y una lenta pérdida de la carga cuando no están en uso.

También en los últimos años han cobrado un gran uso en vehículos aeroespaciales y diversas aplicaciones debido a su alta densidad energética, durabilidad, costo y seguridad de estas baterías.

Este tipo de baterías ofrecen mayor densidad energética y energía específica del mercado, por el contrario, poseen una de las capacidades de descarga más bajas, razón por la cual se encuentran en aparatos electrónicos portátiles que no exigen bruscas descargas de corriente.



Figura 6.6.2.4.2.1 Batería de Litio con cátodo  $\text{LiCoO}_2$   
(<https://www.motorraiz.com/bateria-jmt-ion-litio-hjtx20h-fp>)

A continuación, se muestra en una tabla las ventajas y desventajas de estas baterías:

Ventajas	Desventajas
Baterías con la mayor densidad energética del mercado	Sufren efectos el efecto de pasivación
Batería con la mayor energía específica	Las altas temperaturas afectan a su ciclo de vida
No está fabricada con productos tóxicos	Capacidad de descarga muy pequeña
Sin efecto memoria	problemas de eculización y necesidad de circuitos electrónicos adicionales

Tabla 6.6.2.4.2.1 Ventajas y desventajas de baterías de Litio con cátodo de  $\text{LiCoO}_2$

#### 6.2.4.3 Características del cátodo Litio (LiFePO<sub>2</sub>)

Este tipo de baterías son una variación de las baterías que hemos visto en el punto anterior, son de bajo costo, no es tóxico teniendo un alto componente en hierro con buenas características de seguridad y un rendimiento electroquímico bueno.

La mejora de su conductividad respecto al anterior es debido a la presencia de nanotubos de carbono. Otra ventaja es su mejora en la estabilidad química y térmica, la cual ofrece mejores características de seguridad que el resto de las baterías de litio.

También, se aprecia que la densidad energética en un año de estas baterías será aproximadamente la misma que las de LiCoO<sub>2</sub> y que dos años después la densidad energética del LiCoO<sub>2</sub> será inferior a las de LiFePO<sub>2</sub>, por lo que las baterías de LiFePO<sub>2</sub> tendrán una mayor vida útil.



Figura 6.6.2.4.3.1 batería de litio con cátodo de LiFePO<sub>2</sub>  
(<https://www.tracerpower.com>)



## Universidad de Sevilla. Escuela Politécnica Superior de Sevilla

A continuación, se muestra un resumen de las ventajas y desventajas más importantes de este tipo de baterías:

Ventajas	Desventajas
Alta tensión en circuito abierto, 3,3v	Sufren efectos el efecto de pasivación
Vida superior a 10 años	Problemas de ecualización y necesidad de circuitos electrónicos adicionales
Buena capacidad para soportar la sobrecarga	
No está fabricada con productos tóxicos	
Sin efecto memoria	
Buena potencia específica	

Tabla 6.6.2.4.3.1 Ventajas y desventajas batería con cátodo de  $\text{LiFePO}_2$

## 7. Análisis de la batería más idónea en un vehículo eléctrico

En este punto se analizará que batería es más idónea para un vehículo eléctrico, todo ello en base a los parámetros que definen una batería, definidos en un punto anterior.

### 1) Tensión por celda

La tensión por celda es uno de los parámetros más importantes a la hora de decantarse por un tipo de química, más tensión por celda permitirá conseguir voltajes más elevados con menos celdas.

La química dominante es la del litio que maneja valores en torno a 3,3 V a 3,7 V, mientras que en el NiMH y NiCd el voltaje nominal por celda únicamente alcanza 1,2 V, por lo que sería necesario más de tres celdas en serie para alcanzar un valor similar a una celda de polímero de litio.

## Universidad de Sevilla. Escuela Politécnica Superior de Sevilla

En el caso del plomo el voltaje nominal por celda es de 2 V. Este voltaje sigue siendo notablemente inferior al proporcionado por las celdas de litio.

### 2) Tasa de auto-descarga

Cómo se ha visto anteriormente el litio es el que tiene la tasa de autodescarga más baja, en concreto el polímero de litio el cual está en torno a un 5 %, le sigue el ion de litio y a continuación NiCd.

### 3) Capacidad de descarga en continua

La capacidad de descarga es uno de los puntos más fuertes del polímero de Litio y del LiFePO<sub>4</sub> cuyas capacidades de descargas están en torno 45 C\*s<sup>-1</sup> y 26 C\*s<sup>-1</sup> respectivamente en descarga continua, el resto de las tecnologías tienen unos valores muy inferiores.

Las baterías con menor capacidad de descarga son las de iones de litio, debido a su diseño, ya que están orientados a equipos electrónicos en los que priman la autonomía y no necesitan grandes demandas de corrientes como ocurre en las herramientas o vehículos eléctricos.

### 4) Capacidad de descarga por picos

La descarga por picos esta sólo presente en el polímero de litio y en el LiFePO<sub>4</sub>, los propios fabricantes limitan la capacidad de descarga máxima de las baterías a un periodo de tiempo, que ronda los 10 milisegundos para garantizar la seguridad y la vida útil de las baterías, proporcionando un mayor rendimiento durante un breve periodo de tiempo.

## Universidad de Sevilla. Escuela Politécnica Superior de Sevilla

Pueden llegar a alcanzarse descargas de  $90 \text{ C}\cdot\text{s}^{-1}$  en el caso del polímero de litio y de  $52 \text{ C}\cdot\text{s}^{-1}$  en el caso de  $\text{LiFePO}_4$ .

En el resto de las tecnologías este parámetro no existe.

### 5) Eficiencia

En este aspecto las baterías de Litio son claramente la vencedora, pues sus porcentajes de eficiencia superan el 90% en el peor de los casos, mientras que otras tecnologías como el NiMH, NiCd y el plomo sus porcentajes rondan alrededor de un 66% y un 90% en el mejor de los casos.

### 6) Seguridad

En el tema de seguridad la tecnología de litio es la más peligrosa comparada con otras tecnologías, pudiendo ser explosiva si se ve sometida a sobrecarga, cortocircuito o al ser atravesada con un elemento punzante.

### 7) Mantenimiento

En las baterías de Litio, cómo se ha visto no necesita mantenimiento periódico tal y cómo ocurre con el resto de las baterías.

Por ejemplo, en el NiMH y del NiCd es necesario realizar varios ciclos completos de carga y descarga para eliminar el efecto memoria de que producen este tipo de químicas.

## Universidad de Sevilla. Escuela Politécnica Superior de Sevilla

En el caso del Pb es necesario rellenar con agua destilada el electrolito evaporado para permitir una recarga óptima por parte del alternador.

### 8) Vida cíclica

Respecto a este parámetro el  $\text{LiFePO}_4$  supera al resto de tecnologías con una gran diferencia.

Según la compañía A123, sus baterías de  $\text{LiFePO}_4$  están preparadas para superar los 10000 ciclos de carga manteniendo tras ellos el 80 % de su capacidad inicial, ninguna otra tecnología se aproxima a dichos estándares.

### 9) Densidad energética

Sin lugar a duda, el litio es el que ofrece mejor densidad energética de todas las tecnologías con 360 Wh/l, seguida del polímero de litio y el  $\text{LiFePO}_4$ . El resto se encuentran muy atrás.

### 10) Porcentualmente menor voltaje máximo, respecto a su voltaje nominal

Las baterías con tecnología de litio poseen menor diferencia entre voltaje nominal y el voltaje máximo lo que obliga al sistema electrónico a trabajar con valores de tensiones máximos tan altos.

De lo anterior se deduce que cuanto menor sea la diferencia entre el voltaje máximo y el voltaje nominal, menor voltaje máximo tendrán que soportar los elementos electrónicos

## Universidad de Sevilla. Escuela Politécnica Superior de Sevilla

### 11) Energía específica [W/kg]

El ion litio es la química a destacar, seguido del polímero de litio y del ion de litio con cátodo de  $\text{LiFePO}_4$  estando las demás muy por detrás.

### 12) Curvas de carga y descarga

Las mejores curvas de descarga son entregadas por el polímero de Litio y por  $\text{LiFePO}_4$ . Sus curvas apenas poseen pendientes y su funcionamiento es prácticamente lineal durante todo su uso.

El resto de las baterías conforme se agotan su capacidad, van disminuyendo su voltaje de manera progresiva, reduciendo así la potencia entregada, suponiendo una disminuyendo su voltaje de manera progresiva, reduciendo así la potencia entregada.

### 13) Carga rápida

La química con el tiempo de carga más rápido corresponde al  $\text{LiFePO}_4$ , pudiendo ser cargada en 15 minutos, la siguiente más rápida es la del polímero de litio, con un tiempo de recarga de 30 min.

El NiCd y el NiMH pueden llegar a ser cargadas en un tiempo mínimo de 30 min, pero provocando una notable reducción en la vida útil de la celda, una sobrecarga química y un aumento de la temperatura y la presión, lo que se traduce en una reducción de la vida útil de las celdas.

## Universidad de Sevilla. Escuela Politécnica Superior de Sevilla

### 14) Resistencia antes sobrecargas y cortocircuitos

La tecnología con mayor capacidad para soportar la sobrecarga y cortocircuitos es la tecnología del NiCd, tal es su capacidad para soportar descargas en profundidad que pueden llegar a invertir su polaridad, sin reducir la vida útil de la batería.

### 15) Robustez y Fiabilidad

Para estas características la tecnología más competente es el NiCd como en el caso anterior. Poseen gran robustez ante abusos mecánicos, le siguen las de Pb, el NiMH y por último las baterías de Litio. Dentro de la tecnología del litio las celdas de LiFePO<sub>4</sub> son las más robustas y fiables.

### 16) Tolerancia a altas y bajas temperaturas

Una vez más en los casos que se refieren a fiabilidad y seguridad, la tecnología del NiCd es la mejor, pudiendo trabajar en un rango de temperaturas de -20 °C y 50 °C, y en casos más extremos entre -20 °C y 70 °C

### 17) Problemas de ecualización

Todas las tecnologías tienen este tipo de problema en sus celdas, dicho problema es posible solventarlo manteniendo el voltaje de carga durante más tiempo hasta que las celdas más rezagadas se cargan por completo, mientras que las celdas más cargadas transforma dicho exceso de carga en calor o en un aumento de presión en el interior de las celdas.

## Universidad de Sevilla. Escuela Politécnica Superior de Sevilla

Este método de carga no ofrece problemas para las tecnologías como NiMH, NiCd, Pb.

A diferencia de estas tecnologías, las baterías que pertenecen a la familia del Litio, una vez que alcanzan su voltaje máximo, no pueden seguir siendo cargadas ya que podrían provocar un daño en la propia batería.

Las baterías de Litio son las únicas que tienen problemas de ecualización de las celdas, requiriendo un dispositivo electrónico que compense los desequilibrios.

Concluimos que las baterías más idóneas para un vehículo eléctrico es la de polímero de litio.

A continuación, vamos a proceder a la construcción de una batería de polímero de litio.

### 8. Construcción de la batería de polímero de Litio

Este tipo de baterías utiliza una configuración compuesta por un ánodo de litio metálico, un polímero compuesto por polietileno, óxido de vanadio y una sal de litio.

#### 8.1 Elementos de una celda de polímero de litio

Para ver que esta configuración electroquímica aporta tan buenos resultados a las baterías se va a concretar su funcionamiento:

- ❖ Cada celda debe tener un ánodo, un cátodo y un electrolito

## Universidad de Sevilla. Escuela Politécnica Superior de Sevilla

- ❖ El ánodo es una ultradelgada lámina de litio metálico que hace la función de fuente de iones de litio o como colector
- ❖ El cátodo es un material con capas intercaladas de óxido de vanadio, sal de litio y polímeros, todo ello laminado sobre una hoja de aluminio que sirve de colector
- ❖ Lo que hace único a las baterías de polímero de litio, es el electrolito confeccionado a partir de una membrana que sirve de separador entre las láminas de ánodo y cátodo.
- ❖ La tendencia actual a la hora de diseñar baterías de ion de litio consiste en añadir al electrolito un gel que mejora las propiedades térmicas y disminuye la impedancia interna de la batería, mejorando por tanto su capacidad de descarga.
- ❖ Al introducir un gel es necesario encapsularla de forma estanca en la celda, con el fin de evitar pérdida de sus elementos internos.
- ❖ El comportamiento elástico del polímero permite que la superficie de contacto con los electrodos sea la adecuada.

Con el fin de evitar la degradación de la batería se incluyen algunas capas intermedias, como por ejemplo un film de pocas micras de espesor entre el litio y el electrolito, evitando la oxidación del litio con la sal del electrolito. De no aplicar esta protección se generaría una capa autopasivante de formación dendrítica que aumentaría en cada ciclo de carga-descarga y que podría dejar aisladas eléctricamente a zonas del ánodo reduciendo la capacidad efectiva de la batería.



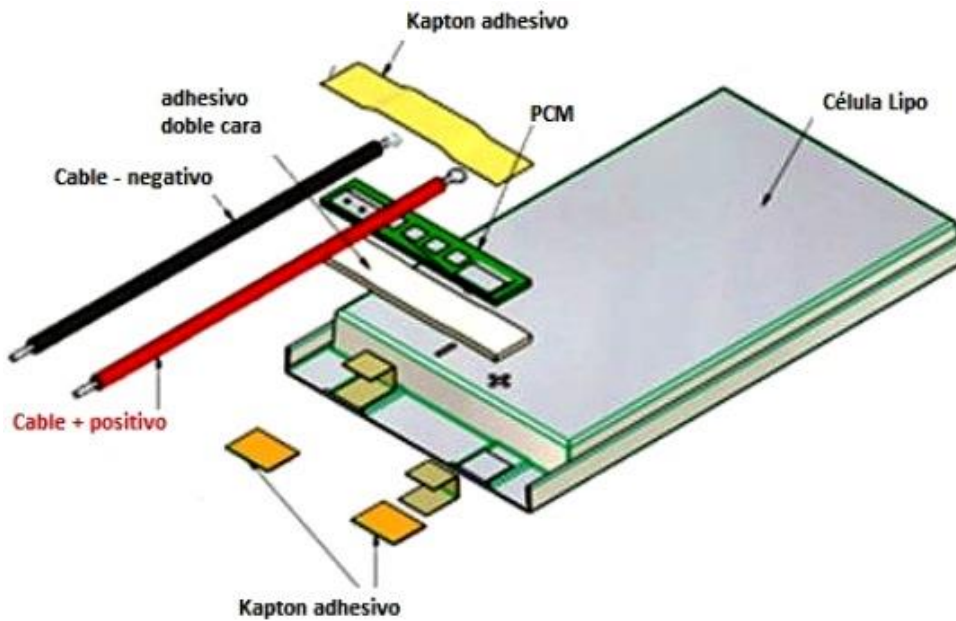


Figura 8.8.1.1 Disposición de una batería de polímero de Litio (bateriasdelitio.net)

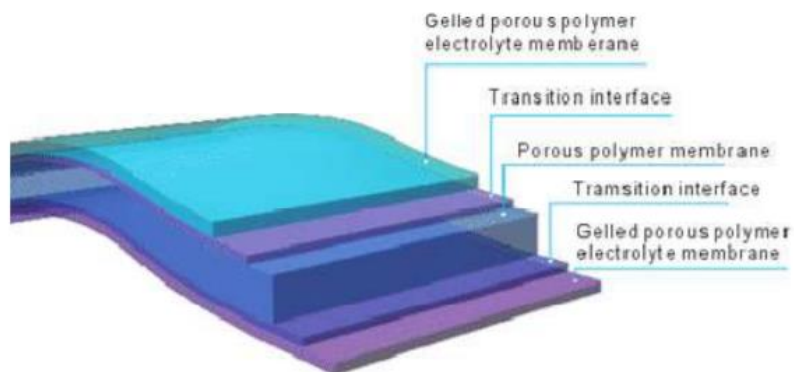


Figura 8.8.1.2 Capas pertenecientes a una batería de Litio

([https://e-archivo.uc3m.es/bitstream/handle/10016/11805/PFC\\_Carlos\\_Pena\\_Ordonez.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://e-archivo.uc3m.es/bitstream/handle/10016/11805/PFC_Carlos_Pena_Ordonez.pdf?sequence=1&isAllowed=y))

## 8.2 Temperatura y diseño de la batería

Cuando se diseña una celda de polímero de litio existe la necesidad de laminar las capas de los reactivos, hasta el orden de micras, todo ello para contrarrestar el efecto de una baja conductividad, para esto se hace necesaria una gran superficie de conducción y así poder reducir la resistencia resultante, permitiendo unas corrientes de funcionamiento aceptables.

La tensión no se ve afectada, pues solo depende de la afinidad química de los materiales. Otro punto importante que afecta al diseño es la variación de esta conductividad con la temperatura.

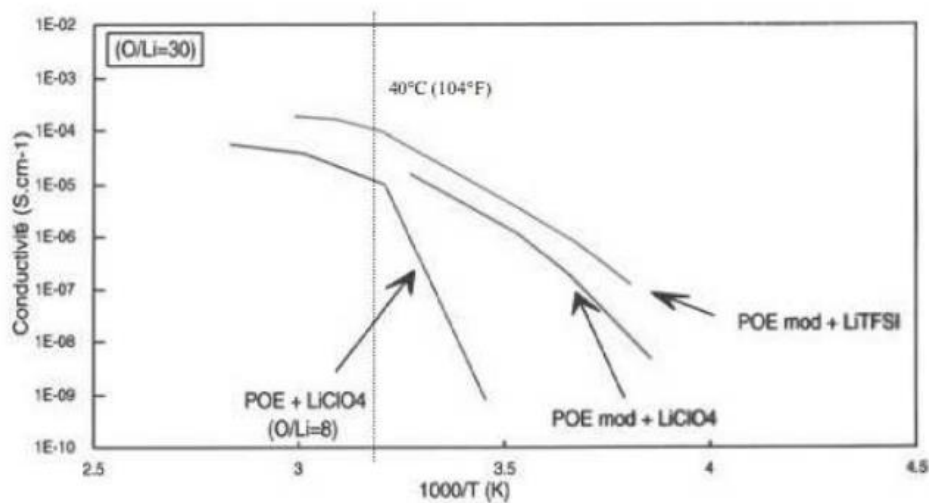


Figura 8.8.2.1 Gráfica que representa la conductividad del electrolito  
([https://e-archivo.uc3m.es/bitstream/handle/10016/11805/PFC\\_Carlos\\_Pena\\_Ordonez.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://e-archivo.uc3m.es/bitstream/handle/10016/11805/PFC_Carlos_Pena_Ordonez.pdf?sequence=1&isAllowed=y))

## Universidad de Sevilla. Escuela Politécnica Superior de Sevilla

Si se observa el gráfico la conductividad del electrolito varía fuertemente con la temperatura. La composición de LiTFSI con aditivos comonómeros en matriz de óxido de polietileno es la que mejor resultado da a temperaturas más bajas (40 °C -60 °C).

Para asegurar una temperatura de funcionamiento adecuada, es necesario intercalar entre las celdas de los reactivos, elementos generadores de calor y termómetro que mediante el circuito de protección térmica busquen el punto de funcionamiento más recomendable.

El calentamiento se consigue con energía obtenida de la propia batería, por lo que no podremos calentarla lo que deseamos con tal de mejorar la conductividad.

Dependiendo del ambiente en el que se vaya a trabajar, el tamaño y potencia de la batería puede que no sea necesaria la inclusión de estos calentadores, ya que con su funcionamiento normal se genere el calor suficiente.

En otros casos es recomendable utilizar disipadores de calor con el fin de evitar la degeneración de otros compuestos de la batería. En el caso de modernas baterías pequeñas permiten el funcionamiento a temperatura ambiente, pero son menos efectivos.

Unas últimas investigaciones han mejorado los electrolitos y han creado un electrolito no inflamable que se vuelve aislante eléctrico cuando la temperatura pasa de los 130°C y pronto entrará en el mercado, principalmente para las baterías de los vehículos eléctricos.

Todo está enfocado a que el usuario final no tenga que hacer ningún tipo de control sobre la temperatura.

### 8.3 Protecciones internas de la celda

Las baterías de polímero de litio pueden generar daños físicos debido a su excesivo calentamiento, para evitar esto, se incorporan circuitos de protección que regulan diversos aspectos:

- ❖ Protección de corriente: La corriente admisible que puede circular es bastante limitada para evitar sobrecalentamientos y defectos en los materiales electroquímicos, es por ello suelen incorporar una resistencia para disipar el calor generado, de forma que si en carga intentamos sobrepasar la tensión parte de esta se consume en estos radiadores.
- ❖ Protección de presión: La tensión interna que sufre el litio en su proceso de carga y descarga, puede producir micro-agrietamientos en elementos internos de la celda.
- ❖ Protección ante el agua: el encapsulado debe proteger al litio del agua y la humedad para conservar todas sus propiedades y no estropear la batería

### 8.4 Elementos para la fabricación de una celda de polímero de litio

El proceso para la fabricación de un polímero de litio:

- 1) Aleación del cátodo de litio, ya sea a partir de un lingote de litio, extrusión etc.
- 2) Aleación del ánodo de estaño
- 3) El electrolito puede ser creado en láminas o pulverizado como una capa sobre el ánodo
- 4) Fijación y pegado de las láminas

## Universidad de Sevilla. Escuela Politécnica Superior de Sevilla

- 5) Devanado de la lámina
- 6) Montaje de las celdas con el sistema de generación térmica si es necesario
- 7) Soldadura de los electrodos
- 8) Fabricación de la carcasa por moldeo de plástico
- 9) Recubrimientos aislantes y de protección
- 10) Conexión de los sistemas de protección electrónicos

### 8.5 Generación de atmosfera protectora

Para la fabricación de las baterías de litio es necesario la preparación de los gases del entorno de trabajo, la línea de fabricación debe estar protegida de la suciedad, humedad y gases reactivos, para ello existen dos opciones:

- ❖ Sala acondicionada
- ❖ Líneas de producción aisladas

#### 8.5.1 Sala acondicionada

Controla la entrada y salida del aire de la habitación mediante unos sensores de condensado cómo se muestra en la figura 8.8.5.1.1.

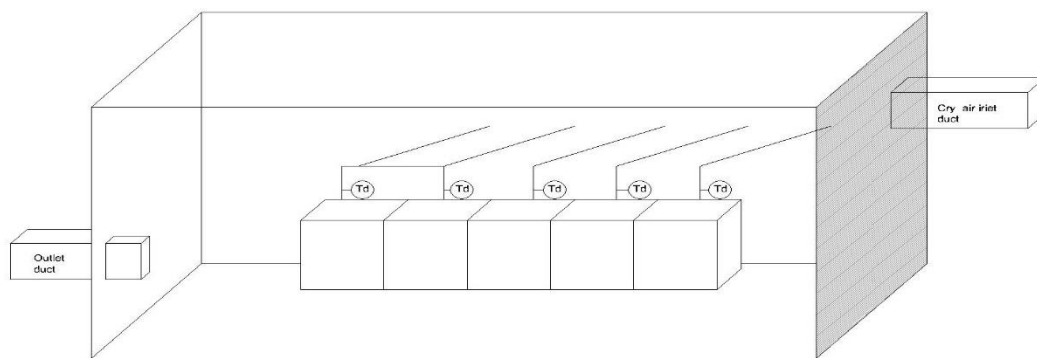


Figura 8.8.5.1.1 Esquema de los conductos de entrada y salida de aire (Autocad)

El aire se purifica con filtros anti-polvo, y para reducir la humedad se utilizan sistemas de condensado que enfrían el aire forzando la condensación del vapor y lo expulsan más seco.

### 8.5.2 Líneas de producción aisladas

Otra opción es aislar el ambiente exterior en una cámara cerrada en la que se encierra la línea de producción de la batería.

La principal desventaja es que dificulta el mantenimiento de la línea y no permite variar apenas los parámetros de fabricación ya que permiten poca modularidad de maquinaria.

## 8.6 Fabricación

### 8.6.1 Fabricación lámina de litio

Para la fabricación de la lámina de litio se va a partir de un lingote de litio puro (99%) de unos 5 kg de masa, el cual se introduce en una prensa la cual transforma la lámina en un tamaño de 250 micras de grosor y 200 m de longitud, posteriormente un laminador reduce aún mas el grosor de litio entre 20 y 40 micras y una longitud de 2 km lo que nos permitirá fabricar 210 baterías de litio.

Las propiedades del lingote de litio son:

<i>Propiedades Físicas</i>		<i>Propiedades Eléctricas</i>	
Densidad a 20C ( g cm <sup>-3</sup> )	0,534	Fuerza Electromotriz Térmica contra el Platino ( mV )	+1,82
Punto de Ebullición ( C )	1342	Coefficiente de Temperatura a 0-100C ( K <sup>-1</sup> )	0,00435
Punto de Fusión ( C )	180,5	Resistividad Eléctrica a 20C ( μOhmcm )	9,29

<i>Propiedades Mecánicas</i>		<i>Propiedades Térmicas</i>	
Estado del Material	Policristalino	Calor Especifico a 25C ( J K <sup>-1</sup> kg <sup>-1</sup> )	3560
Dureza - Vickers	<5	Calor Latente de Evaporación ( J g <sup>-1</sup> )	19600
Módulo Volumétrico ( GPa )	11,1	Calor Latente de Fusión ( J g <sup>-1</sup> )	422
Módulo de Tracción ( GPa )	4,91	Coefficiente de Expansión Térmica 0-100C ( x10 <sup>-6</sup> K <sup>-1</sup> )	56
Relación de Poisson	0,36	Conductividad Térmica a 0-100C ( W m <sup>-1</sup> K <sup>-1</sup> )	84,8

Tabla 8.8.6.1.1 Características de una lámina de litio

([https://e-](https://e-archivo.uc3m.es/bitstream/handle/10016/11805/PFC_Carlos_Pena_Ordonez.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

[archivo.uc3m.es/bitstream/handle/10016/11805/PFC\\_Carlos\\_Pena\\_Ordonez.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://e-archivo.uc3m.es/bitstream/handle/10016/11805/PFC_Carlos_Pena_Ordonez.pdf?sequence=1&isAllowed=y))

En su tabla de características podemos apreciar que es un elemento muy ligero además de poseer unos puntos de fusión y ebullición muy bajos, junto a unas propiedades mecánicas bastante elásticas que faciliten el mecanizado.

### 8.6.1.1 Extrusión

Inicialmente se necesita realizar un proceso de extrusión, debido a las propiedades del litio con una sola extrusión se podrán conseguir espesores de tan solo 0,25 mm.

La extrusión puede realizarse en frío, pero teniendo en cuenta el bajo punto de fusión del litio y una temperatura ambiente elevada, sumando al aumento de temperatura por las propias tensiones de material, hacen que el lingote sea lo bastante blando como para que sea tratado con maquinaria de laminado en caliente, pero sin calentadores.

A pesar de ser blando, como se pretende una reducción importante del grosor a velocidades medias y tiradas largas, es necesario utilizar prensas con potencias medias, por lo que es habitual utilizar extrusores horizontales que permiten grandes potencias de empuje y permiten hacer de una tirada láminas de más de 200 m.

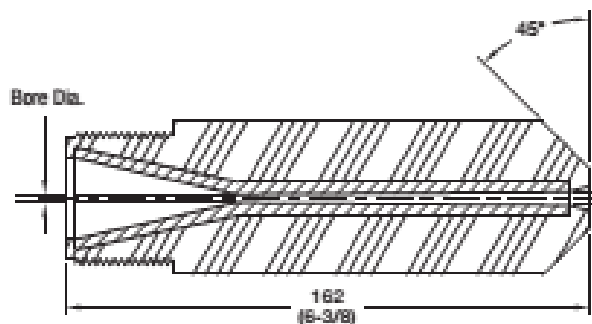


Figura 8.8.6.1.1.1 Boquilla para extrusión del litio  
(www.docplayer.es)



## Universidad de Sevilla. Escuela Politécnica Superior de Sevilla

Existen en el mercado diversas boquillas patentadas para el extrusor, una de ellas es la representada en la figura 8.8.6.1.1.1, que poseen ciertas piezas en ángulo, que forman reflujos para direccionar los granos de cristal de litio lo más longitudinalmente posible, para obtener las mejores propiedades mecánicas, ya que, sino durante la extrema laminación que se le aplicara, podrían romperse.

No se utilizarán lubricantes debido a que es un metal muy blando, de buena fluidez y que además es muy utilizado para producir grasa para lubricar maquinaria, por lo que se hace evidente la poca necesidad de utilizar lubricante.

### 8.6.1.2 Laminación

El grosor mínimo que nos permite la extrusión es como mínimo del orden de 0,25 mm, pero si realizásemos una batería de litio con una lámina tan gruesa, la resistencia interna y la corriente máxima que permitiría no serían admisibles para la mayoría de los usos.

Por ello es necesario reducir aún más el espesor mediante un laminado. Dado que la extrusión se realizaba en frío, el laminado también se hará así.

Cómo se desea una reducción de aproximadamente 20  $\mu\text{m}$  lo más aconsejable es utilizar varias etapas de laminado o laminado en tándem, reduciendo progresivamente el grosor de la lámina.

La presión que ejerce cada tren de rodillos debe ser calculada meticulosamente ya que es muy importante ajustar las velocidades de la lámina para que se ajuste al siguiente tren.

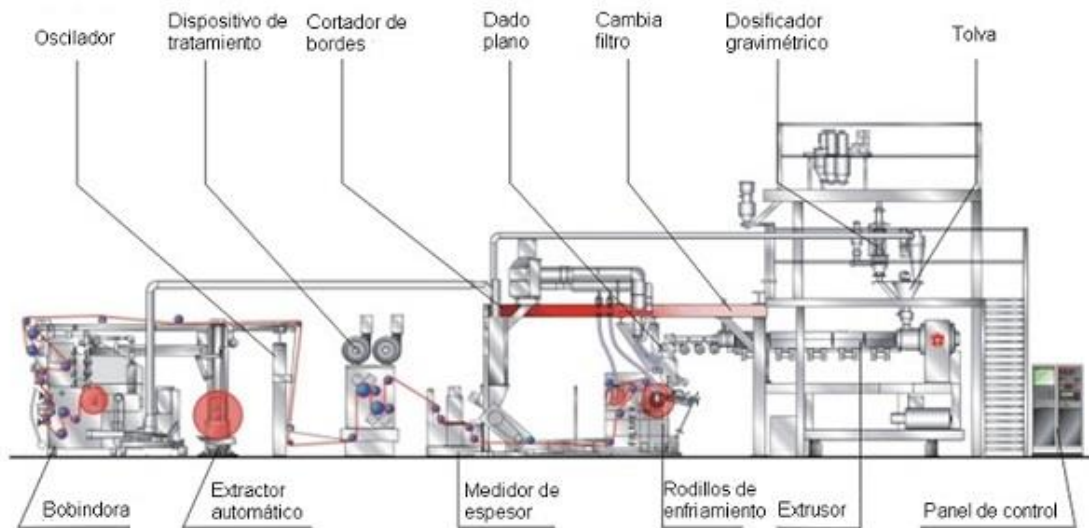


Figura 8.8.6.1.2.1 Esquema del proceso de laminación del litio  
<http://tecnologiadelosplasticos.blogspot.com>

La reducción del grosor produce un alargamiento y un ensanchamiento que hay que controlar para que no se descentre de los rodillos y para que no haya desequilibrios en las velocidades de estos.

Además, al tratarse de láminas tan delgadas y de un material blando hay que manejarlas con delicadeza porque pueden aparecer grietas y fisuras que dividan la lámina muy fácilmente, por lo que no pueden aparecer tensiones mecánicas internas considerables.

### 8.6.1.3 Comprobación de calidad

Se hace necesarios controles de calidad continuos simultáneos a las salidas de los procesos tanto de laminado como de extrusión.

## Universidad de Sevilla. Escuela Politécnica Superior de Sevilla

Se sitúan unos medidores de espesor, velocidad, implementados de diversas maneras cómo puede ser mediante básculas de precisión combinadas con encoders de giro con los cuales a partir del peso, velocidad y densidad del material podemos conocer el espesor de la lámina.

Estos sistemas se encuentran totalmente computarizados de forma que según los resultados de estas medidas controlamos la fuerza y los parámetros de funcionamiento tanto del extrusor como de los trenes de laminado, todo en tiempo real.

### 8.6.1.4 Enrollado

El proceso final previo al ensamblado es un enrollamiento. Un motor sincronizado con la maquinaria de mecanizado, así como con los elementos de control va recogiendo la lámina, enrollándola en unos carretes para su almacenamiento.

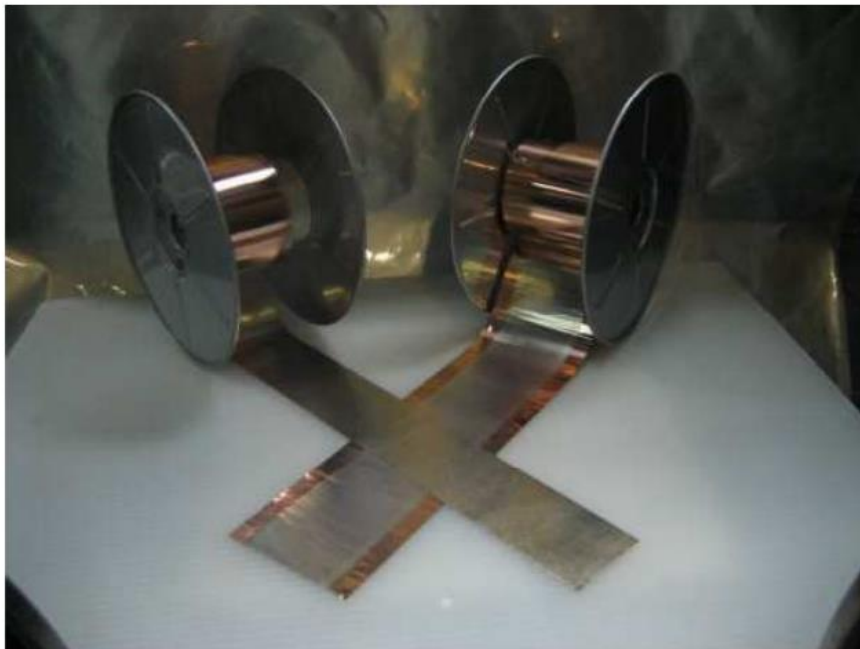


Figura 8.8.6.1.4.1 Carrete de litio para la fabricación de baterías  
(<https://es.scribd.com/doc/22631266/BATERIAS-DE-LITIO>)

## LectroMax 100

<b>Chemical Name</b>	Lithium Foil, electrochemical grade	
<b>Formula</b>	Li	
<b>Appearance</b>	Metallic silver in color	
<b>Product Specifications</b>	Li	99.90 wt%
	Na	100 wppm max
	Ca	150 wppm max
	K	100 wppm max
	Fe	20 wppm max
	Si	100 wppm max
	Cl	60 wppm max
	N	300 wppm max
	Custom made to dimensional requirements within FMC's extensive capabilities.	
<b>Reference Data</b>	Formula weight	6.94
	True density	0.534 g/cc
	Melting point	180.5°C
<b>Packaging</b>	Lectro Max 100 is wound onto spools then dry packed under argon in hermetically sealed aluminized polyester pouches. Spool size is dependent on the dimensions and quantity of foil ordered. Please call for more details on packaging.	

Figura 8.8.6.1.4.2 Características de un carrete de litio  
(<https://es.scribd.com/doc/22631266/BATERIAS-DE-LITIO>)

### 8.6.2 Fabricación del electrolito

La generación de esta lámina tiene un alto grado de complejidad, debido a lo avanzado de sus componentes, y dependiendo de la tecnología utilizada variarán los procesos térmicos, principalmente químicos, pero desde un punto de vista de mecanizado no conlleva más que una extrusión.

A continuación, se pasan los controles de calidad y se enrolla de forma similar al litio.

Se utilizará un separador electrolítico seco y sólido.

### 8.6.3 Fabricación de la lámina de aluminio

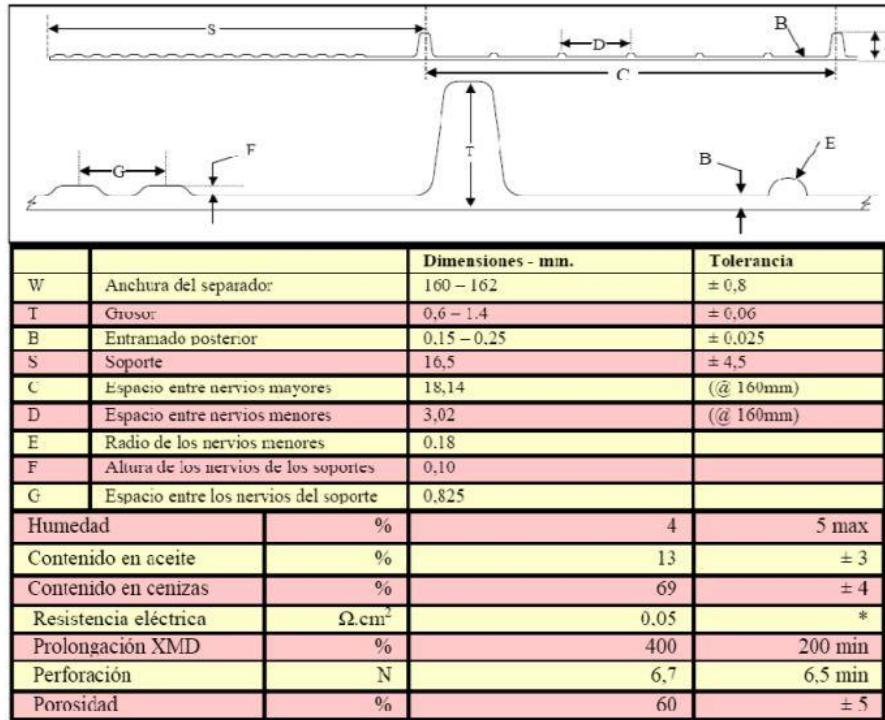


Figura 8.8.6.3.1 Características lámina de aluminio

([https://e-archivo.uc3m.es/bitstream/handle/10016/11805/PFC\\_Carlos\\_Pena\\_Ordonez.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://e-archivo.uc3m.es/bitstream/handle/10016/11805/PFC_Carlos_Pena_Ordonez.pdf?sequence=1&isAllowed=y))

Esta es la última etapa de las 3 principales que forman la batería. Realmente la lámina de aluminio no reacciona, pero se necesita para adherirla a capas de óxido de vanadio, negro de carbono y sal de litio para que sirva de colector.

Para la fabricación de esta hoja partimos de un aluminio con un alto grado de pureza, así como una superficie totalmente lisa.

## Universidad de Sevilla. Escuela Politécnica Superior de Sevilla

Para ello se le realiza un fresado para un acabado superficial, con una fresa de grandes dimensiones de 10 mm. A continuación, comienza el proceso de laminado para reducir el grosor. Para ello se realizan dos tipos de laminados.

El primer laminado más grueso se realiza a una temperatura de unos 500 °C, mediante rodillos de grandes dimensiones y un tren de rodillos de empuje que permite la suficiente fuerza para ir aplastando el lingote.

Para evitar calentamientos excesivos y que el rodillo se pegue al lingote se rocía durante todo el proceso con un líquido de mecanizado. Se repite el laminado en caliente hasta conseguir una lámina de unos 5 mm.

Alcanzado ese grosor, se comienza la laminación en frío la cual es similar a la del litio, haciéndolo pasar por numerosos rodillos vamos reduciendo la lámina hasta alcanzar unos 4  $\mu\text{m}$  suficiente para adherir nuestro cátodo.

### 8.6.4 Unión de las láminas

Tras obtener las láminas necesarias, es necesario unir las de forma adecuada para que pueda darse la reacción química deseada. Crearemos una lámina formada por múltiples capas de diversos tipos de materiales, según los materiales utilizados para el electrolito y capas intermedias, se irán agregando capas en dos fases:

- Por adhesión de las propias capas pulverizadas.
- Aplicando espray, se irán formando capas sobre las láminas de metal y plástico hasta que las láminas resultantes tengan que ser unidas por horneado.

## Universidad de Sevilla. Escuela Politécnica Superior de Sevilla

Una vez lista la lámina de reactivos completa, hay que amoldarla para dar la geometría deseada según la forma de la batería.

Según los diversos encapsulados posibles utilizaremos una máquina que doble cómo deseamos. Cuando finalice deberemos cortar la lámina.

### 8.6.5 Soldadura de los electrodos

Utilizaremos la soldadura por puntos, en concreto por puntos TIG, mediante un soldador de control numérico, este sistema tiene la ventaja de contar con suministro continuo de material permitiendo una alta productividad.



Figura 8.8.6.5.1 Soldador de control numérico  
(<https://www.mecanizadossinc.com/>)



## Universidad de Sevilla. Escuela Politécnica Superior de Sevilla

El inconveniente que se puede encontrar son los fallos que se pueden ocasionar por la elevada temperatura que alcanza. Aunque se regule para que la temperatura sea lo más baja posible, el litio y el polímero del electrolito tiene puntos de fusión muy bajos cercano a 180 °C, por lo que son fundidos durante la soldadura.

Si la soldadura es lo suficientemente rápida el impacto térmico es lo suficientemente pequeño para que la fusión de la lámina reactiva sea de poca penetración y no provoque fallos en su funcionamiento.

### 9. Módulo balanceador de carga y descarga

Existe un problema generalizado que es que la vida útil de un banco de baterías puede verse acortada debido al desequilibrio del estado de carga.

Una corriente de fuga interna ligeramente superior en una de las baterías de una bancada de varias baterías de 24 ó 48 V conectadas en serie/paralelo provocaría una falta de carga de esa batería y de las baterías conectadas en paralelo, y la sobrecarga de las baterías conectadas en serie. Además, cuando se conectan celdas o baterías nuevas en serie, todas deberán tener el mismo estado de carga inicial. Las pequeñas diferencias se neutralizarán durante la carga de absorción o ecualización, pero unas diferencias mayores producirán daños debido a un gaseado excesivo (por sobrecarga) en las baterías que tengan una carga inicial más alta, y la sulfatación (por falta de carga) de las baterías con una carga inicial más baja.

Con el módulo balanceador de carga y descarga se equilibra el estado de carga y descarga de una batería como la nuestra cuyo voltaje está en torno a 12 V ya estén conectadas en serie o en paralelo.

En el caso de que la tensión de carga de que el sistema de baterías de 12 V aumente por encima de los 14 V, el Battery Balancer se activará y comparará la tensión que llega a las dos baterías conectadas en serie.



## Universidad de Sevilla. Escuela Politécnica Superior de Sevilla

El Battery Balancer retirará una corriente de hasta 1 A de la batería (o baterías conectadas en paralelo) que tenga la tensión más alta.

El diferencial resultante de corriente de carga garantizará que todas las baterías converjan en el mismo estado de carga. Si fuese necesario, se pueden poner varios equilibradores en paralelo. Una bancada de baterías de 12 V puede equilibrarse con una única Battery Balancer.

Las funciones principales de este módulo son:

1. Desconectar o apagar la carga cuando la tensión de una celda de la batería cae por debajo de 0,5 V.
2. Detener el proceso de carga cuando la tensión de una celda de la batería sube por encima de 14 V.
3. Apagar el sistema cada vez que la temperatura de una celda exceda los 50°C.

Se trata por tanto de un sistema indispensable en una batería ya que evita que se produzcan daños y alarga la vida útil de la batería.

Por tanto, se incorporará un módulo balanceador de carga y descarga cuyas características serán:

- ❖ No permite sobrepasar un voltaje máximo de 14 V
- ❖ Desconecta la carga cuando la tensión cae por debajo de 0,5 V
- ❖ Retirar la corriente cuando se superen los 1 A
- ❖ Desconectar la celda cuando se produzca un cortocircuito

## 10. Supercondensadores

Los condensadores de doble capa (EDLCs), también conocidos como supercondensadores son capacitadores electroquímicos, que tienen una densidad de energía inusualmente alta en comparación con los condensadores comunes, generalmente miles de veces mayor que un condensador electrolítico de una alta capacidad.

Tienen una gran variedad de aplicaciones comerciales, especialmente de suavización de energía y en los dispositivos de carga momentánea.

La vida útil de un supercondensador disminuye conforme aumenta su capacitancia, pero actualmente existen dispositivos que superan una vida útil de veinte años, con pérdidas de tensión suministrada de alrededor de un voltio.

### 10.1 Ventajas de los supercondensadores

- ❖ Gran período de operación.
- ❖ Alto número de ciclos de carga y descarga (>1.000.000).
- ❖ Bajo costo por ciclo.
- ❖ Capacidad de manejar altos valores de corriente.
- ❖ Muy alta velocidad de carga y descarga.
- ❖ Muy baja resistencia interna.
- ❖ Gran rango de temperatura.
- ❖ Alta eficiencia (>95 %).
- ❖ Mejora de la seguridad, al no utilizar un electrolito corrosivo ni materiales de baja toxicidad.
- ❖ Métodos sencillos de carga, sin peligro de sobrecarga.

## 10.2 Desventajas de los supercondensadores

- ❖ La cantidad de energía almacenada por unidad de peso es generalmente menor que la de una batería electroquímica ( $3-5 \text{ W} \cdot \text{h} / \text{kg}$ ).
- ❖ La tensión varía con la energía almacenada.
- ❖ Tiene la mayor absorción dieléctrica de cualquier tipo de condensador.
- ❖ Alta autodescarga, esta es considerablemente superior a la de una batería electroquímica.
- ❖ Poseen bajas tensiones, por lo que a veces se hacen necesarias conexiones en serie para obtener voltajes más altos.
- ❖ Si existen más de tres condensadores en serie, se requiere un equilibrado de tensión.

## 10.3 Frenado regenerativo eléctrico

Un freno regenerativo es un freno dinámico que permite reducir la velocidad de un vehículo, transformando parte de su energía cinética en energía eléctrica, dicha energía es almacenada para su uso futuro.

El freno regenerativo en trenes eléctricos alimenta la fuente de energía del mismo. En vehículos de baterías y vehículos híbridos, la energía es almacenada en un banco de baterías o un banco de condensadores para un uso posterior.

### 10.3.1 El motor como generador

Los frenos regenerativos se basan en el principio de que un motor eléctrico, puede ser utilizado como generador, el motor eléctrico de tracción es reconectado como generador durante el frenado y las terminales de alimentación se convierten en suministradoras de energía.

## Universidad de Sevilla. Escuela Politécnica Superior de Sevilla

Las limitaciones son que el frenado tradicional, basado en la fricción, sigue siendo utilizado por las siguientes razones:

- ❖ El frenado regenerativo reduce de manera efectiva su frenada a bajas velocidades, por lo que el freno de fricción sigue siendo necesario a fin de parar el vehículo completamente.
- ❖ La mayoría de los vehículos de carretera con frenado regenerativo, sólo instalan este sistema en algunas de las ruedas, con el fin de mantener mayor control de frenado en condiciones difíciles (por ejemplo, en carreteras mojadas).
- ❖ El freno de fricción es un elemento necesario de apoyo en caso de fallo del freno regenerativo.
- ❖ La cantidad de energía a disipar está limitada a la capacidad de absorción de ésta, por parte del sistema de condensadores. Por esta razón, es necesario contar con un freno reostático que absorba el exceso de energía.

### 10.4 Ventajas del uso de supercondensadores para un motor eléctrico

El hecho de utilizar supercondensadores de manera conjunta a un sistema de baterías de litio proporcionará una serie de ventajas en cuanto a autonomía y rendimiento.

#### 10.4.1 Mejoras en rendimiento

Los supercondensadores no dependen de reacciones químicas para almacenar energía y no se degradan significativamente durante su vida útil.

## Universidad de Sevilla. Escuela Politécnica Superior de Sevilla

Los supercondensadores, una vez cargados, son capaces de liberar su carga en un periodo de tiempo extremadamente pequeño de tiempo, lo cual permite cubrir los picos de corriente demandados por el motor en periodos de aceleración.

Con ello se consigue una mejora notable en la aceleración, una demanda de corriente más lineal y no exceder los límites de la descarga de la propia batería.

Gracias a esto conseguimos:

- ❖ Prolongar la vida útil de la batería.
- ❖ Reducir la necesidad de sobredimensionar las baterías para poder proporcionar grandes descargas (aceleraciones).
- ❖ Mejores aceleraciones.
- ❖ Asegurar que el vehículo acelere al final de la vida útil de su batería, con una eficiencia similar a la que poseía inicialmente.

### 10.4.2 Mejoras en la autonomía

El uso de supercondensadores en combinación con las baterías también supone un aumento de la autonomía del vehículo, debido a que absorbe parte de la energía en la frenada, a través del sistema de frenado regenerativo y lo almacena en los supercondensadores.

Gracias a este sistema se reutiliza parte de la energía de la frenada, optimizando el sistema eléctrico.

### 10.5 Circuito para el sistema de condensadores en combinación con batería de polímero de litio

A continuación, se muestra el circuito planteado para el funcionamiento en conjunto de supercondensadores y baterías:

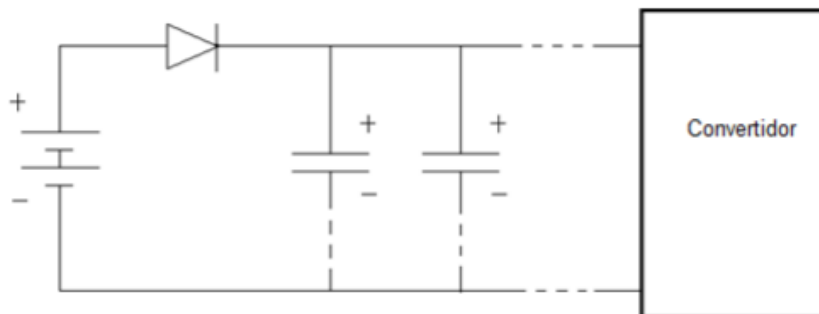


Figura 10.10.5.1 Circuito de batería de condensadores  
([https://e-archivo.uc3m.es/bitstream/handle/10016/11805/PFC\\_Carlos\\_Pena\\_Ordenez.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://e-archivo.uc3m.es/bitstream/handle/10016/11805/PFC_Carlos_Pena_Ordenez.pdf?sequence=1&isAllowed=y))

#### 10.5.1 Funcionamiento como motor

En la parte izquierda de la figura 10.10.5.1 observamos la representación de la batería de polímero de litio, a continuación, conectado en serie se encuentra conectado el diodo que permite el paso de la corriente eléctrica cuando la batería se descarga. En paralelo se disponen condensadores asociados en serie o en paralelo que permiten conseguir la capacidad total que se requiera. Por último, en paralelo a todo esto se encuentra el convertidor, encargado de pasar la carga continua (batería) a trifásica (motor).

### 10.5.2 Funcionamiento como generador

Cuando sistema funciona como generador, el convertidor invierte su funcionamiento, pasando de trifásica a continua, para que los condensadores puedan absorber energía producida por la frenada regenerativa. Los condensadores los cuales están conectados al convertidor aumentan la diferencia de potencial en sus bornes, aumentando la energía eléctrica que almacenan, por último, se observa que el conjunto de condensadores está en paralelo con la batería y el diodo, el cual impide el paso de corriente en el sentido opuesto al de descarga de la batería.

En el apartado de Cálculos y más en concreto en el subapartado 2.1.3 se procede al cálculo del sistema de condensadores el cual se especifica en el anexo al final del presente documento concluyéndose que la capacidad del condensador es de 158 V.

Veremos a continuación las formas de recargarlo a través de dos formas:

- ❖ Frenado regenerativo
  
- ❖ Recarga a través de la superficie de contacto de las ruedas con la carretera

## 11. Carga del condensador

### 11.1 Frenado regenerativo

Un freno regenerativo es un sistema de frenado que al actuar reduciendo la velocidad, acumula parte de la energía cinética que tiene un vehículo eléctrico en forma aprovechable, bien para impulsar el vehículo más adelante, bien para accionar otros sistemas. Los frenos clásicos o del motor térmico al retener, trabajan mediante el rozamiento y expulsan toda esa energía en forma de calor.

## Universidad de Sevilla. Escuela Politécnica Superior de Sevilla

El freno regenerativo acumula esa energía en forma de energía eléctrica dentro del vehículo para su reaprovechamiento.

Para ello, habría que instalar un generador eléctrico o utilizar el motor eléctrico como generador eléctrico en el vehículo, invirtiendo su funcionamiento.

Los protagonistas serán los elementos principales del coche eléctrico, los cuales son el controlador eléctrico, el motor y las baterías.

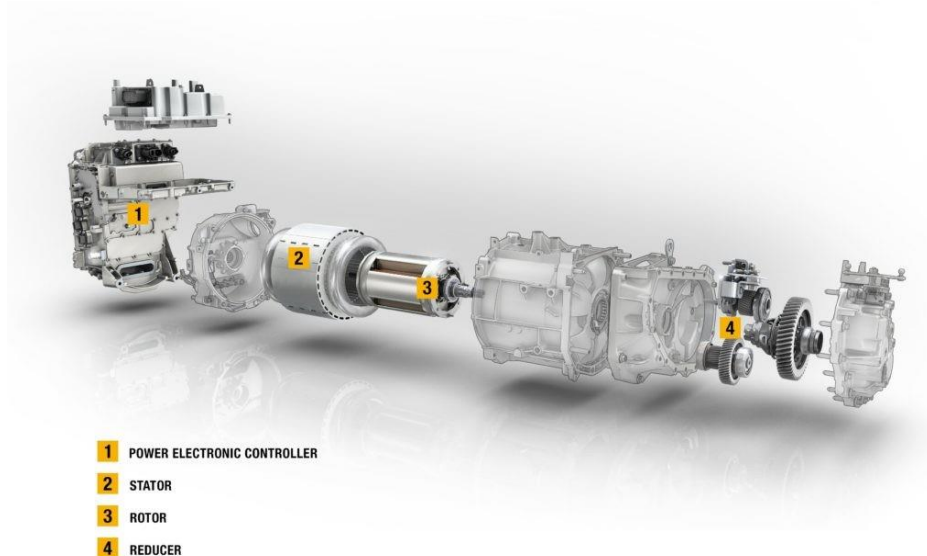


Figura 11.11.1.1 Partes de un motor eléctrico

<https://corrienteelectrica.renault.es/asi-funciona-freno-capaz-generar-energia/>

En el funcionamiento en modo motor el controlador eléctrico, que es el director del sistema, se encarga de tomar corriente continua de las baterías, transformándola en una onda eléctrica alterna y enviarla al estátor (parte 2 de la ilustración), donde gracias a esa electricidad se genera un campo magnético giratorio con una velocidad de giro e intensidad adecuadas a cada circunstancia, la intensidad magnética es variable en función de la fuerza que demande el conductor con el acelerador. El campo magnético generado en el estator “empuja” al rotor haciéndole girar con fuerza para mover el coche.



## Universidad de Sevilla. Escuela Politécnica Superior de Sevilla

A continuación, el conductor levanta el pie del acelerador, señal de que el motor pasa a modo generador, en ese momento el controlador deja de enviar electricidad al estator desapareciendo así el campo magnético que antes empujaba el coche. A cambio envía sólo electricidad al rotor el cual genera un campo magnético que al girar induce una corriente eléctrica en las bobinas del estator.

El controlador transforma esa electricidad alterna, todo por los mismos cables por donde entraba en modo motor, de modo que pueda ser almacenada de nuevo en las baterías. Este fenómeno de creación de electricidad por movimiento magnético requiere fuerza, siendo ésta frenante que ahora actúa sobre el vehículo.

Si además el conductor pisa el freno suavemente, el controlador aumenta la intensidad magnética del rotor, aumentando la intensidad eléctrica generada y con ello la fuerza frenante, si el conductor sigue aumentando la presión sobre el freno comienzan a actuar los frenos mecánicos combinados con el efecto frenada del motor.

Este sistema no es perfecto, nunca tomará toda la energía que anteriormente usó para impulsar el vehículo, sin embargo, si puede recuperar una parte importante, además, no requiere la implantación de ningún componente importante en un coche eléctrico por lo que su implantación resulta de lo más lógica, para no desperdiciar energía en cada frenada.

### 11.2 Recarga a través de la superficie de contacto de las ruedas con la carretera

Se trata de una recarga eléctrica inalámbrica, los primeros intentos fueron de Nikola Tesla en el siglo XIX, su mayor aspiración era transmitir electricidad a través del aire para que cualquier persona en el planeta pudiera utilizarla y beneficiarse de las ventajas de la electricidad.

## Universidad de Sevilla. Escuela Politécnica Superior de Sevilla

Aunque ya entonces Tesla consiguió desarrollar un prototipo funcional de baja potencia para su desarrollo a gran escala nunca llegó a completarse por falta de fondos.

Hasta ahora la carga inalámbrica, sin cables, se ha limitado a dispositivos electrónicos de baja potencia tales como el cepillo de dientes eléctrico el cuál se carga cuando se coloca en una base que permanece enchufada y que transfiere electricidad al cepillo mediante inducción. En este caso, la carga por inducción permite al cepillo ser cargado sin ningún tipo de cargador convencional quedando la electrónica interior del cepillo protegido herméticamente.

En la transmisión de electricidad sin cables la energía se transmite desde la base emisora a la receptora en forma de campo electromagnético. La bobina emisora recibe la corriente eléctrica de la red convencional, generando un campo magnético a una frecuencia determinada. En la base receptora hay otra bobina igual con la misma frecuencia que la bobina emisora. Cuando el campo magnético producido por la base emisora alcanza la bobina receptora induce sobre ella una corriente eléctrica, la bobina receptora hace lo contrario que la emisora, transformando el campo magnético en una corriente eléctrica, dicha corriente eléctrica se puede utilizar o almacenar en el supercondensador para un uso posterior o inmediato.

La potencia transmitida puede variar entre unos pocos milivatios y hasta varios kilovatios y transmitirse a milímetro o centímetros de distancia y hasta varios metros, según la instalación.

Aplicada a los coches eléctricos la transmisión sin cables de electricidad ofrece dos posibilidades: cargar la batería del vehículo cuando se aparca sobre una base de carga inalámbrica y cargar la batería mientras el vehículo está circulando o temporalmente detenido con inductores colocados bajo el asfalto.

## Universidad de Sevilla. Escuela Politécnica Superior de Sevilla

El segundo caso, aunque todavía no está muy extendido, ya es una posibilidad, bajo el asfalto de unos carriles especiales se instala un cableado eléctrico que genera campos electromagnéticos que circulan bajo el coche a medida que pasa sobre ellos. Estos campos son captados por la bobina receptora del interior del coche ocurriendo lo anterior descrito.

Esto presenta una serie de problemas, la primera que la pista es demasiado corta, las pistas actualmente son de 100 m distancia que se recorre en 4 segundos si se va a una velocidad de 100 km/h, siendo el aporte energético que recibe el vehículo ridículo, ya que, si en una hora es capaz de cargar 20 kW, significa que en 4 segundos podrá aportar 25 W o lo que es lo mismo cargaría 0,25 kWh por kilómetro a 100 km/h.

Por tanto, para que este sistema sea efectivo, la vía de recarga a través de inducción tiene que ser de cierta longitud para que tenga sentido, de tal manera que, si se quiere cargar 20 kW a un ritmo de 100 km/h, la pista debería extenderse por lo menos 100 km.

En este punto, se pensaría que la batería se podría cargar, pero el coche está en funcionamiento, si a 100 km/h consume uno 15-18 kWh/100 km y en una hora se recargan 20 kW y se han consumido de 15 a 18 kWh, significa que la carga apenas habrá aumentado unos 2-5 kWh. Con esa carga apenas se pueden realizar una decena de kilómetros

## Universidad de Sevilla. Escuela Politécnica Superior de Sevilla



Figura 11.11.2.1 carril de recarga eléctrica inalámbrica  
([https://elpais.com/tecnologia/2017/05/31/actualidad/1496240563\\_991528.html](https://elpais.com/tecnologia/2017/05/31/actualidad/1496240563_991528.html))

Por lo tanto, salvo que se hagan avances muy sustanciales en aerodinámica o materiales ultraligeros, este sistema lo podemos plantear como una infraestructura que permite extender notablemente la autonomía de los vehículos eléctricos, pero no llena las baterías en un tiempo razonable.

Segundo problema de importancia: el coste. Si ya son elevados los costes de asfaltar carreteras y mantenerlas en buen estado, colocar circuitería, cables de alto voltaje y demás sofisticaciones aumentará el coste de forma notable. Los fondos han de salir de algún lado, ya sea iniciativa pública (impuestos/peajes) o privada (peajes o pago por uso).

Los inventores del sistema quieren que sea capaz de discriminar qué usuarios pueden beneficiarse de él, en otras palabras, los que paguen por su utilización.

## Universidad de Sevilla. Escuela Politécnica Superior de Sevilla

No solo hay que pagar el coste de la infraestructura, también la energía que se consume, incluyendo los altos costes de disponibilidad (potencia contratada) porque no servirán para un solo vehículo.

El mantenimiento de la infraestructura tampoco se antoja muy económico, no se puede reasfaltar encima, hay que romper todo el asfalto antiguo y que al volver a asfaltar quede todo nivelado.

En definitiva, conlleva un coste elevado lo que representa toda la infraestructura.

## 12. Conclusiones

El cambio climático es una realidad, cada vez los polos se están derritiendo cada vez más como consecuencia de una contaminación más creciente, se ha visto que la recarga autónoma de los vehículos eléctricos sería posible con carreteras con una infraestructura adecuada para una carga inalámbrica, pero es demasiado caro para su construcción y mantenimiento.

Pero ¿hasta qué punto el dinero es importante si no habrá un mundo donde poder usarlo en un futuro? Creo que ahora es el momento de invertir y empezar a construir carreteras eléctricas que permitan cargar el coche por inducción, será una inversión muy grande, supondrá un gran sacrificio, pero al menos podremos conservar nuestro planeta y vivir en un mundo con menos contaminación.

## 13. Bibliografía

### 13.1 Libros de texto

R. IGLESIAS, A LAGO, A NOGUEIRAS (2012). Modelado y simulación de una batería de ion-litio comercial multicelda

### 13.2 Proyectos académicos y de investigación

C PEÑA ORDOÑEZ (2011). Estudio de baterías para vehículos eléctricos. Universidad Carlos III de Madrid

QUISPE, ENRIQUE C., MANTILLA P, LUIS F (2011). Motores eléctricos de alta eficiencia. Universidad del Valle de Cali, Colombia.

### 13.3 Páginas webs

Mailxmail (2005). Componentes y funcionamiento de un motor de combustión interna. Recuperado a partir de <http://www.mailxmail.com/curso-motores-combustion-interna/que-es-motor-componentes-funcionamiento>

Don Cómo (2017). Funcionamiento del motor eléctrico de un coche I. Recuperado a partir de <https://vehiculos.doncomos.com/funciona-motor-electrico-coche>

## Universidad de Sevilla. Escuela Politécnica Superior de Sevilla

Vix (2017). Funcionamiento del motor eléctrico de un coche II. Recuperado a partir de <https://www.vix.com/es/btg/curiosidades/2011/09/29/motor-electrico-como-funciona>

Área Tecnología (2017). Funcionamiento desde un punto de vista físico del motor eléctrico. Recuperado a partir de <http://www.areatecnologia.com/EL%20MOTOR%20ELECTRICO.htm>

FCE (2017). Motor eléctrico versus motor de combustión. Recuperado a partir de <http://forococheelectricos.com/2011/11/motor-electrico-versus-motor-de.html>

Electromovilidad (2017). Comparativa de vehículo eléctrico versus vehículos de combustión. Recuperado a partir de <http://electromovilidad.net/comparativa-coche-electrico-vs-coche-combustion/>

Ocu (2017). Los coches eléctricos y su autonomía limitada. Recuperado a partir de <https://www.ocu.org/coches/coches/noticias/autonomia-coches-electricos>

Renault (2016). Freno Regenerativo. Recuperado a partir de <https://corrienteelectrica.renault.es/asi-funciona-freno-capaz-generar-energia/>

RTVE (2017). Una carretera que carga las baterías de los coches eléctricos I. Recuperado a partir de <http://www.rtve.es/noticias/20131126/carretera-carga-baterias-coches-electricos/802423.shtml>

El País (2017). Una carretera que carga las baterías de los coches eléctricos II. Recuperado a partir de [https://elpais.com/tecnologia/2017/05/31/actualidad/1496240563\\_991528.html](https://elpais.com/tecnologia/2017/05/31/actualidad/1496240563_991528.html)

## Universidad de Sevilla. Escuela Politécnica Superior de Sevilla

Holaluz (2017). Una carretera que carga las baterías de los coches eléctricos III. Recuperado a partir de <https://blog.holaluz.com/carga-inalambrica-para-coches-electricos/>

Renault (2017). Segunda vida de las baterías de un coche eléctrico. Recuperado a partir de <https://corrienteelectronica.renault.es/asi-es-la-segunda-vida-de-las-baterias-del-coche-electrico/>

Motor (2017). Reciclaje de las baterías de los vehículos eléctricos. Recuperado a partir de <https://corrienteelectronica.renault.es/asi-es-la-segunda-vida-de-las-baterias-del-coche-electrico/>

Tesla (2011). Tesla's Closed Loop Battery Recycling Program. Recuperado a partir de [https://www.tesla.com/es\\_ES/blog/teslas-closed-loop-battery-recycling-program?redirect=no](https://www.tesla.com/es_ES/blog/teslas-closed-loop-battery-recycling-program?redirect=no)

Efimob (2017). Los coches eléctricos mejoran la seguridad. Recuperado a partir de <https://www.efimob.com/blog/los-coches-electricos-mejoran-la-seguridad/>

Motorpasion(2018). Penurias de baterías de coches eléctricos. Recuperado a partir de <https://www.motorpasion.com/industria/el-jefe-de-i-d-de-volkswagen-preve-una-penuria-de-baterias-para-coches-electricos-pero-ese-el-menor-de-los-problemas>

recicla.me (2018). Reciclaje de condensadores Ta y Ni. Recuperado a partir de [http://recicla.me/site/ficha\\_residuo.aspx?ID=127](http://recicla.me/site/ficha_residuo.aspx?ID=127)

energyev (2014). Las baterías de litio y BMS cómo funcionan recuperado a partir de <http://energyev.com/las-baterias-de-litio-y-bms-como-funcionan/>



# 2. Anexos

## 2.1 Cálculos

### 2.1.1 Comparativa entre un golf 1,6 TDI, un golf 1,4 TSI y un motor eléctrico

Motor eléctrico de la figura 5.5.5.1: 13,7 kWh/100 km / 0,85 (rendimiento estimado carga batería) = 16,1 kWh/100 km

Golf 1,6 TDI: 4,7l/100 km x 10,3 kWh = 48,4 kWh/100 km

Golf 1,4 TSI: 6,0 l/100 km x 9,7 kWh = 58,2 kWh/100 km

### 2.1.2 Comparativa energética vehículo eléctrico y vehículo de combustión

Según los balances eléctricos y distintos estudios de eficiencia (<http://electromovilidad.net/comparativa-coche-electrico-vs-coche-combustion/>), el rendimiento medio atribuido a cada una de las fuentes de energía es el siguiente:

- ❖ Carbón/Fuel/Gas/Ciclo Combinado  $\eta=28,9 \%$
- ❖ Nuclear  $\eta=22,3 \%$
- ❖ Hidráulica  $\eta=71,2 \%$
- ❖ Renovables  $\eta=54,6 \%$

Las pérdidas debido a la distribución y al transporte de la electricidad dentro del ámbito europeo son aproximadamente del 6,32 %, lo que nos deja un rendimiento del 93,7 %. Un convertidor electrónico de potencia estándar, como ABB tienen un rendimiento, según fabricante del 97 % o una batería tipo Ion-Li, como la que montan la mayoría de los eléctricos modernos, tienen un rendimiento eléctrico del 99,14 % y uno térmico del 99,63 %, que dejan a la batería con un rendimiento combinado del 98,8%.

## Universidad de Sevilla. Escuela Politécnica Superior de Sevilla

En cuanto al motor eléctrico, su rendimiento medio es del 88,7 %, gracias a los continuos avances de la materia que han permitido obtener un rendimiento cada vez mayor. Para finalizar, el rendimiento del sistema mecánico del vehículo, transmisión y auxiliares es en torno al 80 %.

Rendimientos	%
Rendimiento de generación	43
Rendimiento de transporte y distribución	93,7
Rendimiento del convertidor electrónico	97
Rendimiento de la batería	98,8
Rendimiento del sistema mecánico	80
Rendimiento del motor eléctrico	87,4
Eficiencia global	27

Tabla 2.2.1.2.1 Rendimientos energéticos

Por tanto, la eficiencia global, sería de un 27 %, con el valor medio de consumo de un vehículo eléctrico (12,65 kWh/100 km) y los distintos rendimientos de la tabla se obtiene:

kWh/100 km extraídos de la batería y kWh/100km extraídos de la red eléctrica:

$$\frac{12,65}{0,97 * 0,988} = 13,20 \text{ kWh/100 km}$$

## Universidad de Sevilla. Escuela Politécnica Superior de Sevilla

kWh/100 km generados por la central:

$$\frac{13,20}{0,937} = 14,10 \text{ kWh/100 km}$$

kWh/100 km finales, extraídos de la naturaleza:

$$\frac{14,10}{0,43} = 32,79 \text{ kWh/100 km}$$

### 2.1.3 Cálculo para el sistema de condensadores

El condensador almacena carga eléctrica, debido a la presencia de un campo eléctrico en su interior, cuando aumenta el potencial entre sus terminales, devolviéndola cuando ésta disminuye.

$$E = \frac{1}{2} \cdot C \cdot V^2$$

La energía almacenada viene determinada por la diferencia de potencial a la que se encuentra el supercondensador. Se asume como energía nominal, aquella que viene fijada por el voltaje nominal de la batería, pues ese voltaje impondrá la diferencia de potencial en el sistema de condensadores.

$$E_n = \frac{1}{2} \cdot C \cdot V_n^2$$

## Universidad de Sevilla. Escuela Politécnica Superior de Sevilla

Donde:

$E_n$  = Energía nominal del supercondensador fijada por el voltaje de la batería.

$C$  = Capacidad del supercondensador.

$V_n$  = Tensión “nominal” del supercondensador fijada por la batería

La suma de energía nominal más la energía de la frenada regenerativa, definen los voltajes máximos al que pueden trabajar los supercondensadores.

$$E_n + E_f = \frac{1}{2} \cdot C \cdot V_{max}^2$$

Donde:

$E_n$  = Energía nominal.

$E_f$  = Energía de frenada.

$C$  = Capacidad del sistema de supercondensadores.

Para calcular la energía máxima absorbida mediante el frenado, se desarrolla la siguiente ecuación:

$$E_f = \frac{1}{2} \cdot C \cdot (V_{max}^2 - V_n^2)$$

Donde:

$C$  = Capacidad del sistema de supercondensadores.

$E_f$  = Energía de frenada.

$V_{max}$  = Tensión máxima del condensador, resultado de la suma de la tensión entregada por las baterías y el convertidor (durante frenadas regenerativas).

$V_n$  = Tensión “nominal” del supercondensador fijada por la batería.

## Universidad de Sevilla. Escuela Politécnica Superior de Sevilla

$$E_f = \frac{1}{2} \cdot C_1 \cdot (V_{max1}^2 - V_n^2)$$

$$E_f = \frac{1}{2} \cdot C_2 \cdot (V_{max2}^2 - V_n^2)$$

Donde:

$E_f$  = Energía de frenada.

$C$  = Capacidad del sistema de supercondensadores.

$V_{max}$  = Tensión máxima del condensador, resultado de la suma de la tensión entregada por las baterías y el convertidor (durante frenadas regenerativas).

$V_n$  = Tensión “nominal” del supercondensador fijada por la batería.

Si partimos de las dos ecuaciones anteriores y suponiendo la misma energía de frenado, se igualan ecuaciones y se deja expresado en función de  $C_2$ :

$$C_2 = C_1 \cdot \frac{V_{max1}^2 - V_n^2}{V_{max2}^2 - V_n^2}$$

Donde:

$E_f$  = Energía de frenada.

$C$  = Capacidad del sistema de supercondensadores.

$V_{max}$  = Tensión máxima del condensador, resultado de la suma de la tensión entregada por las baterías y el convertidor (durante frenadas regenerativas).

$V_n$  = Tensión “nominal” del supercondensador fijada por la batería.

A continuación, se despejamos de la ecuación anterior  $V_{max2}$  :

## Universidad de Sevilla. Escuela Politécnica Superior de Sevilla

$$V_{max2}^2 = V_n^2 + \frac{C_1}{C_2} \cdot (V_{max1}^2 - V_n^2)$$

Observando el catálogo de la página <http://www.chintelectrics.es/catalogos-tecnicos.html?file=files/documentacion/CatalogosTecnicos/Catalogo%20Compensacion%20de%20Reactiva.pdf> se escogen dos condensadores que guarden una relación tal que:

$$C_2 = 2 \cdot C_1$$

Y que  $V_n$  y  $V_{max1}$  valgan 100 y 200 V respectivamente.  $V_{max2}$  tendría un valor de 158 V, como se expone en la siguiente ecuación:

$$V_{max2}^2 = 100^2 + \frac{1}{2} \cdot (200^2 - 100^2)$$

$$V_{max2} = 158 \text{ V}$$

## 2. Documentos que justifican aspectos del proyecto

### 2.1.1 Anexo 1: tabla de potenciales estándar de reducción y oxidación

**Escala de potenciales estándar de reducción**

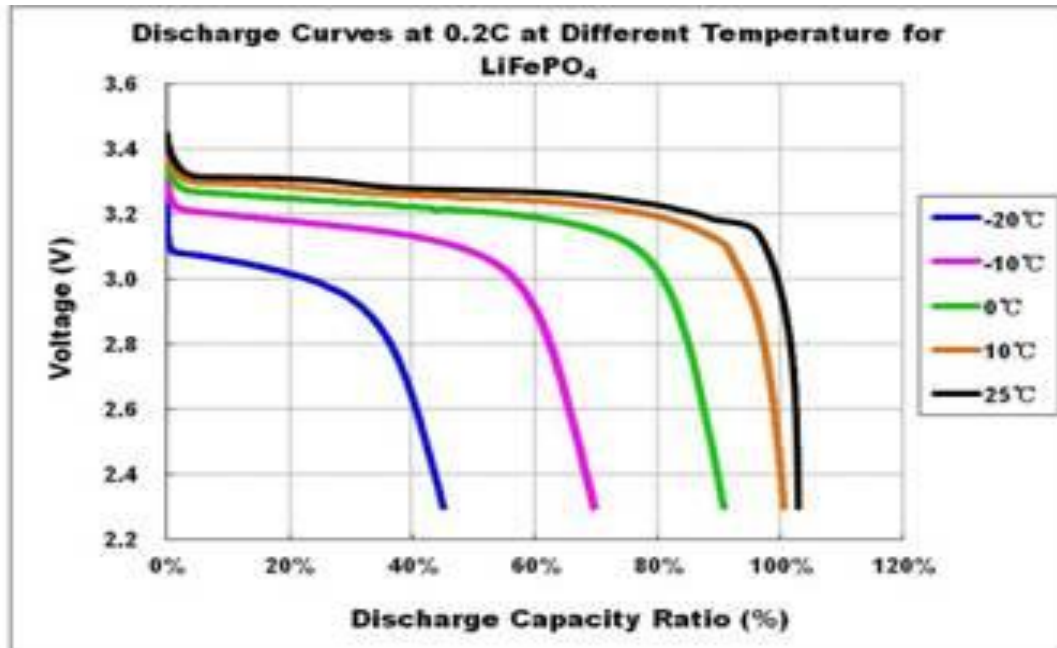
Electrodo	Semirreacción de reducción	E <sup>0</sup> / V	Poder
Li <sup>+</sup> / Li	Li <sup>+</sup> + e <sup>-</sup> → Li (s)	-3,05	R E D U C T O R
K <sup>+</sup> / K	K <sup>+</sup> + e <sup>-</sup> → K (s)	-2,92	
Ca <sup>2+</sup> / Ca	Ca <sup>2+</sup> + 2e <sup>-</sup> → Ca (s)	-2,76	
Na <sup>+</sup> /Na	Na <sup>+</sup> + e <sup>-</sup> → Na (s)	-2,71	
Mg <sup>2+</sup> / Mg	Mg <sup>2+</sup> + 2e <sup>-</sup> → Mg (s)	-2,36	
Al <sup>3+</sup> / Al	Al <sup>3+</sup> + 3e <sup>-</sup> → Al (s)	-1,68	
H <sub>2</sub> O/ H <sub>2</sub> ,OH <sup>-</sup> , Pt	2 H <sub>2</sub> O + 2e <sup>-</sup> → H <sub>2</sub> (g) + 2 OH <sup>-</sup> (aq)	-0,83	
Zn <sup>2+</sup> / Zn	Zn <sup>2+</sup> + 2e <sup>-</sup> → Zn (s)	-0,73	
Cr <sup>3+</sup> / Cr	Cr <sup>3+</sup> + 3e <sup>-</sup> → Cr (s)	-0,74	
Fe <sup>2+</sup> / Fe	Fe <sup>2+</sup> + 2e <sup>-</sup> → Fe (s)	-0,44	
Co <sup>2+</sup> / Co	Co <sup>2+</sup> + 2e <sup>-</sup> → Co (s)	-0,28	
Ni <sup>2+</sup> / Ni	Ni <sup>2+</sup> + 2e <sup>-</sup> → Ni (s)	-0,25	
Sn <sup>2+</sup> / Sn	Sn <sup>2+</sup> + 2e <sup>-</sup> → Sn (s)	-0,14	
Pb <sup>2+</sup> / Pb	Pb <sup>2+</sup> + 2e <sup>-</sup> → Pb (s)	-0,13	
H <sup>+</sup> /H <sub>2</sub> , Pt	2 H <sup>+</sup> + 2 e <sup>-</sup> → H <sub>2</sub> (g)	0,00	O X I D A N T E
S, H <sup>+</sup> /H <sub>2</sub> S, Pt	S (s) + 2H <sup>+</sup> (aq) + 2e <sup>-</sup> → H <sub>2</sub> S (s)	+0,14	
Cu <sup>2+</sup> /Cu <sup>+</sup> , Pt	Cu <sup>2+</sup> (aq) + e <sup>-</sup> → Cu <sup>+</sup> (aq)	+0,15	
Sn <sup>4+</sup> /Sn <sup>2+</sup> , Pt	Sn <sup>4+</sup> (aq) + 2e <sup>-</sup> → Sn <sup>2+</sup> (aq)	+0,15	
AqCl/Aq, Cl <sup>-</sup> , Pt	AqCl (s) + e <sup>-</sup> → Aq (s) + Cl <sup>-</sup> (aq)	+0,22	
Cu <sup>2+</sup> / Cu	Cu <sup>2+</sup> (aq) + 2e <sup>-</sup> → Cu (s)	+0,34	
O <sub>2</sub> ,H <sub>2</sub> O/OH <sup>-</sup> ,Pt	O <sub>2</sub> (g) + 2 H <sub>2</sub> O + 4 e <sup>-</sup> → 4 OH <sup>-</sup> (aq)	+0,40	
Cu <sup>+</sup> / Cu	Cu <sup>+</sup> (aq) + e <sup>-</sup> → Cu (s)	+0,52	
I <sub>2</sub> /I <sup>-</sup> , Pt	I <sub>2</sub> (s) + 2e <sup>-</sup> → 2 I <sup>-</sup> (aq)	+0,54	
Pt, Fe <sup>3+</sup> / Fe <sup>2+</sup>	Fe <sup>3+</sup> + e <sup>-</sup> → Fe <sup>2+</sup>	+0,77	
Aq <sup>+</sup> /Aq	Aq <sup>+</sup> + e <sup>-</sup> → Aq	+0,80	
Br <sub>2</sub> /Br <sup>-</sup> , Pt	Br <sub>2</sub> (l) + 2e <sup>-</sup> → 2 Br <sup>-</sup> (aq)	+1,08	
O <sub>2</sub> ,H <sup>+</sup> /H <sub>2</sub> O ,Pt	O <sub>2</sub> (g) + 4 H <sup>+</sup> (aq) + 4 e <sup>-</sup> → 2 H <sub>2</sub> O	+1,23	
Cl <sub>2</sub> /Cl <sup>-</sup> , Pt	Cl <sub>2</sub> (g) + 2e <sup>-</sup> → 2 Cl <sup>-</sup> (aq)	+1,36	

\*tomado de

[http://e-ducativa.catedu.es/44700165/aula/archivos/repositorio/4750/4861/html/3\\_escaladepotencialesestandarreduccion.html](http://e-ducativa.catedu.es/44700165/aula/archivos/repositorio/4750/4861/html/3_escaladepotencialesestandarreduccion.html)



2.2.2 Anexo 2: Curva de descarga de una batería de polímero de litio



([http://spanish.hecobattery.com/china-3\\_2\\_volt\\_polymer\\_lithium\\_battery\\_7\\_5ah\\_lifepo4\\_cell\\_pl\\_0982135-1303808.html](http://spanish.hecobattery.com/china-3_2_volt_polymer_lithium_battery_7_5ah_lifepo4_cell_pl_0982135-1303808.html))

# 3. Estudio de impacto ambiental

### 3.1 Reciclaje de una batería de litio

En este estudio vamos a evaluar el impacto que supondría el reciclaje de una batería eléctrica.

Según pasa el tiempo y los kilómetros, la batería de un coche eléctrico va envejeciendo. La principal consecuencia de este envejecimiento es la pérdida de capacidad de almacenamiento. Es decir, una batería con 300.000 kilómetros a sus espaldas tiene menos capacidad que una de iguales características, pero con solo 10.000.

Es aquí donde comienza la segunda vida de las baterías. Y es que en una sociedad donde las energías renovables están cada vez más presentes y son cada vez más necesarias, almacenar energía eléctrica es una necesidad.

Es decir, el objetivo es reutilizar las baterías que ya no valgan para su uso en coches eléctricos pero que aún sean útiles como sistema de almacenamiento de electricidad, en este caso para hogares. De esta forma, se consigue reducir el impacto ambiental de las baterías, ya que antes de reciclar siempre es mejor opción reutilizar.

Actualmente, se están probando estas baterías en instalaciones solares fotovoltaicas, de forma que se puedan cargar las baterías en las horas centrales del día y hacer uso de dicha electricidad cuando el sol deje de brillar.

A pesar de que esta vía aparenta ser muy beneficiosa para el medio ambiente, llegará un momento en el cual no será viable utilizar la batería ya que técnicamente no será viable. Será en ese momento en el cual la batería se convierta en un residuo y habrá que reciclarla.

## Universidad de Sevilla. Escuela Politécnica Superior de Sevilla

Al ser nuestra batería de litio, se podrá recuperar el 90 % de los materiales, garantizándose por parte de los fabricantes su reciclado ya sea por siniestro del vehículo o por envejecimiento al cabo de los años de tal manera que estas no acaben en desguaces o sitios similares y su reciclaje no se lleve a cabo.

Con un sistema de reciclaje diseñado por la marca Tesla se podrá volver a fabricar, con un material recuperado de un producto fuera de uso, el mismo producto que antes. Y así, se reduce sustancialmente la huella de carbono de la fabricación de baterías de iones de litio nuevas, conllevando con ello ahorrar un 70 % de las emisiones de  $CO_2$  además de la recuperación y refinado de los valiosos materiales que componen una batería.

Por tanto, el impacto ambiental que supone el reciclado de la batería de un vehículo eléctrico es mínima ya que primeramente se reutilizaría en viviendas y posteriormente se reciclaría el 90 % de sus materiales.

### 3.2 Reciclaje de un condensador y convertidor

Ambos se tratan de componentes electrónicos, y la mejor opción es llevar dichos componentes a un centro especializado donde se descomponen ambos elementos y se aprovecha lo que se encuentre en mejor estado para la fabricación de futuros circuitos electrónicos, desechando lo que ya se encuentre al final de su vida útil.

# 4. Planos

#### 4.1 Índice de planos

1. Plano de ensamble.....	107
2. Esquema circuito eléctrico.....	108



## Universidad de Sevilla. Escuela Politécnica Superior de Sevilla



## Universidad de Sevilla. Escuela Politécnica Superior de Sevilla



# 5. Pliego de condiciones

## Universidad de Sevilla. Escuela Politécnica Superior de Sevilla

### 5.1 Descripción del proyecto

El proyecto consistirá en la fabricación de una batería de polímero de litio, con los equipos y materiales necesarios para su realización.

Se partirá de una lámina de litio en bruto y una lámina de aluminio los cuales se conformarán mediante diferentes procesos de fabricación tales como extrusión y laminado, para un posterior ensamblaje a través de una soldadura por puntos.

### 5.2 Pliego de condiciones generales

La construcción será realizada bajo la dirección técnica de un Ingeniero Mecánico y técnicos FP II en la rama técnica industrial.

La ejecución material del prototipo se llevará a cabo por el procedimiento de contratación directa. El contratista tiene derecho a obtener, a su costa, copias del pliego de condiciones y del presupuesto. El ingeniero, si el contratista lo solicita, autorizará estas copias con su firma, después de confrontarlas.

Se abonará al contratista los trabajos que realmente se ejecute, de acuerdo con el proyecto que sirve de base para la contrata.

Todas las modificaciones ordenadas por el ingeniero-director, con arreglo a sus facultades, o autorizadas por la superioridad, serán realizadas siempre que se ajusten a los conceptos de los pliegos de condiciones y su importe no exceda la cifra total de los presupuestos aprobados.

El contratista, o el organismo correspondiente, quedan obligados a abonar al ingeniero autor del proyecto y director de la construcción del prototipo, así como a sus ayudantes, el importe de sus respectivos honorarios facultativos por dirección técnica y administración, con arreglo a las tarifas y honorarios vigentes.

## Universidad de Sevilla. Escuela Politécnica Superior de Sevilla

Tanto en las certificaciones del trabajo como en la liquidación final, se abonarán los trabajos realizados por el contratista a los precios de ejecución material que figuran en el presupuesto, por cada unidad del trabajo.

En el caso excepcional en el que se ejecute algún trabajo no consignado en la contrata, siendo admisible a juicio del ingeniero-director del trabajo, se pondrá en conocimiento del organismo correspondiente, proponiendo a la vez la variación de precios estimada por el ingeniero. Cuando se juzgue necesario ejecutar los trabajos que no figuren en el presupuesto de la contrata, se evaluará su importe a los precios asignados a éste u otros trabajos análogos.

Si el contratista introduce en los trabajos, con autorización del ingeniero-director del trabajo, alguna mejora en su elaboración no tendrá derecho sino a lo que le correspondería si hubiese efectuado los trabajos estrictamente contratados.

El ingeniero redactor del proyecto se reserva el derecho de percibir todo ingreso que en concepto de derechos de autor pudiera derivarse de una posterior comercialización, reservándose además el derecho de introducir cuantas modificaciones crea convenientes.

### 5.3 Pliego de condiciones particulares

#### 5.3.1 Componentes

Los componentes que conforman la batería deben cumplir las siguientes especificaciones:

- Los protectores de celda deben de ser de acero inoxidable Super Duplex 2507.
- La carcasa de aluminio debe de ser una aleación de aluminio y manganeso (AlMn)
- El bombín debe de ser acero inoxidable Super Duplex 2507.

## Universidad de Sevilla. Escuela Politécnica Superior de Sevilla

### 5.3.2 Funcionalidad

El equipo debe cumplir con las especificaciones requeridas descritas en el documento Memoria del presente.

### 5.3.3 Atributos

- **SEGURIDAD:** Se debe evitar cualquier situación que conlleve un daño a las personas que usen el sistema, por fallo eléctrico.
- **UNIVERSALIDAD:** Se deben usar piezas normalizadas, según la norma aplicable en España y Europa.

# 6. Mediciones

## Universidad de Sevilla. Escuela Politécnica Superior de Sevilla

### 6.1 Disposición eléctrica en el vehículo

En este apartado se va a exponer la disposición eléctrica de los condensadores, la batería, el convertidor y el motor.

Se ha partido de un vehículo eléctrico de dimensiones 3475x1475 mm, a continuación, se ha incorporado el motor eléctrico en la parte central de dimensiones 2800x1000 mm.

A continuación, se conecta en paralelo al convertidor de dimensiones son 500x300 mm, cuya conexión se puede observar en verde.

Tras la colocación del convertidor, se procede a la colocación de los condensadores cuyas dimensiones son 300x100 mm y la batería de dimensiones, una vez montada, de 400x200 mm como se puede observar la conexión en rojo.

Por último, se conecta en serie la batería con el convertidor para completar la conexión del circuito.

# 7. Presupuesto

## Universidad de Sevilla. Escuela Politécnica Superior de Sevilla

### 7.1 Partidas descompuestas

A continuación, se muestra la relación de las partidas que componen el proyecto con las unidades y el importe que suponen:

Cuadro de partidas descompuestas			
Descripción	Unidades	Precio (€)	Importe (€)
Lingote de litio en bruto	1	200	200
Electrolito	1	5	5
Lamina de aluminio	1	14	14
Papel de fibra metálica	1	5	5
Protector de celdas	4	3	12
Carcasa batería	1	5	5
Enchufes	2	1	2
Carcasa exterior de aluminio	1	40	40
Protector del circuito	1	3	3
Circuito de seguridad	1	2	2
Fusible	1	8	8
Bombín	1	15	15
Asa de la batería	1	2	2
Oficial de 1ª	1	30	30
Peón	1	20	20

Importe sin costes directos e indirectos	363 €
Costes directos complementarios (2 %)	1 €
Costes indirectos (1 %)	0,50 €

<b>IMPORTE TOTAL</b>	<b>364,50 €</b>
----------------------	-----------------

Tabla 7.7.1.1 Precios descompuestos



## Universidad de Sevilla. Escuela Politécnica Superior de Sevilla

### 7.2 Cálculo del precio de ejecución de contrata (PEC) y precio final (PF)

Por tanto, el precio de la ejecución material (PEM) es de 364,50 €, a continuación, se obtiene el precio de ejecución de contrata (PEC) y por último el precio total con IVA:

$$\text{PEC} = \text{PEM} + \% \text{ Gastos generales} \cdot \text{PEM} + \% \text{ Beneficio industrial} \cdot (\text{PEM} + \text{Gastos generales})$$

$$\text{PEC} = 364,50 \text{ €} + 0,13 \cdot 364,50 \text{ €} + 0,06 \cdot (364,50 \text{ €} + 47,39 \text{ €})$$

$$\text{PEC} = 436,60 \text{ €}$$

Procedemos al cálculo del precio final (PF):

$$\text{PF} = \text{PEC} + \% \text{ Honorarios proyectista} \cdot \text{PEM} + \% \text{ Honorarios director de obra} \cdot \text{PEM} + 0,21 \cdot (\text{PEC} + \text{Honorarios proyectista} + \text{Honorarios director de obra})$$

$$\text{PF} = 436,60 \text{ €} + 0,035 \cdot 364,50 \text{ €} + 0,035 \cdot 364,50 \text{ €} + 0,21 \cdot (436,60 \text{ €} + 15,28 \text{ €} + 15,28 \text{ €})$$

$$\text{PF} = 560,22 \text{ €}$$

Por tanto, el precio total del proyecto asciende a quinientos sesenta euros con veintidós céntimos.