



**Universidad de Valladolid**



**ESCUELA DE INGENIERÍAS  
INDUSTRIALES**

**UNIVERSIDAD DE VALLADOLID**

**ESCUELA DE INGENIERIAS INDUSTRIALES**

**Grado en Ingeniería Electrónica industrial y Automática**

# **Tecnologías de Baterías**

**Autor:**

**López Sánchez, David**

**Tutor:**

**Ruiz González, José Miguel  
Tecnología electrónica**

**Valladolid, Junio 2019.**



## RESUMEN

En el presente trabajo de investigación se analizan las tecnologías de las baterías, incluyendo las baterías secundarias y los sistemas de acumulación de energía que se pueden combinar con ellas.

Se han descrito las características eléctricas de cada tipo de tecnología, dejando aparte las consideraciones químicas que escapan del estudio.

Se ha tratado de analizar por un lado qué tipos de tecnologías son las que se emplean actualmente en el mercado; y por otro lado se han recogido algunas de las alternativas que se pueden utilizar, dando énfasis en cuáles son sus principales usos.

Asimismo, las baterías se han relacionado con las aplicaciones industriales principales y analizado qué tipo de tecnología cumple mejor las necesidades de las aplicaciones. Así, desde el punto de vista del usuario, se puede elegir la tecnología que mejor se adapte a las necesidades.

Para completar el trabajo, se ha incluido una prospección de las baterías futuras y sus principales aplicaciones.

**Palabras clave:** Tecnología, Baterías, Aplicaciones, Alternativas, Futuro

## ABSTRACT

In the present investigation work have been analyzed batteries' technologies, including secondary batteries and energy storage systems which can be combined with them.

It has been described electrical characteristics about each type of technology, leaving apart chemical considerations which get away about study.

It has been treated to analyze on one hand what types of technologies are collected actually in the market; and on the other hand it has been described some alternatives which can be collected, emphasizing on its main uses.

Likewise, batteries have been related with main industrial applications and analyzed what type of technology serve better the needs of application. So, from user point of view, it can be chosen the technology that would be better to the needs.

To complete the investigation work, it has been included a study about futures batteries and their main application.

**Keywords:** Technology, Batteries, Applications, Alternatives, Future



## Índice

1. Objetivos .....	9
2. Estado del arte .....	11
3. Análisis pormenorizado .....	15
3.1 Parámetros principales .....	15
3.2 Tipos de baterías .....	25
3.2.1 Baterías de Plomo-Ácido.....	25
3.2.2 Baterías basadas en electrodo de Níquel .....	30
3.2.2.1 Batería de Níquel Cadmio (Ni-Cd).....	31
3.2.2.2 Batería de Níquel Metal Hidruro (Ni-MH) .....	33
3.2.2.3 Batería de Níquel Hierro (Ni-Fe).....	34
3.2.2.4 Batería de Níquel Zinc (Ni-Zn).....	35
3.2.2.5 Batería de Níquel Hidrógeno (Ni-H) .....	37
3.2.3 Baterías de Litio .....	41
3.2.3.1 Batería de Óxido de Cobalto de Litio (LiCoO <sub>2</sub> ) .....	44
3.2.3.2 Batería de Manganeso de Litio (LiMn <sub>2</sub> O <sub>4</sub> ).....	46
3.2.3.3 Batería de Óxido de Cobalto, Manganeso y Níquel Litio (LiNiMnAlO <sub>2</sub> ) .....	47
3.2.3.4 Batería de Litio Fosfato Hierro (LiFePO <sub>4</sub> ) .....	48
3.2.3.5 Batería de Óxido de Aluminio de Cobalto y Níquel Litio (LiNiCoAlO <sub>2</sub> ).....	49
3.2.3.6 Batería de Titanato de Litio (Li <sub>4</sub> Ti <sub>5</sub> O <sub>12</sub> ).....	50
3.2.3.7 Polímero de Litio .....	51
3.2.4 Baterías alternativas.....	55
3.2.4.1 Batería de Sulfuro de Sodio .....	55
3.2.4.2 Celda de combustible .....	57
3.2.4.3 Batería de Aire Zinc .....	60
3.2.4.4 Batería de Plata Zinc .....	60
3.2.4.5 Batería Alcalina recargable .....	61
3.2.4.6 Supercondensador .....	61
3.3 Aplicaciones.....	65
3.3.1 Automóviles .....	69
3.3.2 SAI o UPS .....	70

3.3.3	Energías renovables.....	74
3.3.4	Sistemas de telecomunicaciones .....	75
3.3.5	Sistemas de Emergencia o señalización .....	76
3.3.6	Alarmas .....	77
3.3.7	Coches híbridos y eléctricos .....	78
3.4	Baterías Futuras .....	91
3.4.1	Baterías y supercondensadores de grafeno .....	91
3.4.1.1	Electrodos de grafeno .....	91
3.4.1.2	Supercondensadores de grafeno .....	92
3.4.2	Litio Aire .....	92
3.4.3	Litio Metal .....	92
3.4.4	Litio de estado sólido .....	93
3.4.5	Litio Azufre .....	93
3.4.6	Ion de Sodio.....	94
4.	Conclusiones .....	95
5.	Bibliografía.....	97
6.	Anexo.....	103
6.1	Glosario .....	103
Ecuación 1: Cálculo resistencia interna de la batería .....		15
Ecuación 2: Energía unitaria [kWh].....		20
Ecuación 3: Densidad de energía [Wh/kg].....		20
Ecuación 4: Densidad de energía con DOD .....		21

Ilustración 1: Interacción carga/descarga batería 3V/20Ah .....	18
Ilustración 2: Curvas de carga/descarga típicos de una batería.....	21
Ilustración 3: Batería arranque Plomo-ácido .....	26
Ilustración 4: Batería de tracción Plomo-ácido .....	26
Ilustración 5: Carga de una batería Plomo-ácido.....	29
Ilustración 6: Curva de carga Ni-MH .....	34
Ilustración 7: Flujo de iones en la batería de iones de litio .....	42
Ilustración 8: Curva de descarga de voltaje de iones de litio .....	42
Ilustración 9: Curva de carga batería Li-ion .....	44
Ilustración 10: Curva de descarga Li-ion .....	44
Ilustración 11: Estructura de Li-manganeso .....	46
Ilustración 12: :Energía específica típica de baterías a base de plomo, níquel y litio.....	53
Ilustración 13: Celda NAS (página web de NGK) .....	55
Ilustración 14: Batería tipo NAS.....	56
Ilustración 15: Celda de combustible .....	57
Ilustración 16: Banda de potencia de una celda de combustible portátil.....	59
Ilustración 18: Perfil de carga de un ultracondensador.....	62
Ilustración 17: Perfil de descarga de un ultracondensador.....	62
Ilustración 19: Diagrama de funcionamiento de un SAI Off-Line .....	71
Ilustración 20: Diagrama de funcionamiento de un SAI Interactivo.....	71
Ilustración 21: Diagrama de funcionamiento de un SAI Online.....	72
Ilustración 23: Vehículo Eléctrico de Baterías .....	78
Ilustración 24: Vehículo eléctrico Híbrido.....	79
Ilustración 25: Vehículos eléctricos híbridos recargables o enchufables.....	79
Ilustración 26: Vehículos eléctricos de pilas de combustible .....	79
Ilustración 27: Configuración en paralelo vehículo híbrido .....	81
Ilustración 28: Configuración en serie de un vehículo eléctrico.....	82
Ilustración 29: Configuración combinada o mixta de un vehículo híbrido.....	83
Ilustración 30: Pack de baterías Mitsubishi i-MiEV .....	86
Ilustración 31: Citroën C-Zero .....	87
Ilustración 32: Batería de un Tesla Model S .....	88
Ilustración 33: Componentes batería Nissan Leaf .....	88
Ilustración 34: Batería de un BMW i3 .....	89
Ilustración 35: Baterías en Toyota Prius .....	90
Tabla 1: Rendimiento del ciclo baterías de arranque y de tracción .....	26
Tabla 2: Resumen valores típicos baterías de arranque, de tracción y estacionaras .....	27
Tabla 3: Vida útil baterías Plomo-ácido .....	29
Tabla 4: Ventajas e inconvenientes baterías de Plomo-ácido .....	30
Tabla 5: Ventajas e inconvenientes de las baterías Ni-Cd.....	31

Tabla 6: Ventajas e inconvenientes de las baterías Ni-MH.....	33
Tabla 7: Ventajas e inconvenientes de las baterías de Ni-Fe .....	35
Tabla 8: Ventajas e inconvenientes de las baterías de Ni-Zn .....	36
Tabla 9: Ventajas e inconvenientes de las baterías de Ni-H.....	38
Tabla 10: Vida útil de baterías basadas en Ni .....	39
Tabla 11: Características técnicas de las baterías basadas en Ni.....	40
Tabla 12: Ventajas e inconvenientes de las baterías basadas en litio .....	43
Tabla 13: Características técnicas de las baterías basadas en LiCoO <sub>2</sub> .....	45
Tabla 14: Características técnicas de las baterías basadas en LiMn <sub>2</sub> O <sub>4</sub> .....	47
Tabla 15: Características técnicas de las baterías basadas en LiNiMnCoO <sub>2</sub> o NMC.....	48
Tabla 16: Características técnicas de las baterías basadas en LiFePO <sub>4</sub> o LFP .....	49
Tabla 17: Características técnicas de las baterías basadas en LiNiCoAlO <sub>2</sub> o NCA.....	50
Tabla 18: Características técnicas de las baterías basadas en Li <sub>4</sub> Ti <sub>5</sub> O <sub>12</sub> o LTO .....	51
Tabla 19: Características técnicas baterías NAS.....	56
Tabla 20: Ventajas e inconvenientes de las baterías NAS.....	56
Tabla 21: Tipos de celda de combustible más comunes .....	59
Tabla 22: Comparación ultracondensador e ion-litio típico .....	63
Tabla 23: Ventajas e inconvenientes de los ultracondensadores.....	64
Tabla 24: Resumen aplicaciones baterías basadas en Plomo ácido.....	66
Tabla 25: Resumen aplicaciones baterías basadas en Níquel .....	66
Tabla 26: Resumen aplicaciones baterías basadas en Litio .....	67
Tabla 27: Resumen aplicaciones baterías alternativas .....	69

## 1. Objetivos

La fascinación por la electricidad y el deseo de producirla y guardarla, han estado latentes desde tiempos antiguos. Aunque algunas civilizaciones antiguas como Mesopotamia y los egipcios descubrieron conductores de energía, no fue hasta el año 1800 donde se creó la pila que conocemos hoy. En 1780, Luigi Galvani descubrió que al conectar dos metales diferentes en el muslo de una rana, se generaba una pequeña corriente eléctrica que se podía medir. En 1791, se publicaron los resultados del experimento para obtener "electricidad animal". A partir de dicho momento, Volta empezó a investigar y descubrió que colocando dos metales diferentes, de forma separada, dentro de un vaso contenido en salmuera, se generaba electricidad. Este descubrimiento fue la pila. Pero las baterías no llegaron hasta 1859, cuando Gaston Planté inventó la batería de plomo-ácido, el primer acumulador. Es decir, la primera batería que podía recargarse haciendo pasar una corriente en sentido inverso a través de ella. Experimentó con la electricidad poniendo dos electrodos de plomo en una solución de ácido sulfúrico y luego aplicando un voltaje para conducir la corriente eléctrica por electrolito. El voltaje oxidó unos electrodos, cambiando su potencial de extracción. (Monografias.com, s. f.)

Pero, ¿qué es una batería?

La palabra "batería" proviene de la palabra francesa antigua *batterie*, que significa "acción de golpeo", relacionada con un grupo de cañones en batalla. En el esfuerzo por encontrar un dispositivo de almacenamiento de energía, los científicos de la década de 1700 adoptaron el término "batería" para representar múltiples células electroquímicas conectadas entre sí.

Según la RAE: "Acumulador o conjunto de acumuladores de electricidad" («Real Academia Española», s. f.)

Otras definiciones relevantes:

"Dispositivo que almacena energía eléctrica, usando procedimientos electroquímicos y que posteriormente la devuelve casi en su totalidad; este ciclo puede repetirse por un determinado número de veces."

(«Batería (acumulador eléctrico) - EcuRed», s. f.)

"Llamamos batería eléctrica, acumulador o simplemente batería al dispositivo que, formado por una o varias celdas electroquímicas, puede convertir la energía química que almacena en electricidad. A diferencia de las pilas, la reacción química que permite su funcionamiento es reversible, lo que permite

volver a cargar la batería por medios eléctricos.” («Baterías - tipos y usos - todosai», s. f.)

Las baterías principalmente se dividen en **desechables y recargables**, también conocidas como primarias y secundarias. *Las baterías o acumuladores desechables* (pilas), son de único uso, luego se vuelven inservibles ya que la reacción química interior se ha agotado. Las más comunes de este tipo serían *las alcalinas*. Las utilizamos en todo tipo de objetos como mandos a distancia, juguetes o luces portátiles. *Las baterías o acumuladores recargables* ofrecen la ventaja de volver a ser cargadas para su nueva utilización cuando han sido descargadas.

La extensión de su empleo en múltiples aplicaciones en la actualidad, así como el futuro que se vislumbra, justifica la dedicación del presente trabajo a su comprensión y estudio. En este sentido, trataremos en su desarrollo de analizar las tecnologías o químicas y tipos actualmente existentes y acercarnos al futuro que se prevé.

Nos centraremos en las *baterías secundarias*, que serán la base del estudio, pero también nos aproximaremos a los sistemas de acumulación de energía que se pueden combinar con las baterías secundarias.

Para entender las baterías, vamos a estudiarlas desde el punto de vista técnico. Si bien la componente química escapa a nuestro ámbito, por lo que no se estudiarán en profundidad, sí se detallarán las características eléctricas de cada tipo de tecnología. Nuestro objetivo principal es ver que tecnologías hay actualmente en el mercado sin perder de vista algunas alternativas más inusuales, concluyendo el análisis con las baterías que se proyectan en el futuro más o menos inmediato.

Otro objetivo que pretendemos es conocer como usuarios qué tipo de tecnología es mejor para cada aplicación. Para ello, debemos ver cuáles son las necesidades de las aplicaciones industriales que requieren baterías y a partir de ahí, considerando características propias de cada tipo de tecnología, elegiremos la mejor alternativa.

(«Tipos de Baterías Eléctricas y Acumuladores - Baterías de Grafeno», 2016)

## 2. Estado del arte

La batería es un elemento muy útil pero más bien misterioso. Entrega energía eléctrica para múltiples usos, es silenciosa, sin partes móviles y no da evidencia visual de su funcionamiento.

Sus aplicaciones están presentes en nuestras vidas cotidianas: arranca millones de automóviles cada mañana, controla los sistemas de energía que iluminan nuestros hogares de noche, provee de energía a miles de autoelevadores en las plantas industriales, suministra apoyo energético a ferrocarriles y subterráneos, mejora la calidad y confiabilidad de nuestro sistema telefónico, arranca máquinas diésel, energiza acondicionadores de aire de autobuses de pasajeros, provee energía a las señales de tránsito ferroviarias, almacena energía del sol a través de sistemas fotovoltaicos, son parte vital del sistema electrónico de los aviones, suministra energía para el control de las plantas nucleares de los submarinos...

Es decir, su uso está muy extendido en la sociedad actual, ya que muchas veces utilizamos baterías sin saberlo, y es por ello por lo que se ha convertido en una necesidad.

Los fabricantes de baterías acostumbran a distinguir entre las baterías destinadas al arranque, ignición e iluminación de vehículos con motor o explosión; y las destinadas a otras aplicaciones (como telefonía y sistemas de comunicaciones en general, servicios auxiliares de subestaciones transformadoras de energía, energía solar y eólica, UPS, iluminación de emergencia y vehículos eléctricos, entre muchas otras). Todas las baterías que se destinan a estas otras aplicaciones se denominan "industriales".

En el mercado podemos encontrar tres tipos de tecnologías de baterías principalmente:

- Baterías basadas en Plomo-ácido
- Baterías basadas en electrodo de Níquel
  - Ni-Cd, NiMH, NiFe, NiZn, NiH.
- Baterías basadas en Litio
  - LiCoO<sub>2</sub>, LiMn<sub>2</sub>O<sub>4</sub>, LiNiMnCoO<sub>2</sub>, LiFePO<sub>4</sub>, LiNiCoAlO<sub>2</sub>, Li<sub>4</sub>Ti<sub>5</sub>O<sub>12</sub> y polímero de Litio.

Debemos conocer sus características técnicas, comenzando por las más básicas: celda, voltaje o corriente. A partir de ellas definiremos las

características técnicas más personales de cada batería: capacidad, energía específica, densidad de energía... Estas características son las que dotan de virtudes y defectos a la batería. Es decir, dependiendo de las características que tengan las baterías, serán mejores para unas u otras aplicaciones.

Para elegir una batería tenemos que conocer qué características nos pide la aplicación para la que está destinada. A partir de ellas, elegiremos la batería que cumpla los requisitos.

El mercado de las baterías está en constante desarrollo debido a diversos factores: invención de aplicaciones nuevas, mayor uso de aplicaciones (p. ej. patinetes eléctricos, motos eléctricas), reducción de la contaminación... Esto deriva en que el mercado se renueve y los diferentes fabricantes compitan creando nuevas tecnologías. El mercado apunta a un desarrollo de tecnología basada en Litio:

- Litio aire
- Litio metal
- Litio de estado sólido
- Litio azufre
- Ion de sodio

Cada uno de los diferentes tipos presenta unas u otras características que le dan aptitudes propias para el uso en diferentes aplicaciones.

Aunque hay otros tipos de baterías cuyo uso está siendo poco a poco extendido. Son baterías alternativas que ya se comercializan pero que no alcanzan a competir a las mencionadas anteriormente. Este tipo de baterías son:

- Sulfuro de sodio
- Celda de combustible
- Aire zinc
- Plata zinc
- Alcalina recargable

Pero el futuro de las baterías no solo se basa en crear nuevos tipos de baterías, también se utilizan nuevos elementos que se añaden a las baterías ya existentes para competir con las necesidades de las aplicaciones. Es decir,

no mejoran las baterías, sino que aportan características al conjunto para conseguir mejores características globales. Estos elementos son los denominados supercondensadores.

Además, desde otro punto de vista, se prevé que la tecnología basada en grafeno dará la solución óptima a las baterías, pero como se verá está todavía en estudio y no se ha desarrollado.

(ENERSYSTEM, 2016) («Baterías Industriales», s. f.)



### 3. Análisis pormenorizado

#### 3.1 Parámetros principales

**-Celda:** es el menor elemento que forma una batería y puede ser asociada en serie o paralelo con otras celdas con el objetivo de conseguir los valores de corriente y de tensión deseados.

**-El Voltaje tensión o diferencia de potencial (en Voltios):** es la magnitud física que impulsa a los electrones a través de un circuito eléctrico cerrado provocando el flujo de una corriente eléctrica. La tensión es el primer parámetro a considerar, pues es el que suele determinar si el acumulador conviene al uso al cual se le destina. Se la define como el trabajo realizado sobre la unidad de carga circulante.

El voltaje en los terminales de la batería lo podemos expresar matemáticamente como  $V=E-IR$  asumiendo que la corriente sale de la batería. Donde:

- V es el voltaje en los terminales o bornes.
- E es el voltaje fijo de la batería o tensión del circuito abierto.
- R es la resistencia interna de la batería: Consiste en un concepto que ayuda a modelar en forma de resistencia todas las consecuencias eléctricas de las complejas relaciones químicas que se producen dentro de una batería. Al ser un concepto teórico, no se puede medir directamente de la batería, pero se puede calcular mediante los datos de corriente y voltaje medidos sobre ella. Cuando se aplica una carga a la batería, la resistencia interna de ésta se puede calcular con cualquiera de estas dos ecuaciones:

$$R_B = \frac{V_0 - V}{I} \qquad R_B = \frac{V_0}{I} - R_L$$

*Ecuación 1: Cálculo resistencia interna de la batería*

Siendo:

- $R_B$ : Resistencia interna de la batería
- $V_0$ : Tensión de vacío de la batería
- $V$ : Tensión de la batería con la carga
- $I$ : Intensidad suministrada por la batería.

La resistencia interna no es un parámetro fijo, sino que varía con la edad de la batería. La mayoría de baterías comerciales tienen una resistencia interna del orden de 1 Ohm.

Esta ecuación nos dice que al aumentar la corriente que se suministra, la tensión  $V$  disminuirá. Por lo tanto, nos interesa que la resistencia interna de la batería sea lo más pequeña posible. Por el contrario, cuando cargamos la batería el voltaje  $V$  aumentará  $I \cdot R$ .

El valor de  $V$  que nos da el fabricante es un valor nominal. Cuando la batería está completamente cargada este valor estará por encima y a medida que se va descargando va disminuyendo hasta estar bastante por debajo del valor nominal.

**-Tensión de vacío ( $E_0$ ):** es la tensión que una batería tiene entre sus terminales cuando no hay ningún elemento conectado a ellos. Su valor queda determinado por las características intrínsecas de la batería.

**-Tensión en circuito cerrado ( $E$ ):** es la tensión que aparece en los terminales de una batería cuando ésta está conectada a una carga. La tensión en circuito cerrado de una batería disminuye al conectarla a una carga dependiendo de la corriente que le ceda.

**-La corriente que puede suministrar el elemento, medida en amperios ( $A$ ):** tiene especial importancia en algunos casos la corriente máxima obtenible; p. ej., los motores de arranque de automóviles exigen esfuerzos muy grandes de la batería cuando se ponen en funcionamiento (hasta centenas de  $A$ ), por lo que solo deben durar poco tiempo.

**-La capacidad eléctrica:** es la cantidad de electricidad que puede obtenerse durante una descarga completa del acumulador plenamente cargado (teniendo en cuenta que en la práctica a menudo no es posible descargarse por completo). Se mide en la práctica por referencia a los tiempos de carga o de descarga en Ah. La unidad en el SI es el coulomb (C). La notación para especificar la capacidad de la batería es  $C_x$ , donde  $x$  es el tiempo en horas que tarda en descargar la batería. Por ejemplo,  $C_{10} = xxx$  significa que la capacidad de la batería es  $xxx$  cuando la batería se descarga en 10 horas. Si la velocidad de descarga se reduce a la mitad, el tiempo que tarda en descargarse la batería se duplica a 20 horas, y la capacidad de la batería aumenta a  $xxx$ . Otro ejemplo es que si la capacidad de una batería es de  $C=40Ah$  ésta en teoría puede dar 4A durante 10 horas, 8 A durante 5 horas, 40 A durante una hora u 80A durante media hora. Esto no es del todo cierto ya que la capacidad variará en función de cómo extraigamos la carga. Cuanto más rápido lo hagamos menor será la capacidad final y al revés, cuanto más lento extraigamos la carga mayor será la capacidad final. Para entendernos,

una batería de 40Ah capaz de dar 4A durante 10 horas, al suministrar 40 Amperios es probable que dure menos de una hora.

La mejor manera de predecir el efecto de la corriente y el tiempo en la capacidad es usando la ecuación de Peukert  $C_p = I k T$ . Esta ecuación nos dice que cuando una corriente  $I$  fluye desde una batería, desde el punto de vista de la capacidad de la batería, la corriente que a efectos prácticos está fluyendo es  $I k$  (que será mayor a  $I$  porque  $k > 1$ ).  $k$  es el Coeficiente de Peukert y es una constante. Su valor suele estar en torno a 1.15 y 1.6 en las baterías de ácido-plomo mientras que en las  $\text{LiFePO}_4$  este valor suele estar cercano al 1.05. Nos interesa elegir unas baterías con una  $k$  lo más cercana a 1 posible.

**-Capacidad de descarga (en Amperios):** la “C” no sólo se usa para definir la capacidad de carga (en Ah), también representa la corriente de descarga. Esto es un poco confuso hasta que uno se acostumbra. La ratio de descarga de la batería en 10 horas se encuentra dividiendo la capacidad por el tiempo. Es decir,  $C/10$  es la tasa de descarga, también se puede expresar como  $0.1C$ . En consecuencia, una especificación de  $C20 / 10$  (pudiéndose expresar como  $0.1C20$ ) es la tasa de descarga obtenida cuando la capacidad de la batería (medida cuando la batería se descarga en 20 horas) se descargará en 10 horas.

Por lo general el fabricante nos facilitará distintas capacidades de descarga. Nos dará por un lado la máxima capacidad de descarga en continuo y por otro lado nos dará distintas corrientes de descarga máximas para un tiempo determinado.

Por ejemplo, el fabricante nos puede decir:

Prismatic cells: 3V/20Ah:

Maximum Discharge Continuous: 5C o lo que es lo mismo 100A.

Maximum Discharge Current (18s pulse) 12C o lo que es lo mismo 240 A durante periodos no superiores a 18 segundos.

Por lo tanto, la capacidad de descarga nos dirá cuanta corriente es capaz de dar la batería sin degradarse o quemarse. Así que cuanto mayor sea esta capacidad mejor ya que dispondremos de más amperios.

**-El régimen de carga/descarga:** es la corriente aplicada a la batería para restablecer/extraer la capacidad disponible. Este régimen está generalmente normalizado para la capacidad de la batería. El régimen de carga / descarga puede especificarse directamente al dar la corriente; por ejemplo, una batería se puede cargar / descargar a 10 A. Sin embargo, es más común especificar

el régimen de carga / descarga al determinar la cantidad de tiempo que se tarda en completar descargar la batería. En este caso, el régimen de descarga viene dado por la capacidad de la batería (en Ah) dividida por el número de horas que se tarda en cargar / descargar la batería. Por ejemplo, una capacidad de la batería de 500 Ah que se descarga teóricamente a su voltaje de corte en 20 horas tendrá una velocidad de descarga de  $500 \text{ Ah} / 20 \text{ h} = 25 \text{ A}$ . Además, si la batería es una batería de 12 V, entonces la energía el suministro a la carga es de  $25 \text{ A} \times 12 \text{ V} = 300 \text{ W}$ . Teniendo en cuenta que la batería solo se descarga "teóricamente" a su nivel máximo, ya que la mayoría de las baterías prácticas no se pueden descargar completamente sin dañar la batería o reducir su vida útil.

Cada tipo de batería tiene un conjunto particular de restricciones y condiciones relacionadas con su régimen de carga y descarga, y muchos tipos de baterías requieren regímenes de carga específicos o controladores de carga. Por ejemplo, las baterías de níquel-cadmio deben descargarse casi por completo antes de cargarlas, mientras que las baterías de plomo-ácido nunca deben descargarse por completo. Además, la tensión y la corriente durante el ciclo de carga serán diferentes para cada tipo de batería. Por lo general, un cargador de batería o un controlador de carga diseñado para un tipo de batería no se pueden usar con otro tipo.

Podemos ver cómo interactúan realmente todos estos parámetros en la siguiente gráfica que corresponde a una batería de 3V/20Ah:

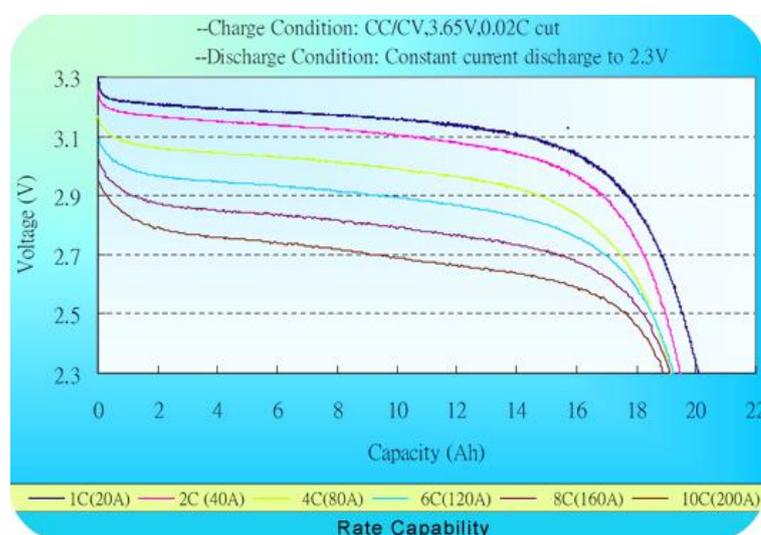


Ilustración 1: Interacción carga/descarga batería 3V/20Ah

**-Capacidad nominal:** capacidad asignada por el fabricante para una batería nueva y para condiciones de operación.

**-Capacidad disponible:** capacidad obtenida en función de un conjunto de condiciones de operación como régimen de descarga, temperatura, estado de carga inicial y voltaje final de descarga.

**-Capacidad retenida:** capacidad conservada por la batería después de un periodo de reposo o inactividad.

**-Capacidad energética:** número total de watios-hora que pueden ser extraídos de una batería plenamente cargada.

**-Máxima corriente de descarga continua:** es la máxima corriente que la batería puede descargar de forma continuada. Este límite viene definido por el fabricante para evitar daños o reducción de su capacidad.

**-Máxima corriente en intervalos:** corriente máxima a la que la batería puede ser descargada en intervalos de tiempo (suelen ser alrededor de 10 ms). El límite viene fijado por el fabricante con el fin de evitar daños y pérdida de prestaciones. La máxima corriente por intervalos suele ser más alta que la máxima corriente continua.

**-Autodescarga:** es la pérdida de capacidad de una batería cuando ésta se encuentra en circuito abierto. Tiene su origen en reacciones químicas internas de descarga.

**-Sobredescarga:** proceso que tiene lugar cuando se continúa cargando una batería, después que se pierda la eficiencia de reacciones electroquímicas al cargar.

**-Energía almacenada:** se mide habitualmente en Wh (watios-hora); la unidad en el SI es el julio (J).

**-La profundidad de descarga:** son los amperios-hora extraídos de una batería plenamente cargada expresado como un porcentaje de la capacidad nominal.

**-El voltaje de corte:** es el voltaje para el cual se finaliza la descarga de la batería. Es función del régimen de descarga y del tipo y modelo de cada batería.

**-Estado de carga:** es la capacidad disponible en una batería expresada como porcentaje de la capacidad nominal.

**-Ciclo:** secuencia de carga/ descarga para una profundidad y régimen de descarga determinados.

**-Ciclo de vida:** número de ciclos que una batería puede soportar bajo determinadas condiciones.

**-Densidad de potencia:** relación entre la potencia disponible (nominal) de la batería y:

Peso (W / kg): la potencia máxima disponible por unidad de masa.

Volumen (W / L): la potencia máxima disponible por unidad de volumen.

La densidad de potencia es una característica de la química de la batería y del embalaje.

**-El rendimiento:** es la relación porcentual entre la energía eléctrica recibida en el proceso de descarga y la que la batería entrega durante la descarga.

**-La energía unitaria de una batería:** se define como el producto de la capacidad (Ah) por el voltaje (V). Para expresarlo en kWh dividiremos entre mil.

$$Energía\ unitaria\ [kWh] = \frac{Capacidad\ [Ah] \cdot Voltaje\ [V]}{1000}$$

*Ecuación 2: Energía unitaria [kWh]*

**-La energía específica:** es la relación entre la energía unitaria y el peso unitario:

$$Densidad\ de\ energía\ \left[ \frac{Wh}{kg} \right] = \frac{Energía\ unitaria\ [kWh]}{Peso\ unitario\ [kg]}$$

*Ecuación 3: Densidad de energía [Wh/kg]*

La finalidad de muchos científicos, equipos de investigación y empresas dedicadas al desarrollo de esta tecnología es aumentar esta energía específica en todo lo posible, sobre todo para su desarrollo en automóviles, ya que la relación energía-peso es esencial para el desarrollo del sector.

**-Densidad de energía (Wh / L):** la energía nominal de la batería por unidad de volumen, a veces se refiere como la densidad de energía volumétrica. La densidad de energía es una característica de la batería química y embalaje. Junto con el consumo de energía del vehículo, determina el tamaño de batería requerido para alcanzar un rango eléctrico dado.

**-La profundidad de descarga (a partir de ahora DOD – Depth of Discharge):** entendida como los amperios-hora extraídos de una batería plenamente cargada expresada como un porcentaje de la capacidad nominal. Hace referencia al tanto por ciento de energía que podemos extraer de una batería para no disminuir su vida útil considerando el número de ciclos de carga y descarga.

A partir de dicho parámetro, calculamos la densidad de energía incluyendo el porcentaje considerado, ya que se trata de un parámetro más real.

$$\text{Densidad de energía con DOD} = \text{Densidad de energía} \left[ \frac{\text{Wh}}{\text{kg}} \right] \cdot \frac{\text{DOD}[\%]}{100}$$

*Ecuación 4: Densidad de energía con DOD*

**-Estado de carga (a partir de ahora SOC) (%):** una expresión de la capacidad actual de la batería como un porcentaje de capacidad máxima. SOC se calcula generalmente utilizando la integración actual para determinar el cambio en la capacidad de la batería con el tiempo.

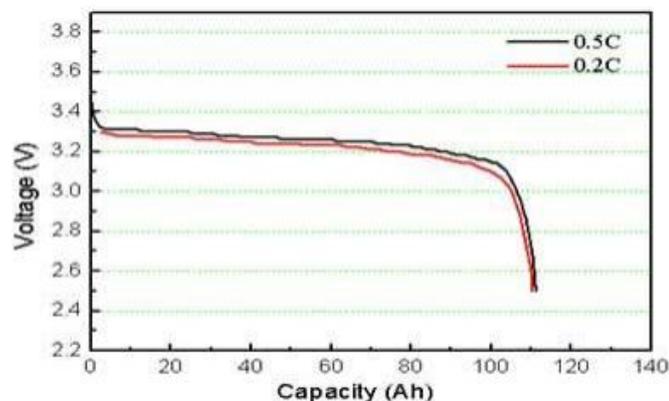
**-Vida útil:** tiempo que la batería puede mantener sus prestaciones por encima de unos límites mínimos predeterminados. Definido también como el número de veces que la batería puede ser recargada, para recobrar su capacidad completa después de su uso.

**-Eficacia (%):** es la fracción de energía eléctrica que devuelve la batería en relación a la que ha sido necesario para cargarla.

**-Tiempo de recarga normal (h):** es el tiempo necesario para realizar una recarga completa de la batería.

**-Tiempo de recarga rápida (h):** son los tiempos necesarios para recargar la batería a la mitad o al 99% de su capacidad. Este tiempo de carga no está enfocado a las actuales baterías de litio, en las que su tiempo de recarga ronda los 6 minutos.

**-Curvas de carga/descarga:** son los gráficos utilizados para definir el funcionamiento u prestaciones de una batería.



*Ilustración 2: Curvas de carga/descarga típicas de una batería*

**-Delta Peak:** sistema utilizado para cargar las baterías de NIMH y NiCd. Detecta el fin de carga a partir de los picos de tensión que proporciona este

tipo de baterías durante su carga. Al aproximarse a la plena carga, su voltaje aumenta bruscamente igual que sus picos de tensión, los cuales son detectados por el cargador, quien finaliza la carga.

**-Descargas anormales:** son aquellas descargas que están separadas al menos un 10% de la curva de descarga estimada.

**-Potencia máxima de un elemento (en tecnología de litio):** es aquella potencia en la que el elemento es capaz de entregar al menos un 80% de su capacidad nominal, antes de bajar de 3 V y no superar los 50 °C en su superficie, en el menor tiempo posible.

**-Coste (€/kWh):** el coste de la batería por unidad de energía almacenada es esencial para aplicaciones económicas. Un acumulador de plomo estándar tiene un coste del orden de 350 €/kWh. En cambio, el coste medio de electricidad en Europa es alrededor de 0,1 €/kWh.

### *¿Qué constituye un ciclo de descarga?*

Un ciclo de descarga / carga se entiende comúnmente como la descarga completa de una batería cargada con una recarga posterior, pero este no es siempre el caso. Las baterías rara vez se descargan por completo, y los fabricantes a menudo usan la fórmula de 80% de profundidad de descarga (DoD) para calificar una batería. Esto significa que solo el 80% de la energía disponible se entrega y el 20% permanece en reserva. El ciclado de una batería con una descarga inferior a la descarga completa aumenta la vida útil, y los fabricantes sostienen que esto se parece más a una representación de campo que a un ciclo completo porque las baterías generalmente se recargan con algo de capacidad de repuesto.

No existe una definición estándar de lo que constituye un ciclo de alta. Algunos contadores de ciclos agregan un conteo completo cuando se carga una batería. Una batería inteligente puede requerir una descarga del 15 por ciento después de la carga para calificar para un ciclo de descarga; Cualquier cosa menos no se cuenta como un ciclo. Una batería en un satélite tiene un DoD típico de 30 a 40 por ciento antes de que las baterías se recarguen durante el día del satélite. Una nueva batería EV solo puede cargarse al 80% y descargarse al 30%. Este ancho de banda se ensancha gradualmente a medida que la batería se desvanece para proporcionar distancias de

conducción idénticas. Evitar cargas y descargas completas reduce el estrés de la batería.

(«Teoría sobre baterías 1», 2010) (MIT Electric Vehicle Team, 2008) (Gears Educational Systems, LLC, s. f.) (Jose Antonio Dominguez Vazquez, 2018)  
(«Battery Charging and Discharging Parameters», s. f.) (Jaume Martínez, 2017)  
(«Acumuladores y baterías | ¿Que batería necesito?», 2016)



## 3.2 Tipos de baterías

En este apartado vamos a analizar los principales tipos de baterías o acumuladores energéticos existentes en el mercado, así como sus usos, ventajas e inconvenientes.

### 3.2.1 Baterías de Plomo-Ácido

Este tipo de baterías basa su funcionamiento en la pila electroquímica. Es decir, se disponen de dos electrodos, uno positivo y otro negativo, que al conectarlos formando un circuito cerrado, generan una corriente eléctrica. Las baterías están formadas por varios pares de estos electrodos situados en compartimentos independientes denominados celdas. Ambos electrodos están sumergidos en una disolución denominada electrolito.

En las baterías de plomo ácido, el electrodo positivo es una placa de plomo recubierta por óxido de plomo (II) ( $\text{PbO}_2$ ) y el electrodo negativo es plomo esponjoso. Este tipo de baterías recibe el nombre de ácido debido a que la disolución donde están sumergidos ambos electrodos es ácido sulfúrico.

Podemos encontrar 2 grupos principales de baterías Plomo-Ácido:

*-De electrolito inundado o ventiladas (a partir de ahora VLA) donde los electrodos se encuentran sumergidos en exceso de electrolito líquido.*

*-Selladas o reguladas por una válvula (a partir de ahora VRLA) donde el electrolito se encuentra inmovilizado en un separador absorbente o en un gel.*

Vamos a analizar el primer tipo, baterías de plomo ácido ventiladas (VLA), donde podemos encontrar 3 grupos:

*-Arranque, iluminación o encendido:* Están diseñadas para entregar el máximo de corriente en un corto espacio de tiempo manteniendo el voltaje constante, por lo tanto, tienen una resistencia interna muy baja. Estas descargas de corrientes pueden que sean con cambios fuertes de temperatura, es por ello que el peso, diseño y forma son característicos. Este tipo de baterías suelen ser frecuentes para arrancar automóviles y todo tipo de vehículos diésel y gasolina. Se utilizan en coches, motos, camiones y autobuses. También se utilizan en maquinaria agrícola e industrial y especial para uso en aplicaciones aeronáuticas.

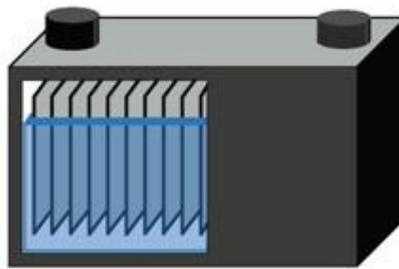


Ilustración 3: Batería arranque Plomo-ácido

La batería de arranque tiene muchas placas delgadas en paralelo para lograr una resistencia baja con un área de superficie alta. Este tipo de batería no permite ciclos profundos.

-Tracción o ciclo profundo: Este tipo de baterías están diseñadas para producir una descarga constante y pequeña durante largos periodos de tiempo. Este tipo de baterías se utilizan en boogies y carros de golf, automóviles eléctricos, vehículos para la movilidad reducida y sillas de ruedas, radiocontrol y coches y motos de juguete para niños. También se encuentran baterías de tracción para transpaletas y carretillas elevadoras, plataformas elevadoras o fregadoras y barredoras.

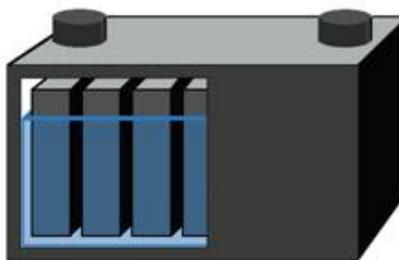


Ilustración 4: Batería de tracción Plomo-ácido

La batería de tracción dispone de placas de plomo gruesas para conseguir una capacidad específica y un número de ciclos razonablemente alto.

Esta tabla resumen nos da una idea del rendimiento del ciclo:

Profundidad de descarga	Batería de arranque	Batería tracción
100%	12-15 ciclos	150-200 ciclos
50%	100-120 ciclos	400-500 ciclos
30%	130-150 ciclos	1000 y más ciclos

Tabla 1: Rendimiento del ciclo baterías de arranque y de tracción

-Estacionarias: Constantemente están siendo cargadas y se tiene que tener especial cuidado para que no se sequen. Una clasificación de estas baterías se puede realizar atendiendo al formato en el que se encuentran. Podemos encontrar en el mercado baterías estacionarias que se caracterizan por presentar una elevada profundidad de descarga (60 al 80%) y monoblock en las que la profundidad de descarga es menor (50%). Este tipo de baterías se utiliza en la industria náutica y caravanas o furgonetas tipo camper. También se utiliza para energías renovables, baterías para fuentes de alimentación ininterrumpida para usos de informática (SAI o UPS), sistemas de telecomunicaciones, alarmas y sistemas de emergencia o señalización. Tienen una larga vida útil y bajo mantenimiento. El electrolito y el material de la rejilla del electrodo están diseñados para minimizar la corrosión.

Una tabla resumen de los valores típicos de estos tres tipos de baterías se encuentra a continuación:

Tipo de celda	Arranque	Tracción	Estacionarias
Tensión nominal ( $V_{DC}$ )	2	2	2
Tensión en circuito abierto ( $V_{DC}$ )	1.90 ~ 2.15	1.90 ~ 2.15	1.90 ~ 2.15
Tensión final de la carga ( $V_{DC}$ )	2.5	2.5	2.5
Tensión final de la descarga ( $V_{DC}$ )	1.75	1.75	1.75
Eficiencia (DC-a-DC)	75% ~ 85%	75% ~ 85%	75% ~ 85%
Temperatura de trabajo ( $^{\circ}C$ )	-40 ~ 55	-20 ~ 40	-10 ~ 40
Energía específica (Wh/kg)	35	25	10 ~ 20
Densidad de energía (Wh/L)	70	80	50 ~ 70
Densidad de potencia	Alta	Moderadamente alta	Moderadamente alta

Tabla 2: Resumen valores típicos baterías de arranque, de tracción y estacionarias

Debemos tener claro para qué queremos la batería. Una batería de tracción es capaz de arrancar un motor, pero no está diseñada para ese uso y desaprovecharemos sus cualidades. Una batería de arranque puede alimentar un aparato eléctrico, pero su vida útil se verá muy afectada. Podemos hacer una primera clasificación según el uso de las baterías:

- Arranque: como las de los coches, proporcionan gran cantidad de energía en un corto periodo de tiempo, para dar el empuje necesario para arrancar el motor.
- Tracción: como las de un coche eléctrico o una carretilla elevadora, almacenan energía que permitirá mover la máquina, lo que generalmente requiere un gran suministro durante periodos de tiempo medios.
- Estacionarias: como las usadas en una caravana o en una estación solar, almacenan energía para suministrarla lentamente en largos periodos de tiempo.

Las baterías de arranque nos dan una gran dosis de energía en pocos segundos. A partir de ahí, será el alternador del vehículo el encargado de mantener la carga de la batería y suministrar energía al vehículo.

Las baterías de tracción tendrán un requerimiento mayor ya que además de funcionar durante horas, el uso que le pedimos será más exigente.

Y, por último, de las estacionarias, esperamos que aporte suficiente suministro de energía en varias horas. La batería se va a descargar lentamente, por lo que la reacción química durará mucho más tiempo que en una batería de arranque.

Vamos a analizar el segundo tipo, las baterías VRLA, en comparación con las anteriores, tienen un ciclo de vida más corto, elevadas temperaturas e intolerancia al abuso. Es una batería de respaldo usado en equipos portátiles, SAIS (sistemas de alimentación ininterrumpida), equipos de automatización de fábricas, pequeños dispositivos de iluminación, sistemas de alarmas, carritos eléctricos, vehículos recargables, etc. La cuestión es que toda batería durante su normal funcionamiento genera gasificación, y si esta es abundante se origina presión en el interior, por tanto, no es apropiado sellar completamente una batería y por eso, las baterías VRLA llevan unos tapones de caucho que hermetizan cada celda. Estos tapones en caso de excesiva gasificación, se abrirán liberando la presión interna. Es decir, los tapones por seguridad, regulan la eventual salida de gas. Podemos dividir las en dos grupos:

- Absorbed Glass Mat (a partir de ahora AGM) VRLA, donde el electrolito se mantiene por un separador poroso absorbente, generalmente fabricado en fibra de vidrio.

- Gelled electrolyte VRLA, donde se añade un agente gelificante al electrolito líquido a fin de que este adopte la consistencia de gel.

En cuanto a la vida útil podemos destacar:

Batería	Expectativa de vida (años)	Expectativa de vida (ciclos)
Arranque	5 - 7	200 - 700
Tracción	3 - 5	1500
Estacionarias	15 - 30	-
VRLA	5 - 10	250 - 500

Tabla 3: Vida útil baterías Plomo-ácido

En cuanto a seguridad y medioambiente cabe destacar que este tipo de baterías deben de ser recicladas en contenedores especializados debido a su elevada toxicidad al llevar plomo.

La curva de carga típica de este tipo de batería es la siguiente:

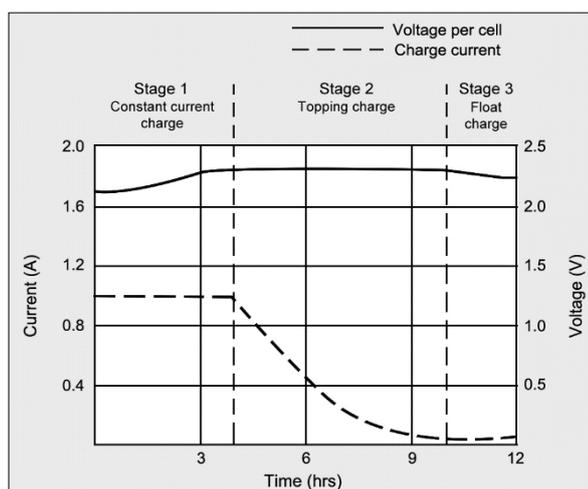


Ilustración 5: Carga de una batería Plomo-ácido

Esta curva representa la carga de una célula de 2.4V, la sobre carga causa corrosión y acorta su vida útil. Típicamente tarda 8h en cargarse.

Como conclusiones finales veamos las ventajas e inconvenientes:

Ventajas	Inconvenientes
Bajo coste y simple fabricación (bajo costo por vatio-hora)	Energía específica baja
Baja autodescarga; más bajo entre las baterías recargables	Carga lenta (14-16 horas), no aceptan carga rápida
Alta tensión por celda (2V)	Elevado peso
Tecnología conocida	Potencia específica baja
Rápida disponibilidad (cantidades, tamaños y diseños)	Ciclo de vida relativamente corto
Buen rendimiento a bajas y altas temperaturas	Mantenimiento elevado
Celdas de voltaje elevado (en comparación con otro tipo de celdas)	Amenaza medioambiental (plomo y ácido sulfúrico)
Componentes fácilmente reciclables	Debe almacenarse en condiciones de carga para evitar sulfatación
Alta eficiencia	

Tabla 4: Ventajas e inconvenientes baterías de Plomo-ácido

Desde su invención en 1859 por el físico Gaston Planté, tras importantes avances en dicha tecnología, hoy en día no se ha obtenido una alternativa rentable para los coches, sillas de ruedas, scooters, carros de golf y los sistemas UPS. Esto es debido a su bajo precio y a que cumple perfectamente con las prestaciones pedidas.

### 3.2.2 Baterías basadas en electrodo de Níquel

Este tipo de tecnología es conocida en diferentes campos de aplicación debido a su amplia durabilidad, lo que conlleva a un buen ciclo de vida en comparación con otras tecnologías. En la actualidad se disponen de diferentes grupos basados en este tipo de tecnología:

### 3.2.2.1 Batería de Níquel Cadmio (Ni-Cd)

Este tipo de tecnología está compuesta por un cátodo de hidróxido de níquel, un ánodo de un compuesto de cadmio y un electrolito de hidróxido de potasio. Esta combinación de materiales permite que la batería pueda ser recargada una vez la energía de la misma se agote.

Utiliza la tecnología “delta peak” para hallar el estado de plena carga, puesto que se produce un aumento de tensión al llegar a dicho estado, que es detectada por el cargador y detiene el proceso de carga.

Las diferentes ventajas y limitaciones se muestran a continuación:

Ventajas	Desventajas
Relativa tolerancia al abuso físico y operacional: -Sobrecarga -Exceso de descarga -Cortocircuitos -Circuito abierto durante largos periodos	Amenaza medioambiental, debido a la alta toxicidad del Cadmio
Relativamente económicas, el más bajo en términos de costo por ciclo	*Efecto memoria
Excelentes capacidades de suministro de potencia	Energía específica baja
Puede recargarse ultra rápido con poco esfuerzo	Alta autodescarga
Larga vida útil pudiéndose almacenar durante largos periodos de tiempo aunque necesita un cebado antes de su uso	Bajo voltaje de celda, 1,2V, lo que requiere muchas celdas para lograr un alto voltaje
Almacenamiento y transporte simple	Precio elevado, por encima de 300€/Kwh
Buen rendimiento a baja temperatura	No se fabrican en muchos países desarrollados
Amplia gama de tamaños y opciones de rendimiento	Con calor, sufren envejecimiento prematuro
Gran fiabilidad	

Tabla 5: Ventajas e inconvenientes de las baterías Ni-Cd

**\*El efecto de memoria** es famoso por su inconveniencia. En las baterías de Ni-Cd los procesos de carga deben ser realizados con cuidado. Típicamente, si la batería es recargada aun teniendo un 30% de carga, pasará a usar apenas los restantes 70% de capacidad, o si tiene un 60% de carga pasará a tener una capacidad de 40%. Para evitar dicho efecto, se deben descargar las baterías por completo antes de volver a cargarlas. Si no se hace, se debe limitar el fin de descarga cuando la tensión total haya bajado suficientemente (tal como a 1.1V por elemento). Existen descargadores especiales que realizan esta función o se puede programar la tensión a la que se interrumpe la descarga.

En una batería de Ni-Cd, los elementos activos, Níquel y Cadmio, existen en forma de cristales. Cuando las baterías son recargadas antes de descargadas totalmente, ocurre el efecto de memoria y los cristales crecen y se acumulan en formaciones, haciendo que la batería pierda gradualmente su capacidad. Rigurosamente no es el efecto de memoria (que vuelve los cristales mayores), pero sí el efecto de cristalización (que produce acumulaciones de cristales) el verdadero problema de las baterías. En estado de degradación adelantados, las formaciones de cristales pueden hasta romper el separador aislante provocando niveles altos de auto-descarga o un corto-circuito.

Esta batería se inventó en 1899 por Waldermar Jungner, aunque ofrecía varias ventajas sobre la de ácido-plomo, su elevado precio hizo que no pudiera competir en el mercado. Pese a los lentos avances, en 1947 se diseñó un tipo de batería Ni-Cd que fue la opción preferida para walkie-talkies, equipos de emergencia médicos, cámaras de video profesionales y herramientas eléctricas. A finales de los 80, surgió un avance que hizo que la capacidad de este tipo de baterías aumentara un 60%, aunque este avance se vio afectado por un aumento de la resistencia interna y menos ciclos. Hoy en día las baterías NiCd es una de las baterías más resistentes y tolerantes, son las más utilizadas en el sector industrial y la industria de las aerolíneas, aunque hay que tener cuidado con el efecto memoria aplicado a este tipo de baterías.

## 3.2.2.2 Batería de Níquel Metal Hidruro (Ni-MH)

Este tipo de acumuladores utilizan un ánodo de hidróxido de níquel, mientras que el cátodo está formado por una aleación de hidruro metálico. La investigación del hidruro de níquel-metal comenzó en 1967, aunque su inestabilidad llevó al desarrollo del níquel-hidrógeno (Ni-H). Pero, surgieron nuevas aleaciones en la década de 1980, que proporcionan el 40% de energía específica más alta que el Ni-Cd. Pero el níquel-metal presenta inconvenientes, ya que es una batería más delicada y más difícil de cargar que las de Ni-Cd. Presentan un 20% de autodescarga en las primeras 24 horas después de la carga y un 10% por mes a partir de entonces. Las modificaciones en los materiales de hidruro reducen la autodescarga y la corrosión de la aleación, pero disminuye la energía específica. La siguiente tabla muestra las ventajas y limitaciones de Ni-MH en el sector industrial:

Ventajas	Desventajas
Un 30 o 40% más de capacidad de Ni-Cd estándar	Vida útil limitada, debido a sobrecargas y descargas completas
Densidad de energía y energía específica mayor que Ni-Cd	Requiere un algoritmo de carga complejo
Menos propenso al efecto memoria	Genera calor durante la carga rápida y descarga de alta carga
Almacenamiento y transporte simple (más seguras)	Alta autodescarga (15-20% cada mes)
Respetuoso con el medio ambiente (libre de Cadmio)	Eficiencia solo del 65%
Reciclaje rentable debido al contenido en níquel	Coste elevado
Amplio rango de temperaturas	Dificultad de fabricación
Ciclo de vida mejorado	Menor fiabilidad
Se cargan con un cargador convencional	Tiempos de carga superiores que las Ni-Cd
	Voltaje por celda bajo (1.2V)

Tabla 6: Ventajas e inconvenientes de las baterías Ni-MH

Las baterías de Ni-MH no tienen problemas de cristalización, luego, no sufren con el efecto de memoria.

La curva típica de carga se representa a continuación:

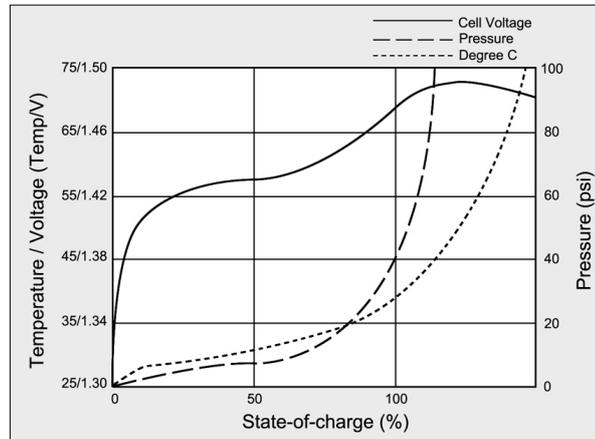


Ilustración 6: Curva de carga Ni-MH

La batería Ni-MH tiene una carga eficiente hasta el 70%, a partir de entonces se calienta. Es por ello por lo que se requiere un sistema de detección de carga y otro de detección de temperatura, por seguridad. Las baterías de Ni-Cd y Ni-MH cargan entre 1-3 horas, y el ratito de menor carga es 0.05C.

Este tipo de batería se ha convertido en una de las baterías recargables más accesibles para el consumidor. Los fabricantes de baterías (Panasonic, Energizer, Duracell...) ofrecen baterías de Ni-MH en diferentes tamaños (AA, AAA...) con una recarga duradera y bajo coste. Han sido las pioneras en la utilización de vehículos eléctricos y en la electrónica de gran consumo.

### 3.2.2.3 Batería de Níquel Hierro (Ni-Fe)

En 1899, el sueco Waldemar Junger intentó sustituir el cadmio (Ni-Cd) por hierro para ahorrar dinero, pero la pobre eficiencia de carga y la formación de gases llevaron al abandono de su estudio sin ninguna patente. Pero fue Thomas Edison en 1901 quien desarrolló la batería níquel-hierro como sustituto a la de plomo-ácido para vehículos eléctricos. Pero este desarrollo se vio detenido cuando surgieron los vehículos de gasolina y no se utilizó la batería níquel-hierro como motor de arranque, iluminación y batería de arranque para este tipo de vehículos.

Esta tecnología utiliza un cátodo de óxido de hidróxido y un ánodo de hierro con electrolito de hidróxido de potasio que produce un voltaje de celda

nominal de 1.2 V. Las ventajas y limitaciones de este tipo de acumulador se muestran a continuación:

Ventajas	Desventajas
Extrema durabilidad	Alta variabilidad con la temperatura
Relativa tolerancia al abuso físico y operacional: -Sobrecarga -Exceso de descarga -Cortocircuitos -Circuito abierto	Retención de carga pobre
	Densidad de potencia y energía específica baja
	Alta autodescarga

Tabla 7: Ventajas e inconvenientes de las baterías de Ni-Fe

La resistencia a vibraciones y las altas temperaturas hicieron que la batería Ni-Fe fuera la preferida para la minería en Europa, durante la Segunda Guerra Mundial (V-1 y V-2), la señalización ferroviaria, carretillas elevadoras y aplicaciones estacionarias. Pero la batería Ni-Fe tiene una energía específica baja 50Wh/kg, bajo rendimiento a baja temperatura, presenta una alta autodescarga de 20 a 40% al mes y alto costo de fabricación, llevó a la industria a proseguir con la tecnología plomo ácido.

Se están realizando mejoras y las baterías Ni-Fe se están convirtiendo en una alternativa al plomo ácido en sistemas de energía fuera de la red. La tecnología de la placa de bolsillo bajó la autodescarga y debe durar más de 50 años (frente a los 12 años de la batería plomo-ácido de ciclo profundo). Pero la batería Ni-Fe cuesta aproximadamente cuatro veces más que el ácido plomo, comparable en precio con la batería Li-ion.

#### 3.2.2.4 Batería de Níquel Zinc (Ni-Zn)

Este tipo de batería es similar al Ni-Cd, ya que utiliza un electrolito alcalino y un electrodo de níquel, pero difiere en el voltaje, que presenta 1.65V frente a los 1.20V de Ni-Cd y Ni-MH. Este tipo de acumulador se carga a corriente

constante y no admite carga lenta. Presenta una energía específica de 100Wh/kg y puede ciclarse entre 200 y 300 veces. Ni-Zn no tiene materiales tóxicos pesados y se puede reciclar fácilmente. Algunos envases están disponibles en el formato de celda AAA. Este tipo de baterías es la menos madura dentro de las basadas en Níquel y presenta las siguientes ventajas y limitaciones:

Ventajas	Desventajas
Densidad de energía ligeramente mayor	Ciclo de vida pobre
Coste menor	*Idiosincrasias de los electrodos de níquel y zinc

Tabla 8: Ventajas e inconvenientes de las baterías de Ni-Zn

\*Idiosincrasia: Rasgos propios

En 1901, Thomas Edison recibió la patente por un sistema de baterías recargable níquel-zinc que se instaló en vagones entre 1942 y 1948. Pero este tipo de baterías sufrió una alta autodescarga y una vida útil corta debido al crecimiento de dendritas, que condujo a cortocircuitos. Las mejoras en el electrolito han reducido el problema y se está considerando Ni-Zn nuevamente para usos comerciales. El bajo coste, la alta potencia de salida y el buen rango de funcionamiento de temperaturas, hacen que este tipo de acumulador sea atractivo.

Según el estudio realizado por el Laboratorio de Investigación Naval de Estados Unidos publicado en la revista <<Science>>, las baterías acuosas recargables a base de zinc pueden proporcionar una alternativa a las baterías de iones de litio. Los ánodos de zinc en una estructura porosa de tipo esponja no desarrollan dendritas durante el ciclo, por lo que su estructura alcanza el 90 % de la capacidad del material y suponen una mejora del 50 % sobre los compuestos de zinc convencionales. Los ensayos en el ánodo de zinc en una batería de níquel-zinc revelaron que la célula puede soportar el ciclo repetido, similar a las baterías de iones de litio. Los investigadores probaron así la capacidad de la célula como una batería de entrada y salida, que podría llevar a reemplazar las baterías de plomo en vehículos microhíbridos, y encontraron que la célula de níquel-zinc podría soportar más de 50.000 ciclos. Incluso después de ciclos repetidos, la arquitectura porosa de la esponja de zinc no resultó afectada con dendritas.

Por otro lado, el fabricante de componentes auxiliares HELLA ha establecido un acuerdo de colaboración con PowerGenix para el desarrollo de soluciones de almacenamiento energético basadas en la tecnología de baterías Níquel-

Zinc. Hella apunta a una mejora sustancial en la densidad energética de esta química Ni-Zn frente a baterías Plomo-Acido y Ni-MH, rivalizando en costes con las actuales soluciones semihíbridas e híbridas que hacen uso de baterías de iones de Litio. Concretamente el acuerdo de evaluación tecnológica firmado entre HELLA y PowerGenix habla de baterías con densidades energéticas comprendidas entre los 60 y 80 Wh/Kg. Este dato colocaría a las baterías Ni-Zn con cierta ventaja sobre la química Ni-Mh con 60 Wh/Kg de media y muy por encima de las baterías de Plomo-Acido con apenas 35 Wh/kg de densidad energética. Los sistemas microhíbridos basados en instalaciones de 48 Voltios son el principal campo de aplicación donde la química Ni-Zn pretende conseguir una rápida expansión. De este modo, el primer gran paso de la tecnología se entiende a través de la implementación de un nuevo estándar en automóviles que deje de lado el uso de instalaciones de 12 Voltios.

Pero este tipo de tecnología es muy utilizado en herramientas eléctricas, teléfonos inalámbricos, cámaras digitales, linternas y bicicletas eléctricas. Es decir, su uso está extendido a la electrónica de consumo y el sector industrial se encuentra en desarrollo, pero con altas expectativas.

#### 3.2.2.5 Batería de Níquel Hidrógeno (Ni-H)

La investigación del hidruro de níquel-metal comenzó en 1967, pero debido a los problemas de estabilidad con el metal, provocó un cambio hacia el desarrollo de Níquel-Hidrógeno. EL Ni-H utiliza un recipiente de acero para almacenar hidrógeno a 8.270 kPa. La celda incluye electrodos de níquel sólido, electrodos de hidrógeno, pantallas de gas y electrolito que se encapsulan en el recipiente presurizado.

Las principales ventajas y limitaciones se muestran a continuación:

Ventajas	Desventajas
Voltaje celda nominal 1.25V	Elevado coste
Ciclo de vida extremadamente largo	Energía específica de 40-75Wh/kg
Baja corrosión	
Autodescarga mínima	
Alto rendimiento en un amplio rango de temperaturas (-28 °C a 54 °C)	
Bajo mantenimiento	
Alta fiabilidad	

Tabla 9: Ventajas e inconvenientes de las baterías de Ni-H

Debido a sus características, se utiliza casi exclusivamente en la industria aeroespacial, ya que una sola celda cuesta miles de dólares.

Una vez han sido estudiadas todos los tipos de tecnologías basadas en Níquel, veamos un pequeño resumen con valores típicos de dicho tipo de tecnología:

### Vida útil

Batería	Expectativa de vida [años]	Expectativa de vida [ciclos]
NiCd Ventilada "Pocket Plate"	8 - 25	500 - 2000
NiCd Ventilada "Sintered Plate"	3 - 10	500 - 2000
NiCd Sellada	2 - 5	300 - 700
NiFe	8 - 25	2000 - 4000
NiZn	-	500
NiH <sub>2</sub>	-	1500 - 6000
Ni-MH	2 - 5	300 - 600

Tabla 10: Vida útil de baterías basadas en Ni

## Características técnicas

Tipo de celda	NiCd Ventilada Pocket Plate	NiCd Ventilada Sintered Plate	Ni-Cd sellada	Ni-Fe	Ni-Zn	Ni-H	Ni-MH
Tensión nominal ( $V_{DC}$ )	1.2	1.2	1.2	1.2	1.5	1.4	1.2
Tensión en circuito abierto ( $V_{DC}$ )	1.29	1.29	1.29	1.37	1.73	1.32	1.4
Tensión final de carga ( $V_{DC}$ )	1.5	1.5	1.5	1.5	2	1.5	1.5
Eficiencia (DC-a-DC)	60% ~70%	60% ~70%	60% ~70%	65% ~85%	65% ~85%	65% ~85%	65% ~85%
Temperatura de trabajo ( $^{\circ}C$ )	-20~45	-40~45	-40~45	-10~45	-10~50	0~50	-20~50
Energía específica (Wh/kg)	20	30~3	35	30	50~60	64	75
Densidad de energía(Wh/L)	40	58~96	100	55	80~120	105	240
Densidad de potencia	Alta	Alta	Moderada a alta	Moderada a baja	Alta	Moderada	Moderada a alta
Tasa de autodescarga (% por mes)	5	10	15~20	20~40	<20	Muy alta excepto a alta $T^a$	15~25

Tabla 11: Características técnicas de las baterías basadas en Ni

### 3.2.3 Baterías de Litio

El inicio de la batería basada en litio surgió en 1912 por GN Lewis, pero no fue hasta la década de los 90 cuando se empezaron a comercializar como baterías no recargables, es decir, como pilas. En 1980 se intentó realizar una batería de litio recargable, pero debido a las inestabilidades en el litio metálico utilizándolo como material de ánodo, no llegó a desarrollarse. El litio es el metal más ligero, con mayor potencial electroquímico y con mayor energía específica por peso. Lo que llevo a pensar que, si se utilizaba como electrodo negativo, podría proporcionar densidades de energía extremadamente altas. Pero se descubrió que el ciclo de carga altera el electrodo de litio reduciendo su estabilidad térmica y provocando una potencial fuga térmica. Si esto ocurre la temperatura de la celda aumentaría rápidamente y se acercaría al punto de fusión del litio, provocando un escape térmico conocido como “ventilación con llama”. Debido a esta inestabilidad, la investigación llevó a una solución no metálica utilizando iones de litio. En 1991, Sony comercializó el primer Li-ion, que aunque era de energía específica más baja que el litio-metal, es más segura siempre que se respeten los límites de tensión y corriente. Este tipo de batería tiene un bajo mantenimiento, no tiene efecto memoria y no necesita ser descargada completamente para funcionar en perfectas condiciones. La autodescarga es menos de la mitad que los acumuladores basados en níquel, el voltaje por celda nominal es de 3.6V, que puede alimentar directamente a teléfonos móviles, tablets y cámaras digitales. El principal inconveniente son los circuitos de protección para evitar el abuso y su alto precio.

El ion litio utiliza un cátodo (electrodo positivo), un ánodo (electrodo negativo) y un electrolito como conductor. El cátodo es óxido de litio metálico y el ánodo está formado por carbono poroso. Durante la descarga, los iones fluyen desde el ánodo al cátodo a través del electrolito y el separador. En la carga, se invierte la dirección y los iones fluyen desde el cátodo al ánodo. Podemos ver el proceso en la siguiente figura:

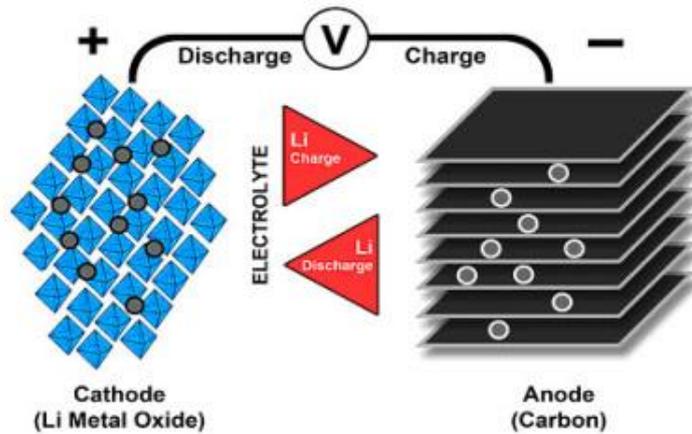


Ilustración 7: Flujo de iones en la batería de iones de litio

Dentro de las baterías de litio, se presentan variedades que son similares a primera vista puesto que todas tienen iones de litio, pero varían en rendimiento y elección de los materiales activos. La primera versión utilizaba carbón como electrodo positivo, pero a partir de 1997 cambiaron a grafito para lograr una curva de descarga más plana. A continuación, se muestra la comparativa:

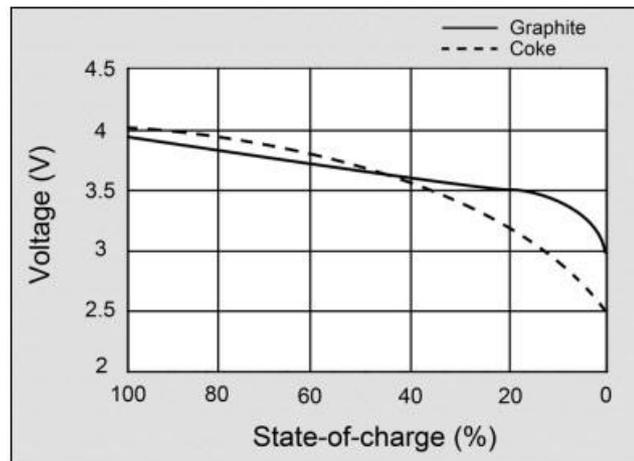


Ilustración 8: Curva de descarga de voltaje de iones de litio

Se han probado varios aditivos, incluyendo aleaciones basadas en silicio, para mejorar el rendimiento del ánodo de grafito. Se necesitan seis átomos de carbono (grafito) para unirse a un solo ion litio; un solo átomo de silicio puede unirse a cuatro iones de litio. Esto significa que el ánodo de silicio podría almacenar teóricamente más de 10 veces la energía del grafito, pero la expansión del ánodo durante la carga es un problema. Por lo tanto, los ánodos puros de silicio no son prácticos y solo el 3-5% del silicio se añade al ánodo de base de silicio para lograr un buen ciclo de vida.

El uso de titanato de litio nanoestructurado como aditivo anódico muestra un ciclo de vida prometedor, buenas capacidades de carga, excelente

rendimiento a bajas temperaturas y seguridad superior, pero la energía específica es baja y el coste es alto.

La mayoría de las baterías de iones de litio comparten un diseño similar que consiste en un electrodo positivo de óxido de litio metálico (cátodo) que está recubierto en un colector de corriente de aluminio, un electrodo negativo (ánodo) hecho de carbono / grafito recubierto en un colector de corriente de cobre, un separador y electrolito hecho de sal de litio en un disolvente orgánico. Las ventajas y limitaciones de Li-ion se muestran a continuación:

Ventajas	Limitaciones
Alta energía específica y alta capacidad de carga con células de energía	Requiere un circuito de protección para evitar el desbordamiento térmico en caso de estrés
Ciclo largo y vida útil prolongada; libre de mantenimiento	Se degrada a alta temperatura y cuando se almacena a alto voltaje
Alta capacidad, baja resistencia interna, buena eficiencia	No es posible realizar carga rápida a temperaturas de congelación (<0 °C)
Algoritmo de carga simple y tiempos de carga razonablemente cortos	Se requieren normas de transporte cuando se envían en grandes cantidades
Baja autodescarga (menos de la mitad que la de Ni-Cd y Ni-MH)	
No tienen efecto memoria	

Tabla 12: Ventajas e inconvenientes de las baterías basadas en litio

La expectativa de vida útil depende de la profundidad de descarga (DOD):

- DOD del 100% → ~3000 ciclos
- DOD entre 20% y 40% → >20000 ciclos

La curva de carga típica de este tipo de baterías es la siguiente:

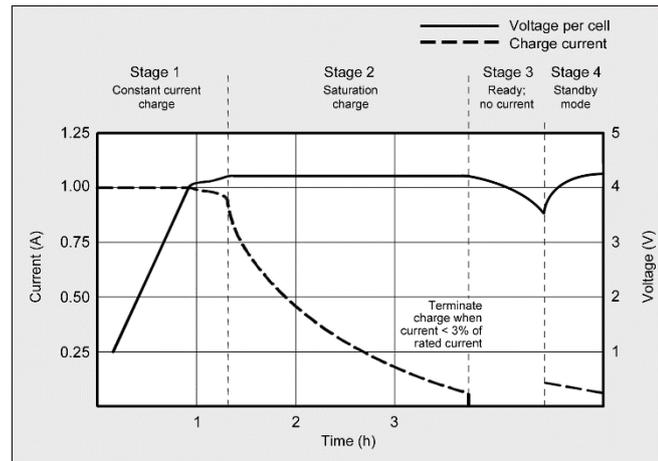


Ilustración 9: Curva de carga batería Li-ion

Esta curva es de una célula de 4.2V. Este tipo de baterías no admite la carga por goteo y el tiempo en carga se encuentra entre 1 a 3 horas. La carga completa se consigue cuando la corriente cae a un nivel establecido, la batería no admite sobrecarga.

En la siguiente gráfica podemos ver la relación entre el número de ciclos y la capacidad de descarga:

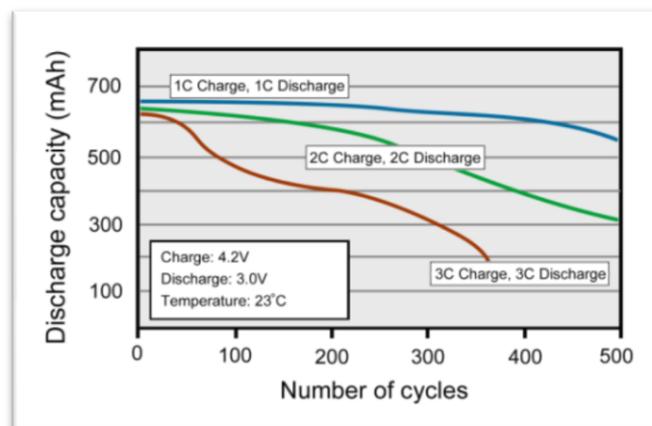


Ilustración 10: Curva de descarga Li-ion

La carga o descarga por debajo de 1C reduce la vida útil.

### 3.2.3.1 Batería de Óxido de Cobalto de Litio (LiCoO<sub>2</sub>)

La batería consta de un cátodo de óxido de cobalto y un ánodo de carbono de grafito, el cátodo tiene una estructura de capas. El inconveniente de Li-

cobalto es su vida útil relativamente corta, baja estabilidad térmica y capacidades de carga limitadas debido a su potencia específica. Este tipo de baterías no deben cargarse ni descargarse a una corriente superior a su calificación C, ya que provocan sobrecalentamiento y estrés. Necesitan circuitos electrónicos adicionales. Las principales características de este tipo de batería se muestran a continuación:

Tensiones	3.6V nominales; rango de funcionamiento 3–4.2 V/celda
Energía específica	150–2000 Wh/kg
Eficiencia	~89%
Densidad de energía	400 Wh/L
Carga (C–ratio)	0.7–1C, carga a 2.4V. 3 horas de carga típica y corriente de carga por encima de 1C acorta la vida de la batería
Descarga (C–ratio)	1C; 2.5V corte. La corriente por encima de 1C acorta la vida de la batería
Ciclo de vida	500–1000
Tasa de autodescarga (% por mes)	2
Temperatura de trabajo (°C)	-20~50
Escapes térmicos	150°C. La carga completa promueve la fuga térmica
Aplicaciones	Teléfonos móviles, tablets, portátiles, cámaras digitales.
Observaciones	Energía específica alta, potencia específica limitada. El cobalto es caro, sirve como célula de energía, la cuota del mercado se ha estabilizado

Tabla 13: Características técnicas de las baterías basadas en LiCoO<sub>2</sub>

### 3.2.3.2 Batería de Manganeso de Litio ( $\text{LiMn}_2\text{O}_4$ )

En 1996, Moli Energy comercializó una célula de Li-ion con óxido de litio y manganeso como material de cátodo. La arquitectura forma una estructura de espinela tridimensional que mejora el flujo de iones en el electrodo, que se convierte en una menor resistencia interna (permite carga rápida y descarga a alta corriente) y mejor manejo de la corriente. Pero, una alta carga continua a una corriente de unos 50 A, causaría acumulación de calor y la temperatura de la celda no puede superar los  $80^\circ\text{C}$ . También presenta una alta estabilidad térmica y mayor seguridad, pero la vida útil del ciclo y del calendario son limitadas. La estructura espinela en forma tridimensional se muestra a continuación para una mejor comprensión:

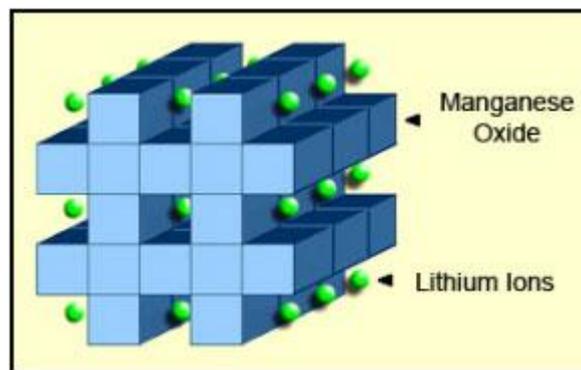


Ilustración 11: Estructura de Li-manganeso

Este tipo de batería tiene una capacidad aproximadamente un tercio más baja que el Li-cobalto, pero la flexibilidad de diseño permite maximizar la batería para una vida útil óptima, una corriente de carga máxima (potencia específica) o una alta energía específica.

Aunque las baterías de Li-manganeso puras no son comunes hoy en día, se utilizan para aplicaciones especiales como herramientas eléctricas, instrumentos médicos, así como para vehículos híbridos y eléctricos. La mayoría de las baterías de Li-manganeso se mezclan con óxido de cobalto y litio-níquel manganeso (NMC) para mejorar la energía específica y prolongar la vida útil. La mezcla NMC y LMO (Li-manganeso) se elige para la mayoría de los vehículos eléctricos como son Nissan leaf, Chevy Volt y BMW i3. La parte LMO (30% del total) proporciona un gran aumento de la aceleración de corriente y la parte NMC da el largo rango de conducción.

Un pequeño resumen de los valores típicos de las baterías Li-manganeso se muestra a continuación:

<b>Tensiones</b>	3.7V (3.8V nominales); rango típico de funcionamiento 3.0–4.2V/celda
<b>Energía específica</b>	100–150Wh/kg
<b>Carga (C–ratio)</b>	Típico de 0.7–1C, máximo 3C, carga a 4.2V
<b>Descarga (C–ratio)</b>	1C;10C posible con algunas celdas, 30C pulso (5s), con una tensión de corte de 2.5V
<b>Ciclo de vida</b>	300–700
<b>Escapes térmicos</b>	250 °C típicamente. Alta carga promueve la fuga
<b>Aplicaciones</b>	Herramientas eléctricas, dispositivos médicos, motores eléctricos
<b>Observaciones</b>	Alta potencia pero menos capacidad, más seguro que el Li-cobalto; normalmente se mezcla con NMC para mejorar el rendimiento.

Tabla 14: Características técnicas de las baterías basadas en  $\text{LiMn}_2\text{O}_4$

### 3.2.3.3 Batería de Óxido de Cobalto, Manganeso y Níquel Litio ( $\text{LiNiMnAlO}_2$ )

Es uno de los sistemas de iones de litio más exitosos debido a la combinación níquel-manganeso-cobalto (NMC) en el cátodo. Esos sistemas se pueden adaptar como células de energía o células de potencia como el Li-manganeso. El NMC es la batería de elección para herramientas eléctricas, bicicletas eléctricas y motores eléctricos. La combinación en el cátodo de estos materiales suele ser de 1/3 de cada parte, ya que así se reduce el costo de la materia prima (cobalto), aunque hay diversas combinaciones posibles. Los fabricantes de este tipo de baterías se alejan de los sistemas de cobalto hacia cátodos de níquel debido al alto coste del cobalto. Pero estos sistemas tienen una mayor densidad de energía, menor coste y vida útil más larga que las células basadas en cobalto, aunque tienen un voltaje menor.

Las características típicas de este tipo de batería son las siguientes:

Tensiones	3.6V, 3.7V nominales, rango típico de funcionamiento 3.0–4.2V/celda
Energía específica	150–220Wh/kg
Carga (C–ratio)	0.7–1C a 4.2V, algunos a 4.3V y un tiempo de carga típico de 3h. La corriente de carga por encima de 1C acorta la vida de la batería
Descarga (C–ratio)	1C;2C posible en algunas células, con una tensión de corte de 2.5V
Ciclo de vida	1000–2000
Escapes térmicos	210 °C típicamente. Alta carga promueve la fuga
Aplicaciones	E-bikes, dispositivos médicos, vehículos eléctricos, motores eléctricos industriales
Observaciones	Proporciona alta capacidad y alta potencia. Sirve como célula híbrida y la cuota del mercado está aumentando,

Tabla 15: Características técnicas de las baterías basadas en LiNiMnCoO<sub>2</sub> o NMC

#### 3.2.3.4 Batería de Litio Fosfato Hierro (LiFePO<sub>4</sub>)

En 1996 la Universidad de Texas descubrieron el fosfato como material de cátodo para baterías de litio recargables. El Li-Fosfato (LFP) ofrece un buen rendimiento electroquímico con baja resistencia, alto índice de corriente, larga vida útil, buena estabilidad térmica, mayor seguridad y tolerancia en caso de abuso. En la actualidad es uno de los materiales más utilizados como cátodo de batería de iones de litio que sustituye al cobalto y al manganeso. Es más tolerante a las condiciones de carga completa y está menos estresado que otros sistemas de iones de litio si se mantiene a alto voltaje durante un tiempo prolongado, pero tiene un menor voltaje nominal (3.2V/celda) que reduce la energía específica por debajo de la de cobalto. Como ocurre con la mayoría de las baterías, las bajas temperaturas reducen el rendimiento y las elevadas temperaturas acortan su vida útil. El fosfato de litio presenta una mayor autodescarga que otras baterías de ion de litio. Este efecto se puede

reducir comprando celdas de alta calidad o utilizando controles electrónicos sofisticados, lo que conlleva un aumento de precio.

La batería de Li-fosfato se utiliza a menudo para reemplazar la batería de arranque de plomo ácido. Cuatro celdas en serie producen 12.8V, un voltaje similar a seis celdas de plomo ácido de 2V en serie.

Las características típicas de este tipo de batería son las siguientes:

Tensiones	3.2V, 3.3V nominales, rango típico de funcionamiento 2.5--.65V/celda
Energía específica	90–120Wh/kg
Carga (C—ratio)	1C, carga a 3.65V y un tiempo de carga típico de 3h.
Descarga (C—ratio)	1C;25C posible en algunas células; Pulso de 40A (2s), con una tensión de corte de 2.5V(más bajo de 2V causa daño)
Ciclo de vida	1000–2000
Escapes térmicos	270 °C Batería muy segura incluso si está completamente cargada
Aplicaciones	Vehículos eléctricos pequeños, barcos de pequeño tamaño, carritos de golf, células fotovoltaicas, ordenadores portátiles, UPS
Observaciones	Proporciona alta capacidad y alta potencia. Sirve como célula híbrida y la cuota del mercado está aumentando,

Tabla 16: Características técnicas de las baterías basadas en LiFePO4 o LFP

### 3.2.3.5 Batería de Óxido de Aluminio de Cobalto y Níquel Litio (LiNiCoAlO2)

Esta batería conocida como NCA, existe desde 1999 para aplicaciones especiales. Tiene muchas similitudes con la NMC al ofrecer alta energía

específica, potencia específica razonablemente buena y una larga vida útil, aunque tiene menos seguridad y mayor precio.

Las características típicas de este tipo de batería son las siguientes:

Tensiones	3.6V, rango típico de funcionamiento 3.0–4.2V/celda
Energía específica	200–260Wh/kg; 300Wh/kg predecible
Carga (C–ratio)	0.7C, carga a 4.2V, 3h de carga típica, posible carga rápida con algunas celdas
Descarga (C–ratio)	1C típico; Corte de 3V; alta tara de descarga acorta la vida
Ciclo de vida	500
Escapes térmicos	150°C típico, alta carga promueve la fuga
Aplicaciones	Dispositivos médicos, industrial, propulsión eléctrica (Tesla)
Observaciones	Comparte similitudes con el Li-cobalto. Sirve como célula de energía

Tabla 17: Características técnicas de las baterías basadas en LiNiCoAlO<sub>2</sub> o NCA

### 3.2.3.6 Batería de Titanato de Litio (Li<sub>4</sub>Ti<sub>5</sub>O<sub>12</sub>)

Las baterías con ánodos de titanato de litio se conocen desde los años 80. Reemplazan al grafito en el ánodo de una batería típica de iones de litio y el material se forma en una estructura de espinela. El cátodo puede ser óxido de manganeso de litio o NMC. El titanato de litio (LTO) tiene un número de ciclos más alto que el de un ion de litio regular. Es más seguro, tiene excelentes características de descarga a baja temperatura y obtiene una capacidad del 80% a -30°C. Tiene ventajas sobre el ion de litio con cobalto mezclado con el ánodo de grafito al lograr una propiedad de deformación cero y sin recubrimiento de litio cuando se carga rápidamente y se carga a baja temperatura. La estabilidad térmica a alta temperatura es mejor que en otros sistemas de iones, pero hace que esta batería sea cara.

Las características típicas de este tipo de batería son las siguientes:

<b>Tensiones</b>	Nominal de 2.4V, rango típico de funcionamiento 1.8–2.85V/celda
<b>Energía específica</b>	50–80Wh/kg
<b>Carga (C–ratio)</b>	1C típico, Máximo 5C, carga a 2.85V
<b>Descarga (C–ratio)</b>	10C posible, 30C 5s pulso; Corte de 1.8V en LCO/LTO
<b>Ciclo de vida</b>	3000–7000
<b>Escapes térmicos</b>	Una de las baterías de ion de litio más seguras
<b>Aplicaciones</b>	UPS, tren de potencia eléctrico (Mitsubishi i-MiEV, Honda Fit EV), alumbrado público con energía solar
<b>Observaciones</b>	Larga vida útil, carga rápida, amplio rango de temperatura, pero baja energía específica y costosa. Entre las baterías de ion-litio más seguras.

Tabla 18: Características técnicas de las baterías basadas enLi4Ti5O12 o LTO

### 3.2.3.7 Polímero de Litio

Son una variación de las baterías de iones de litio que puede estar basada o no en polímero. La palabra polímero se entiende como un plástico, los polímeros van desde plásticos sintéticos hasta biopolímeros naturales y proteínas que forman estructuras biológicas fundamentales. Este sistema se diferencia en que el electrolito utilizado, es un electrolito de polímero sólido (seco) que se asemeja a una película de plástico. Este plástico permite el intercambio iones y reemplaza el separador poroso tradicional empapado con electrolito. Este polímero sólido tiene una mala conductividad a temperatura ambiente y la batería debe calentarse a 60°C o más para permitir el flujo de corriente. Este tipo de baterías se utilizó para aplicaciones estacionarias que necesitaban calefacción, pero han desaparecido.

Para que este tipo de batería sea utilizada a temperatura ambiente, se ha agregado electrolito gelificado. En la actualidad este tipo de baterías

incorporan un separador microscópico con algo de humedad y la mayoría de los paquetes de polímero de litio son a base de cobalto, aunque se puede agregar otro material activo.

El polímero de litio es único porque un electrolito micro poroso reemplaza al separador poroso tradicional. El polímero de litio ofrece una energía específica ligeramente mayor y puede hacerse más delgado que el ion de litio convencional, pero el costo de fabricación es más alto. El polímero de litio viene en un estuche flexible a diferencia del Li-ion estándar que necesita una caja rígida para juntar los electrodos. Esto permite crear láminas de polímero de Li que no necesitan compresión, reduciendo el peso en más de un 20%. Al poder adoptar cualquier forma, y bajo peso se utiliza para equipos pequeños que requieran potencia y duración como teléfonos móviles y tablets. Entre sus características destacan:

- Peso ligero.
- Alta potencia específica.
- Las características de carga y descarga del polímero de litio son idénticas a otros sistemas de iones de litio y no requieren cargador específico.
- Resistentes a sobrecargas y conllevan menor riesgo de fugas electrolito.
- Más caras que las de Litio-ion.
- Los problemas de seguridad son similares debido a que necesitan circuitos de protección.
- La acumulación de gas durante la carga puede hacer que algunas celdas prismáticas y de la bolsa se hinchen, con lo que los fabricantes deben permitir la expansión.
- No tienen problema de inflamabilidad.

La siguiente ilustración hace una comparativa con la energía específica de las baterías a base de plomo, níquel y litio:

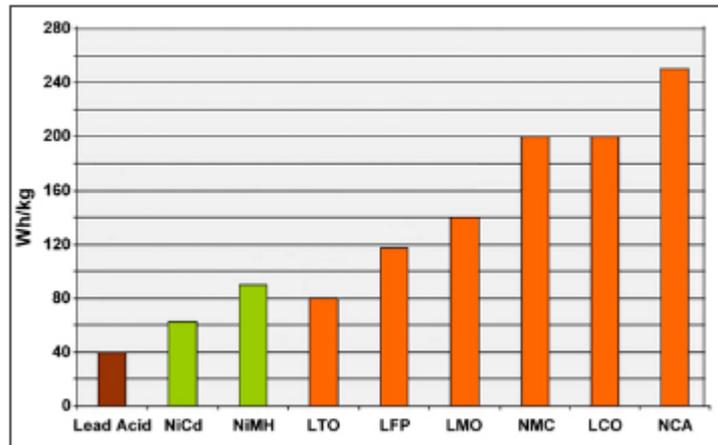


Ilustración 12: :Energía específica típica de baterías a base de plomo, níquel y litio.

La batería NCA (Óxido de aluminio de cobalto y níquel litio) tiene la energía específica más alta; sin embargo, el manganeso y el fosfato son superiores en términos de potencia específica y estabilidad térmica. La batería Li-titanato tiene la mayor vida útil.



### 3.2.4 Baterías alternativas

#### 3.2.4.1 Batería de Sulfuro de Sodio

Durante los años 60 se descubrió el potencial de este tipo de acumuladores debido a sus buenas características en cuanto a densidad de energía / potencia, eficiencia, coste de materiales y expectativa de vida. Actualmente este tipo de baterías solo lo fabrica la compañía japonesa NGK.

El electrodo negativo de sodio se encuentra en el centro rodeado de electrolito sólido de beta-alúmina (BASE, beta-alumina solid electrolyte), que a la vez se encuentra rodeado del electrodo positivo de sulfuro.

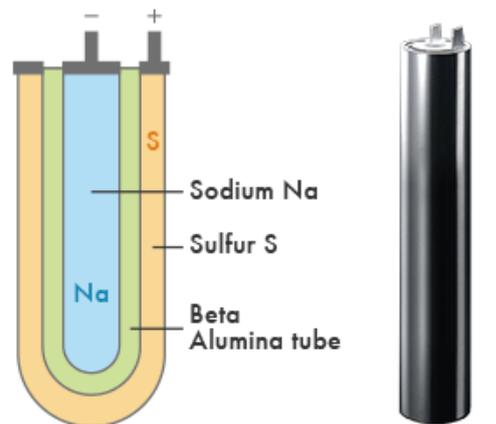


Ilustración 13: Celda NAS (página web de NGK)

La compañía NGK ha diseñado este tipo de celdas para su uso en dos tipos de módulos:

-Módulo NAS PS (Peak Shaving): está diseñado para descargas de larga duración y celdas de tensión pequeñas. Cada módulo dispone entre 320 y 384 celdas dispuestas en forma matricial de 8 celdas, suministrando una tensión de salida del módulo de 64 a 128 V<sub>DC</sub>.

-Módulo NAS PQ (Power Quality): está diseñado para un suministro de potencia pulsante. Cada módulo dispone de 320 celdas conectadas en serie, convirtiéndose en una tensión de salida de 640 V<sub>DC</sub>.

Cada módulo dispone además de un calentador eléctrico para mantener la temperatura mínima de 290 °C en función de la aplicación. A continuación se muestra una batería de este tipo:

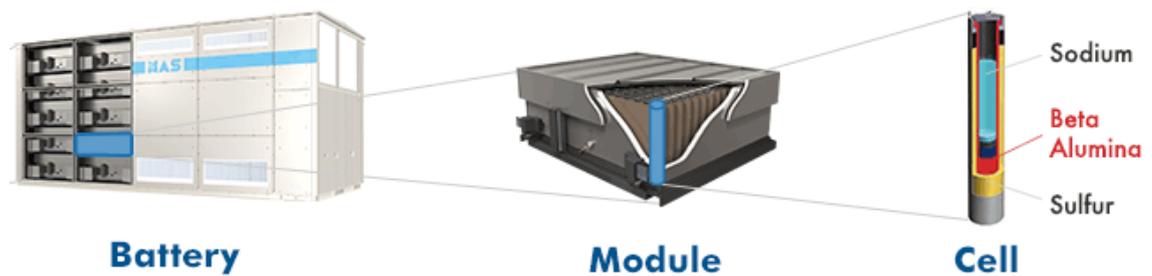


Ilustración 14: Batería tipo NAS

Las características técnicas de este tipo de baterías (por celda) son las siguientes:

Tensión nominal ( $V_{DC}$ )	2
Tensión en circuito abierto ( $V_{DC}$ )	2.08
Eficiencia	~89%
Energía específica (Wh/kg)	170
Densidad de energía (Wh/L)	345
Temperatura de trabajo ( $^{\circ}C$ )	300~350
Peso de celda (kg)	5.5

Tabla 19: Características técnicas baterías NAS

La vida útil de este tipo de celdas depende de la profundidad de descarga a la que sean sometidas dichas baterías.

Las principales ventajas y limitaciones de este tipo de baterías se muestran a continuación:

Ventajas	Desventajas
Larga vida útil	Alta eficiencia
Baja tasa de autodescarga	Muy elevada temperatura de trabajo
Alta energía específica y densidad de energía	Elevado coste
No presenta efecto memoria	

Tabla 20: Ventajas e inconvenientes de las baterías NAS

Las baterías NAS pueden almacenar grandes cantidades de energía y descarga durante largos períodos de tiempo, y pueden configurarse para implementaciones a gran escala. Por lo tanto, las baterías NAS son adecuadas para aplicaciones en la red eléctrica, como el cambio de energía de las energías renovables desde la hora pico hasta la hora punta, la gestión de la red de transmisión y distribución (T&D) y la nivelación de la carga.

### 3.2.4.2 Celda de combustible

Es un dispositivo electroquímico que combina combustible de hidrógeno con oxígeno para producir electricidad, calor y agua. Es similar a una batería en que se produce una reacción electroquímica siempre que haya combustible. El hidrógeno se almacena en un recipiente presurizado y el oxígeno se toma del aire. Debido a la ausencia de combustión, no hay emisiones dañinas y el único subproducto es el agua pura.

Una celda de combustible es una electrólisis en reversa utilizando dos electrodos separados por un electrolito. El ánodo recibe hidrógeno y el cátodo recoge oxígeno. Un catalizador en el ánodo separa el hidrógeno en iones de hidrógeno cargados positivamente y electrones. El oxígeno se ioniza y migra a través del electrolito al compartimento anódico, donde se combina con el hidrógeno. Una sola celda de combustible produce 0.6-0.8V bajo carga.

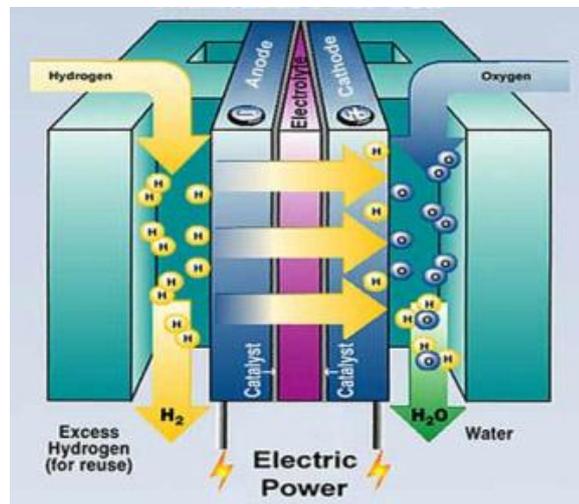


Ilustración 15: Celda de combustible

El problema principal de este tipo de baterías, es la obtención del hidrógeno. Aunque constituye el 90% del universo, está unido a otras sustancias y separarlo consume energía. En términos de valor calorífico neto, el hidrógeno es más costoso de producir que la gasolina. Se dice que necesita tanta energía para producir como la que se entrega en el destino final. Además, el almacenamiento es otra desventaja, ya que requiere tanques presurizados de

acero o si se almacena en forma líquida, necesita un aislante para guardar el frío. Otro inconveniente es el alto coste del núcleo de la pila y su vida útil.

A continuación, se muestran los tipos de celdas más comunes:

Tipo de celda de combustible	Aplicaciones	Temperatura central eficiencia	Ventajas	Desventajas
<b>Membrana de intercambio de protones (PEMFC)</b>	Portátiles, estacionarias y de automoción	50–100 °C; 80 °C típico; 35–60% de eficiencia	Diseño compacto, larga vida útil, inicio rápido, bien desarrollado	Catalizador caro; necesita combustible de grado químico; Control complejo de calor y agua
<b>Alcalina (AFC)</b>	Espacio, militar, submarinos, transporte	90–100 °C; 60% eficiencia	Partes bajas y costes de operación; no utiliza compresor; Cinética de cátodo rápido	Gran tamaño; sensible a las impurezas de hidrógeno y oxígeno
<b>Carbonato fundido (MCFC)</b>	Gran generación de energía	600–700 °C; 45–50% eficiencia	Alta eficiencia; Tolerancia a las impurezas del combustible; cogeneración	Alto calor causa corrosión, larga puesta en marcha, corta vida útil
<b>Ácido fosfórico (PAFC)</b>	Generación de energía de medio a grande	150–200 °C; 40% eficiencia	Buena tolerancia a las impurezas de combustible; cogeneración	Baja eficiencia; ciclo de vida limitado; catalizador caro

<b>Óxido sólido (SOFC)</b>	Generación de energía de medio a grande	700–1000 °C; 60% eficiencia	Tolerante a impurezas de combustibles; Puede utilizar gas natural y alta eficiencia	Alto calor causa corrosión, larga puesta en marcha, corta vida útil
<b>Metanol directo (DMFC)</b>	Portátil, uso móvil y estacionario	40–60 °C; 20% eficiencia	Compacto; no utiliza compresor; se alimenta de metanol	Pila compleja de respuesta lenta; baja eficiencia

Tabla 21: Tipos de celda de combustible más comunes

Las limitaciones implican tiempos de arranque lentos, baja potencia de salida, respuesta lenta en la demanda de potencia, capacidades de carga deficientes, ancho de banda de potencia reducido, vida útil corta y alto coste. Al igual que las baterías, el rendimiento de todas las celdas de combustible se degrada con la edad y la pila pierde eficiencia gradualmente.

Las celdas de combustible por debajo de 1kW normalmente no están presurizadas y solo usan un ventilador para ayudar en el suministro de oxígeno; las celdas de combustible por encima de 1kW están presurizadas e incluyen un compresor que reduce la eficiencia y el sistema puede volverse bastante ruidoso. La resistencia interna relativamente alta de las celdas de combustible plantea un desafío adicional. Cada celda de una pila produce aproximadamente 1 voltio en circuito abierto; una carga pesada provoca una caída de voltaje notable. Al igual que la batería, el ancho de banda de energía disminuye con la edad.

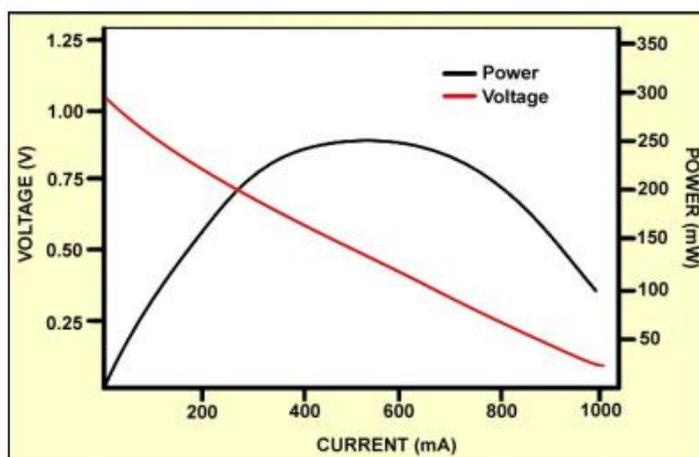


Ilustración 16: Banda de potencia de una celda de combustible portátil

Pero este tipo de tecnología está aún en estudio debido a la dificultad de conseguir el combustible, hidrógeno. Es costoso y las dificultades de almacenamiento ha hecho que no se haya desarrollado mucho esta tecnología.

#### 3.2.4.3 Batería de Aire Zinc

Este tipo de batería genera energía eléctrica mediante un proceso de oxidación de zinc y oxígeno del aire. La célula puede producir 1.65V, pero realmente produce 1.4V y voltajes más bajos aumentan la vida útil. Para activar la batería, el usuario debe despegar una pestaña para permitir el flujo de aire, alcanzando el voltaje completo de funcionamiento a los 5 segundos. El flujo del aire controla la velocidad de la reacción, pero una vez comience el proceso, no se puede parar. Si se cierra la pestaña del aire, retardará la actividad química y la batería se secará.

Este tipo de tecnología comparte similitudes con la celda de combustible (PEMFC) debido a que utiliza oxígeno del aire para alimentar el electrodo positivo. Este tipo de tecnología se considera una batería primaria, aunque se han probado versiones recargables para aplicaciones de alta potencia. La recarga se produce al cambiar los electrodos de zinc gastados.

Tiene una alta energía específica, 300–400 Wh/kg, pero tiene una potencia específica baja. El coste de fabricación es bajo y presenta una autodescarga de 2% al año. La batería es sensible a temperaturas frías y calientes y alta humedad. La contaminación afecta al rendimiento ya que el dióxido de carbono aumenta la resistencia interna.

Las aplicaciones típicas son audífonos, mientras que los grandes sistemas operan la señalización ferroviaria remota y las lámparas de seguridad en la construcción.

#### 3.2.4.4 Batería de Plata Zinc

Las baterías pequeñas con base de plata en las celdas de los botones se llaman típicamente óxido de plata y no son recargables, mientras que las baterías recargables de mayor capacidad se conocen como plata-zinc. Ambos tienen un voltaje de circuito abierto de 1.6V.

Debido al alto coste de la plata, estas baterías son de tamaños muy pequeñas donde este material no encarece el coste total de la batería, o las baterías de gran tamaño contienen más plata, pero el rendimiento supera la consideración de coste.

Las baterías primarias se utilizan en relojes, audífonos y respaldo de memoria. La versión recargable más grande se utiliza en submarinos, misiles y aplicaciones aeroespaciales. Este tipo de batería también se utiliza en cámaras de televisión que necesitan un tiempo de ejecución adicional.

EL alto coste y la corta vida útil excluyeron del mercado a este tipo de batería. Pero con las mejoras en el electrodo y el separador de zinc prometen una vida útil más larga y una energía específica 40% más alta que el Li-ion. Además, plata-zinc es seguro ya que no tiene metales tóxicos y se puede reciclar. El principal inconveniente es que el uso de la plata encarece el coste de fabricación.

#### 3.2.4.5 Batería Alcalina recargable

Este tipo de batería sirvió como alternativa a las baterías desechables. Aunque los costes de fabricación eran similares a las alcalinas regulares, el consumidor no aceptó el producto. Aunque la recarga de este tipo de baterías no es nueva, los fabricantes no aconsejan dicha práctica debido a que pueden generar gas hidrógeno que pueden provocar una explosión.

Las baterías de NiMH en células AA y AAA han reemplazado el alcalino reutilizable.

#### 3.2.4.6 Supercondensador

El supercondensador, también conocido como ultracondensador o condensador de doble capa, se diferencia con un condensador regular en que tiene una capacidad muy alta. Esto es debido a que disponen de un dieléctrico formado por carbono en polvo, nanocarbono, que le proporciona la mejor relación posible entre superficie y volumen. Esto le proporciona mucha versatilidad, por lo que se pueden fabricar en diferentes tamaños, desde el tamaño de un sello para los móviles hasta grandes tamaños para vehículos híbridos. Sus componentes son biodegradables y apenas tóxicos (no emplean cobalto). Estos dispositivos funcionan polarizando una solución electrolítica, lo que permite el almacenamiento de energía eléctrica de forma estática.

Aunque se trata de un dispositivo electroquímico, en su interior no se dan reacciones químicas.

Los condensadores guardan la energía como un campo eléctrico, haciéndoles más eficaces que las baterías, ya que la energía proviene de reacciones químicas. Los ultracondensadores son celdas de almacenamiento basadas en un condensador, que pueden proporcionar rápidas y masivas entradas-salidas de energía en forma de pico. Por ello este tipo de tecnología es adecuado en automoción, donde se le puede dar múltiples usos como el frenado regenerativo.

El ultracondensador ha evolucionado y se acerca a la tecnología de baterías mediante el uso de electrodos y electrolitos especiales. El condensador básico electroquímico de doble capa (EDLC) depende de la acción electrostática, el condensador asimétrico electroquímico de doble capa (AEDLC) utiliza electrodos similares a baterías para ganar una mayor densidad de energía, pero tiene una vida útil más corta y otras cargas que se comparten con el batería. Los electrodos de grafeno prometen mejoras a supercondensadores y las baterías, pero este avance se está desarrollando.

Todos los condensadores tienen límites de voltaje. Mientras que el condensador electrostático se puede hacer para soportar altos voltios, el ultracondensador se limita a 2.5–2.7V. Son posibles voltajes de 2.8V y mayores, pero reduce su una vida útil reducida. Para obtener voltajes más altos se conectan en serie varios ultracondensadores, lo que reduce la capacitancia total y aumenta la resistencia interna. Las cadenas de más de tres condensadores requieren equilibrio de voltaje para evitar que cualquier celda entre en exceso de voltaje. Las baterías de iones de litio comparten un circuito de protección similar. A continuación, se muestra la curva de carga y descarga de un ultracondensador:

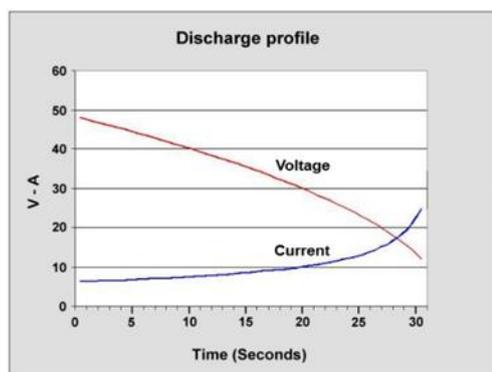


Ilustración 18: Perfil de descarga de un ultracondensador

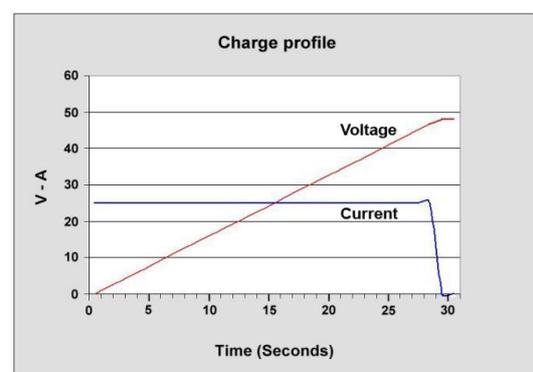


Ilustración 17: Perfil de carga de un ultracondensador

El tiempo de carga de un ultracondensador es de 1 a 10 segundos, la característica de carga es similar a una batería electroquímica y la corriente de carga está limitada por la capacidad de manejo de corriente del cargador. Se deben tomar medidas para limitar la corriente de entrada al cargar un supercondensador vacío, ya que absorberá todo lo que pueda. El supercondensador no está sujeto a sobrecargas y no requiere detección de carga completa; la corriente simplemente deja de fluir cuando está llena.

La siguiente tabla compara el ultracondensador con un ion-litio típico:

Función	Ultracondensador	Ion-litio
Tiempo de carga	1–10 segundos	10–60 minutos
Ciclo de vida	1 millón o 30000 h	500 y superior
Voltaje de celda	2.3 a 2.75V	3.6V nominales
Energía específica (Wh/kg)	5	120–240
Potencia específica (W/kg)	Más de 10000	1000–3000
Coste por kWh	10000\$	250–1000 \$
Vida útil	10-15 años	5 a 10 años
Temperatura de carga	-40 a 65 °C	0 a 45 °C
Temperatura de descarga	-40 a 65 °C	-20 a 60 °C

Tabla 22: Comparación ultracondensador e ion-litio típico

La autodescarga de un ultracondensador es sustancialmente más alta que en la de un condensador electrostático y algo más alta que una batería electroquímica, de 100 a 50% de 30 a 40 días.

Hay que tener en cuenta que el ultracondensador no es un reemplazo de batería para almacenar energía a largo plazo. Son ideales cuando se necesita una carga rápida para satisfacer una necesidad de energía a corto plazo, mientras que las baterías son elegidas para proporcionar energía a largo plazo. La combinación de los dos en una batería híbrida satisface ambas necesidades y reduce la tensión, que dará una vida útil más larga. Los ultracondensadores son más efectivos para cubrir las brechas de energía que duran desde unos pocos segundos hasta unos pocos minutos y se pueden recargar rápidamente. Un volante ofrece cualidades similares, por lo que es

utilizado en trenes. Los ultracondensadores también han hecho incursiones críticas en los propulsores eléctricos. La virtud de la carga ultrarrápida durante el frenado regenerativo y la entrega de alta corriente en la aceleración hacen que el ultracondensador sea ideal como potenciador de carga máxima para vehículos híbridos, así como para aplicaciones de celdas de combustible. Su amplio rango de temperatura y larga vida ofrece una ventaja sobre la batería. Los ultracondensador tienen una energía específica baja y son costosos en términos de costo por vatio.

En la siguiente tabla se muestran las principales ventajas y limitaciones de este tipo de tecnología:

Ventajas	Desventajas
Ciclo de vida virtualmente ilimitado, puede ser ciclado millones de veces	Baja energía específica; tiene una fracción de una batería regular
Alta potencia específica, baja resistencia permite altas corrientes de carga	La tensión de descarga lineal evita utilizar todo el espectro de energía
Carga en segundos, no se requiere fin de carga	Alta autodescarga, más alta que en la mayoría de baterías
Seguro, flexible al abuso	Bajo voltaje de celda, requiere de conexiones en serie con balanceo de voltaje
Excelente rendimiento de carga y descarga a baja temperatura	Alto coste por vatio

Tabla 23: Ventajas e inconvenientes de los ultracondensadores

(Bardo Cáceres Sebastián, 2010)(«Basic to Advanced Battery Information from Battery University», s. f.) (TAB, s. f.) («DEPARTAMENTO DE ELECTRÓNICA», s. f.) (Technosun, s. f.) («Baterías de Plomo y Acido – Ayuda Electronica | Circuitos Electronicos, Ingenieria Electronica», s. f.) («NAS ENERGY STORAGE SYSTEM: Sodium Sulfur Battery», s. f.) («Battery Maintenance Systems, Analyzers, Testers, Chargers and Battery Packs | Cadex Electronics», s. f.) («Baterías de níquel-zinc para superar la duración y seguridad de las de iones de litio», 2017) («Hella apuesta por las baterías Ni-Zn de PowerGenix para híbridos y microhíbridos», s. f.) («Typical Applications for LiFePO4 Batteries», s. f.)

### 3.3 Aplicaciones

Una vez hemos estudiado los diferentes tipos de tecnologías en las baterías, vamos a estudiar las principales aplicaciones industriales antes citadas y discutiremos que opción de tecnología es mejor. A modo resumen se incluyen las siguientes tablas con las diferentes aplicaciones:

Tipo de tecnología	Subtipo		Aplicaciones
Plomo ácido	VLA	Arranque	Arrancar automóviles y vehículos diésel y gasolina (coches, motos, camiones y autobuses). Maquinaria agrícola e industrial y especial para uso en aplicaciones aeronáuticas
		Tracción	Boogies, carros de golf, automóviles eléctricos, vehículos para la movilidad reducida, sillas de ruedas, radiocontrol y coches y motos de juguete. Traspaletas, carretillas elevadoras, plataformas elevadoras o fregadoras, barredoras
		Estacionarias	Industria náutica y caravanas o furgonetas tipo Camper. Energías renovables, SAIs, sistemas de telecomunicaciones,

			alarmas, sistemas de emergencia o señalización
	VRLA		Coches, Sillas de ruedas, scooters, carros de golf y SAIs

Tabla 24: Resumen aplicaciones baterías basadas en Plomo ácido

Tipo de tecnología	Subtipo	Aplicaciones
Níquel	NiCd	Sector industrial, aerolíneas
	NiMH	Industria de consumo, vehículos eléctricos y electrónica de gran consumo
	NiFe	Minería, señalización ferroviaria, carretillas elevadoras y aplicaciones estacionarias
	NiZn	Herramientas eléctricas, teléfonos inalámbricos, cámaras digitales, linternas, bicicletas eléctricas
	NiH	Industria aeroespacial

Tabla 25: Resumen aplicaciones baterías basadas en Níquel

Tipo de tecnología	Subtipo	Aplicaciones
Litio	LCO	Teléfonos móviles, tablets, portátiles, cámaras digitales
	LMO	Herramientas eléctricas, dispositivos médicos, motores eléctricos
	NMC	Bicicletas eléctricas, dispositivos médicos, vehículos eléctricos, motores eléctricos industriales
	LFP	Vehículos eléctricos pequeños, barcos de pequeño tamaño, carritos de golf, células fotovoltaicas, ordenadores portátiles, SAls
	NCA	Dispositivos médicos, industrial, propulsión eléctrica (Tesla)
	LTO	SAls, tren de potencia eléctrico (Mitsubishi i-MiEV, Honda Fit EV), alumbrado público con energía solar
	Polimero de Litio	Teléfonos móviles, tablets. Aplicaciones estacionarias que necesitan calefacción

Tabla 26: Resumen aplicaciones baterías basadas en Litio

Tipo de tecnología	Subtipo		Aplicaciones
Baterías alternativas	Sulfuro de Sodio		Aplicaciones de red eléctrica
	Celda de combustible	PEMFC	Portátiles, estacionarias y de automoción
		AFC	Espacio, militar, submarinos y transporte
		MCFC	Gran generación de energía
		PAFC	Generación de energía de medio a grande
		SOFC	Generación de energía de medio a grande
		DMFC	Portátil, uso móvil y estacionario
	Aire -zinc		Audífonos, señalización ferroviaria remota y lámparas de seguridad en la construcción
	Plata-zinc	Primarias	Relojes, audífonos y respaldo de memoria
		Secundarias	Submarinos, misiles, aplicaciones aeroespaciales
Alcalina recargable		Reemplazadas por NiMH	

	Supercondensador	Trenes, vehículos eléctricos y celdas de combustible
--	------------------	--

Tabla 27: Resumen aplicaciones baterías alternativas

Vamos a analizar más en profundidad las principales aplicaciones industriales, para ello iremos viendo las necesidades de cada una de las aplicaciones.

### 3.3.1 Automóviles

El primer sub-apartado que trataremos son los automóviles, ya que según la rae, un automóvil es un vehículo que puede ser guiado para marchar por una vía ordinaria sin necesidad de carriles y llevan un motor, generalmente de combustión interna o que eléctrico que lo propulsa. Dichos vehículos necesitan un almacenamiento de energía eléctrica, por lo que utilizan baterías.

- **Batería de arranque plomo-ácido:** Este tipo de baterías es la más utilizada y la más antigua de todas. Su bajo coste las hace ideales para las funciones de arranque, iluminación o soporte eléctrico, siendo utilizadas como acumuladores de vehículos de pequeño tamaño. También se utilizan baterías de tracción plomo-ácido para vehículos eléctricos.
- **Batería níquel cadmio:** Es muy utilizada en la industria del automóvil, pero el alto coste de adquisición de sus elementos hace que no sean las soluciones elegidas por los fabricantes, ya que están más orientadas a aviones, helicópteros o vehículos militares, por su gran rendimiento a bajas temperaturas.
- **Batería níquel hierro:** no se utilizan actualmente en los vehículos por su escasa potencia y eficiencia.
- **Batería Ion-litio (LCO):** representan hoy en día la mejor elección para montar un VE, por las ventajas e inconvenientes representadas en el capítulo 3. Esta tecnología se está desarrollando continuamente, por lo que tienen un horizonte de desarrollo muy amplio.
- **Batería LFP:** es muy parecida al LCO, con la diferencia de no uso de cobalto. Tienen un ciclo de vida más largo y una mayor potencia, pero tienen menor densidad energética y un alto coste.

- **Batería Polímero de litio:** como ya comentamos, es una variación de las Ion-litio, pero debido a su alto coste, bajo ciclo de vida y su aspecto “blando” debido a sus componentes litio y polímero, esta opción no está muy extendida en la actualidad.

Estas son las principales baterías que utilizan los automóviles. Los basados en motores de gasolina o diesel utilizan baterías de plomo ácido por las razones ya comentadas anteriormente. Sin embargo, los vehículos híbridos o eléctricos utilizan otro tipo de baterías que serán estudiadas en otro capítulo más adelante.

### 3.3.2 SAI o UPS

SAI es un acrónimo de Sistema de Alimentación Ininterrumpida (en inglés UPS, Uninterruptible power supply), y lo que se consigue con ello es asegurar el funcionamiento de un equipo cuando deja de haber suministro eléctrico. Esto se consigue gracias al empleo de una batería que se activa en el momento que se detecta la caída de tensión, evitando así la pérdida de datos y problemas en el hardware a veces irreparables.

Debemos definir primero que es un AVR, puesto que muchos SAIs lo tienen. El AVR (Automatic Voltage Regulator) es un regulador de voltaje, es decir, un equipo que acepta un rango de voltaje de entrada variable, pero suministra una tensión constante en su salida. Regulan el flujo eléctrico, controlando las subidas y bajadas de tensión (picos) que se dan en la red eléctrica. Este equipo no dispone de baterías como los SAIs, por lo que su función es únicamente estabilizar la tensión y no proveer de energía frente a apagones.

Dependiendo de los modelos, también pueden regular el flujo eléctrico de mala calidad, controlando las subidas y bajadas de tensión (picos) que se dan en la red eléctrica y eliminando armónicos de la red para conseguir una alimentación más estable que ayuda a maximizar la vida útil de los equipos que protegen. Los SAIs son usados normalmente para proteger ordenadores, equipos de telecomunicaciones y en general, cualquier tipo de equipamiento eléctrico.

Podemos encontrar 3 tipos de tecnología SAI:

- SAIs Off-Line

En un SAI Off-Line la corriente eléctrica está pasando sin ningún filtro a los dispositivos, ya que no disponen de AVR integrado. El SAI únicamente empezará a funcionar cuando detecte un fallo de corriente, en ese momento,

casi instantáneamente comenzará a suministrar la energía que ha ido almacenando en sus baterías. Estos SAIs son solo recomendables para las zonas que disponen de una red estable ya que, al no realizar ningún tipo de filtrado de corriente, solo protegen ante una interrupción brusca de la corriente. Las principales aplicaciones son zonas con pocas perturbaciones y red eléctrica de buena calidad.

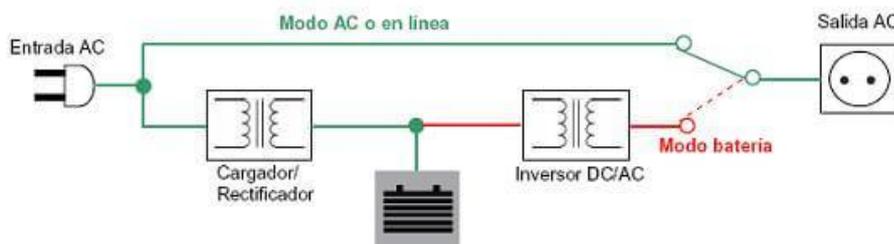


Ilustración 19: Diagrama de funcionamiento de un SAI Off-Line

- SAIs interactivos

Un SAI Interactivo es parecido al SAI Off-Line pero incorpora un microprocesador que controla las fluctuaciones de la red en  $\pm 15\%$ , regulando la tensión de salida (efecto Buck/Boost AVR Integrado). Este proceso de filtrado y mejora continua de la corriente que llega a los dispositivos conectados al SAI, se realiza sin que entren a funcionar las baterías, por lo que la protección con un SAI interactivo es mayor aún sin sufrir apagones. En el momento en que se detecta un corte de corriente empiezan a funcionar casi instantáneamente las baterías para evitar que el ordenador se apague. Debido a sus características técnicas y rango de precios, el SAI interactivo es el considerado como adecuado para equipos de gama baja y media. Las principales aplicaciones son: Ordenadores gama media y baja, consolas de juegos, pequeños servidores de redes, equipos de oficina, etc.

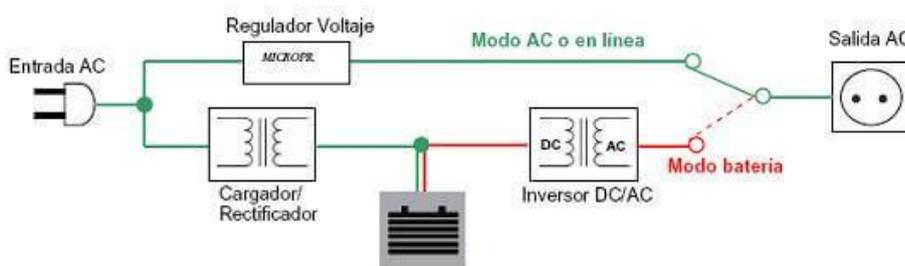


Ilustración 20: Diagrama de funcionamiento de un SAI Interactivo

- SAIs OnLine

El SAI On-Line realiza una doble conversión de la energía eléctrica que recibe, transformándola en continua y después a alterna de nuevo, eliminando de esta manera todos los problemas que pueda tener. Un SAI On-Line siempre proporciona energía eléctrica directamente desde sus baterías mientras éstas se van cargando de la red, y esto es lo que garantiza que la protección contra cualquier problema de la red eléctrica sea total. Debido a su alta fiabilidad, la tecnología On-Line ocupa el sector profesional en el mercado de SAIs y está generalmente destinada a proteger servidores, equipos industriales o cualquier instalación informática que por su importancia o coste necesite la seguridad de no verse afectados por problemas derivados de la red eléctrica. Las principales aplicaciones son: servidores, clusters de equipos, y en general instalaciones informáticas críticas o imprescindible (redes de datos, servidores, telecomunicaciones, industria, etc.).

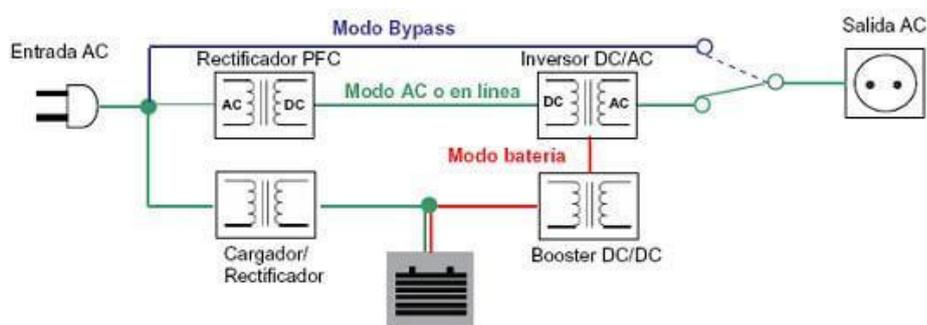


Ilustración 21: Diagrama de funcionamiento de un SAI Online

Los SAIs utilizan normalmente baterías plomo ácido (AGM) sellada y regulada o VLRA, pero utilizar baterías de Ion-Litio puede mejorar algunos de los aspectos que suponen un reto para la gestión de los SAIs, como espacio, capacidad de almacenamiento, etc. La química de la que se componen las baterías determina, en gran medida, la capacidad de rendimiento de la batería.

En el mercado hay una gran variedad de baterías basadas en litio, que han sido estudiadas en el capítulo anterior. Los fabricantes de SAIs deben elegir el diseño y calidad apropiada según la aplicación y deben hacer que las características de su sistema sean abiertamente disponibles.

Las baterías de Li-ion son más pequeñas, más ligeras, se recargan más rápido y tienen una vida útil dos veces más larga que las baterías de plomo ácido. Aunque, son más caras (de 1,5 a 3 veces más), pero su rentabilidad es muy evidente: una batería de ion de litio puede durar hasta 10-15 años frente

a los 4-6 años de las baterías habituales. Esto quiere decir, que los sistemas que utilicen Li-Ion necesitarán uno o ningún cambio durante su ciclo de vida, a diferencia de las baterías tradicionales que necesitarán de 2-3 cambios.

Aunque el coste inicial de las baterías de Li-ion siga siendo mayor, la diferencia de precio se ha reducido y los gastos operativos son menores que en el plomo ácido. Además, aunque los fabricantes de Li-ion recomiendan una temperatura de trabajo de unos 20 °C, pueden funcionar bien a temperaturas más altas (40 °C), a diferencia del plomo ácido que reducen su vida útil a temperaturas más altas. De esta manera, se reducirían gastos energéticos, al reducir las necesidades de refrigeración de los equipos. Por otro lado, como las baterías de iones de litio son más pequeñas, el espacio podría ser utilizado de forma más productiva.

Otra ventaja de las baterías de Li-Ion, es que se recargan siete veces más rápido (6-12 horas de las VRLA), y los requisitos de mantenimiento son más bajos. Los ciclos de vida son mejores en los Li-ion (1000–5000 ciclos) que en VRLA (20-400).

Aunque la falta de seguridad en las baterías Li-ion presentaba recelos al uso de dicha tecnología, se han hecho más seguras en los últimos años, llegando al mismo nivel de seguridad que el plomo ácido. Además, todas las baterías de iones de litio incluyen un sistema de gestión de baterías o Battery Management System (BMS). Monitoriza constantemente la temperatura de la batería, el nivel y la tasa de carga para proteger contra cortacircuitos y sobrecargas. De esta manera, el BMS proporciona al SAI y al usuario información precisa sobre el estado de la batería, la salud y el tiempo de ejecución disponible.

Como conclusión, la tecnología de baterías de iones de litio ha evolucionado para que ahora sean financieramente viables y seguras para grandes aplicaciones como SAIs. Las ventajas y el ahorro en costes están comprobados.

En el mercado podemos encontrar baterías de Li-ion para SAIs con tecnología Litio Fosfato Hierro o Titanato de litio. En función de las necesidades del equipo y las características deseadas por el usuario, se elegirá un tipo de batería u otro.

### 3.3.3 Energías renovables

Las energías renovables son la alternativa más limpia para el medio ambiente. Se encuentran en la naturaleza en una cantidad ilimitada y, una vez consumidas, se pueden regenerar de manera natural o artificial. Entre los diferentes tipos de energías renovables encontramos los siguientes:

- Energía hidráulica: Producida por la caída del agua.
- Energía eólica: Es la energía cinética producida por el viento.
- Energía solar: Proporcionada por el sol en forma de radiación electromagnética.
- Energía geotérmica: Se encuentra almacenada bajo la superficie terrestre en forma de calor.
- Energía mareomotriz: El movimiento de mareas y corrientes marinas son capaces de generar energía.
- Energía de la biomasa: Es la procedente del aprovechamiento de materia orgánica animal y vegetal o de residuos agroindustriales.

El principal inconveniente de este tipo de energía es que la producción de algunas energías renovables es intermitente ya que depende de las condiciones climatológicas, como la eólica o solar. No ocurre con la hidráulica donde se puede aumentar el flujo del agua con válvulas, pero el sol o el viento no se pueden regular. La disponibilidad de energía solar y del viento para producir la electricidad raras veces coincide con el tiempo cuando lo necesitamos.

El consumo energético es, por su naturaleza, variable. Si bien hay unos patrones de consumo en cierta medida predecibles, en nuestro día a día hacemos uso de la energía procedente de la red sin ningún tipo de restricción horaria o planificación impuesta. El operador del sistema eléctrico verá cómo los consumos procedentes de industria y hogares tendrán una distribución con valles y picos. Para ajustarnos a esta demanda variable será necesario disponer de sistemas gestionables, que son capaces de reaccionar de manera instantánea a los excesos o defectos de carga. Y como el sol hay veces que lo tapan las nubes y el viento no sopla de manera constante, tenemos en esta variabilidad uno de los principales condicionantes que han tenido las renovables desde sus orígenes. Sabemos que la generación y el consumo deben estar en constante equilibrio para mantener los niveles de frecuencia. Teniendo en cuenta los patrones variables de consumo,

necesitamos depender de un suministro energético controlable. Es en ese punto en que el almacenamiento energético tiene uno de sus papeles más importantes para ayudar a la integración renovable, ya que puede conseguir convertir una fuente no gestionable como la eólica o la solar en una fuente gestionable. Con sistemas basados en baterías se puede adsorber la energía proveniente de fuentes renovables y ceder esa energía posteriormente cuando sea más adecuado para el sistema eléctrico. De esta manera los sistemas eléctricos reciben una energía más estable generada por las fuentes renovables.

Todas las baterías tienen sus ventajas y desventajas como ya hemos visto, pero las más aptas son las baterías a base de plomo de ciclo profundo. Estas baterías son relativamente grandes y pesadas por el plomo. Pero las de Li-ion están en desarrollo y cada vez más sustituyen a las de plomo.

De interés para energías renovables destacan las baterías de litio-ferrofosfato ( $\text{LiFePO}_4$ ) que no contienen elementos tóxicos y una eficiencia de hasta 98%. Se puede descargar por lo menos hasta el 20% de su capacidad y con el BMS pueden tener una vida hasta más de 10000 ciclos. Son más livianas y tienen menos volumen que baterías de plomo, pero algo más que otras de litio. La gran desventaja actual es el alto precio (tres veces más que una batería a base de plomo).

Pero, además de utilizar las baterías para poder almacenar grandes cantidades de energía, pueden también servirnos de ayuda a la hora de completar algunas de las debilidades de las energías renovables. Al contar con la electrónica de potencia pueden proporcionar servicios de regulación, especialmente necesarios en sistemas eléctricos con alta penetración de energías renovables. Estos servicios de regulación que podrían proporcionar las baterías son los de control de frecuencia y control de tensión.

### 3.3.4 Sistemas de telecomunicaciones

Un sistema de telecomunicación es una colección de hardware y software compatible dispuesto para comunicar información de un lugar a otro. Estos sistemas pueden transmitir textos, gráficos, voz, documentos o información de video en movimiento completo.

Las telecomunicaciones se definen como la transmisión de información oral o digital a largas distancias. Los sistemas de alimentación que cuentan con baterías de respaldo se utilizan en redes de datos, transmisión de datos de alta velocidad, comunicación inalámbrica y televisión por cable.

Estos sistemas utilizan baterías basadas en tecnología AGM, pero el desarrollo de las baterías basadas en  $\text{LiFePO}_4$  está suplantando el uso de las mismas.

### 3.3.5 Sistemas de Emergencia o señalización

Este tipo de sistemas se refiere a los sistemas de iluminación más comúnmente conocidos. La iluminación de emergencia, es decir, en caso de producirse un corte del suministro eléctrico, tiene dos funciones:

- Garantiza que las personas puedan abandonar el edificio de forma rápida y segura.
- Los equipos de salvamento puedan acceder a él sin problemas.

Este tipo de sistemas está sujeta a disposiciones legales, pero se dispone de dos tipos de tecnologías:

- Sistemas de iluminación de emergencia de alimentación centralizada: Una batería grande o un generador suministran la energía necesaria para la iluminación de emergencia a través de una red de suministro con una protección especial.
- Sistemas de iluminación de emergencia de alimentación descentralizada: No cuentan con una red de alimentación propia, por lo que son más sencillos y simples. Están compuestos por un equipo de iluminación de emergencia una batería y un indicador LED. Gracias a estos componentes adicionales, todas las luminarias pueden transformarse en sistemas de iluminación de emergencia independientes con tan solo unas pequeñas modificaciones.

Las ventajas de los sistemas de iluminación de emergencia descentralizados se pueden observar con facilidad: instalando en las luminarias todos los componentes necesarios se suprime el costoso cableado de una instalación de baterías centralizadas y, utilizando muchas baterías individuales descentralizadas, se reduce considerablemente el riesgo de un corte en el suministro eléctrico total.

Podemos diferenciar dos tipos de funcionamiento diferentes en todos los tipos de iluminación de emergencia:

- Modo de espera: La luminaria se mantiene apagada mientras el suministro eléctrico se encuentra disponible. Un área de empleo frecuente de este tipo de funcionamiento son las oficinas
- Funcionamiento continuo: la luminaria siempre encendida, independientemente de la disponibilidad del suministro eléctrico. Este tipo de funcionamiento se suele emplear en los indicadores de salidas de emergencia (rótulos de seguridad).

Los sistemas de iluminación de emergencia descentralizados tienen a su disposición los tipos de tecnología NiCd y NiMH. La prohibición de uno de las baterías NiCd no se aplica a las aplicaciones de iluminación de emergencia. Las baterías NiCd son acumuladores de energía robustos y económicamente atractivos. Las baterías NiMH tienen la ventaja de ofrecer una densidad energética claramente mayor. Por eso suelen utilizarse en luminarias con un espacio disponible reducido.

Hay que asegurarse que los tipos de iluminación de emergencia y las baterías sean correctamente compatibles entre sí. Una combinación errónea de equipos de iluminación de emergencia y tipos de baterías puede provocar un fallo de las baterías.

### 3.3.6 Alarmas

Un sistema de alarma es un elemento de seguridad pasiva. Esto significa que no evitan una situación anormal, pero sí son capaces de advertir de ella, cumpliendo así, una función disuasoria frente a posibles problemas. Por ejemplo:

- La intrusión de personas
- El desbordamiento de un tanque
- La presencia de agentes tóxicos
- Cualquier situación que sea anormal para el usuario

Son capaces de reducir el tiempo de ejecución de las acciones a tomar en función del problema presentado, reduciendo así las pérdidas.

Nos centraremos en el estudio de los sistemas de alarma industriales. Estos sistemas están constituidos por instalaciones destinadas a avisar al personal en caso de siniestro. Son una combinación de dispositivos de entrada

(contactos en puertas y ventanas, detectores duales, detectores de humo, etc...), unidad central de proceso (PLC, panel de control) y los dispositivos de salida (sirena, luces estroboscópicas, interfaces telefónicas, etc...).

Los sistemas de alarmas están conectados a la red eléctrica y cuentan con un respaldo de energía en caso que se corte el suministro eléctrico. Ese respaldo, se logra con la batería ubicada dentro de la central de Alarma. Suelen ser de AGM.

### 3.3.7 Coches híbridos y eléctricos

En el capítulo 3.3.1 abordamos todos los automóviles citados en las aplicaciones: coches, motos, carretillas elevadoras, barcos... etc. En este capítulo nos vamos a centrar más en concreto en los coches, híbridos y eléctricos.

Un coche híbrido es un coche cuyo motor utiliza al menos dos motores de tecnología diferente para obtener la energía necesaria para funcionar. Por lo general, se refiere al uso de un motor de combustión convencional que funciona con carburante (diésel o gasolina) junto a un motor eléctrico que recibe electricidad de una serie de baterías. Uno de los dos se utiliza como fuente principal y el otro se utiliza de apoyo; también puede ser que se utilice cada una de las fuentes energéticas de forma independiente según la situación.

Según su abastecimiento energético podemos clasificarlos en:

- a) Vehículos Eléctricos de Baterías (VEB): son vehículos eléctricos que utilizan la energía química almacenada en paquetes de baterías recargables.

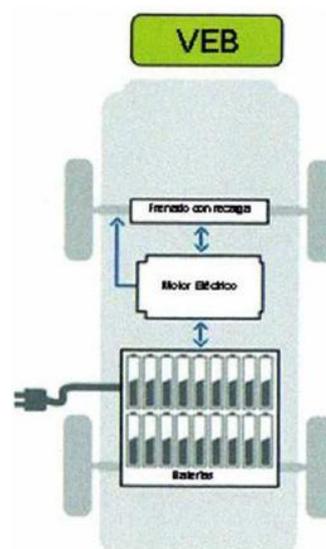


Ilustración 22: Vehículo Eléctrico de Baterías

b) Vehículos Eléctricos Híbridos (VEH): Son vehículos en los que la energía eléctrica que los impulsa procede de baterías y, alternativamente, de un motor de combustión interna que mueve un generador. Normalmente, el motor térmico también puede impulsar las ruedas del vehículo de manera directa.

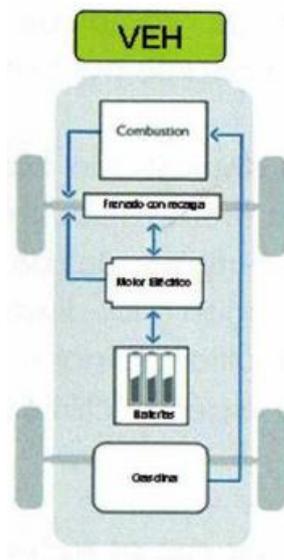


Ilustración 23: Vehículo eléctrico Híbrido

c) Vehículo eléctrico híbrido Recargable o Enchufable (VEHR): Son vehículos similares a los anteriores, pero con la posibilidad de recargar las baterías por medios externos, es decir, conectándolos a la red.

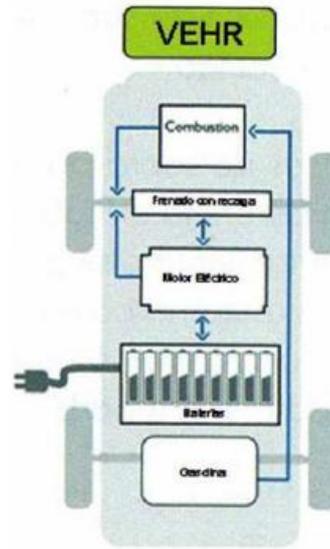


Ilustración 24: Vehículos eléctricos híbridos recargables o enchufables

d) Vehículos eléctricos de Pilas de Combustible: Son vehículos de accionamiento eléctrico que disponen de una pila de combustible de hidrógeno que genera la electricidad a partir de ese gas almacenado en un depósito.

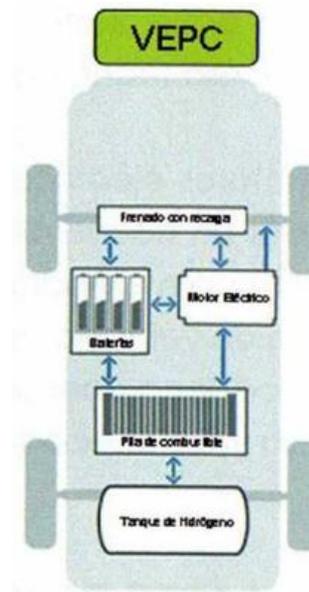


Ilustración 25: Vehículos eléctricos de pilas de combustible

Como hemos visto, un vehículo híbrido es aquel que combina dos motores, uno eléctrico y otro de explosión o térmico. En el sentido más estricto, se dice que un vehículo es híbrido cuando consta de dos sistemas de almacenaje de energía (depósito de combustible y baterías eléctricas) y de una doble motorización térmica y eléctrica, de tal forma que ambas, de forma individual o conjunta, traccionan o participan en algún momento en la propulsión dicho vehículo.

Normalmente, la mecánica eléctrica se ocupa de poner el coche en marcha de modo que el motor de gasolina sólo actúa como apoyo de éste. El motor eléctrico no necesita conectarse a la red, toma energía de las baterías que se recargan mediante el motor de gasolina o bien durante las deceleraciones y las frenadas. El motor de combustión interna funciona a la máxima eficiencia. Si se genera más energía de la necesaria, el motor eléctrico se usa como generador y carga la batería del sistema. En algunos modelos es posible recuperar la energía cinética al frenar, convirtiéndola en energía eléctrica, es lo que se conoce como *frenado regenerativo*.

A su vez, los vehículos híbridos podemos clasificarlos según como fluye la energía:

a) Configuración en Paralelo

El motor de combustión interna y el motor eléctrico trabajan simultáneamente para impulsar al vehículo. Cuenta con un depósito de combustible, que alimenta el motor de gasolina, y a su vez con un conjunto de baterías que provee de energía al motor eléctrico. Ambos motores, pueden mover la transmisión al mismo tiempo y las baterías no son cargadas por el motor térmico.

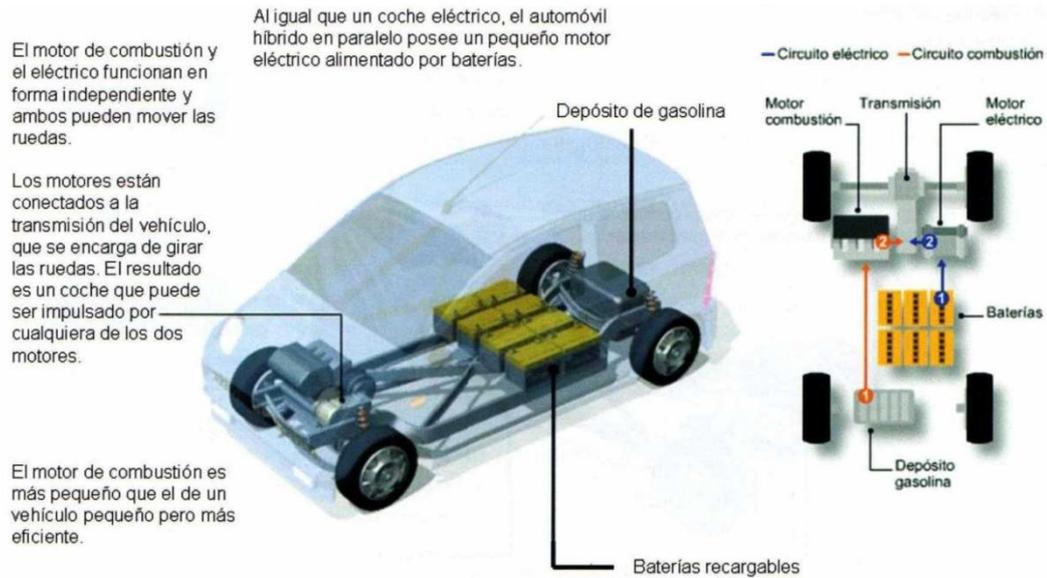
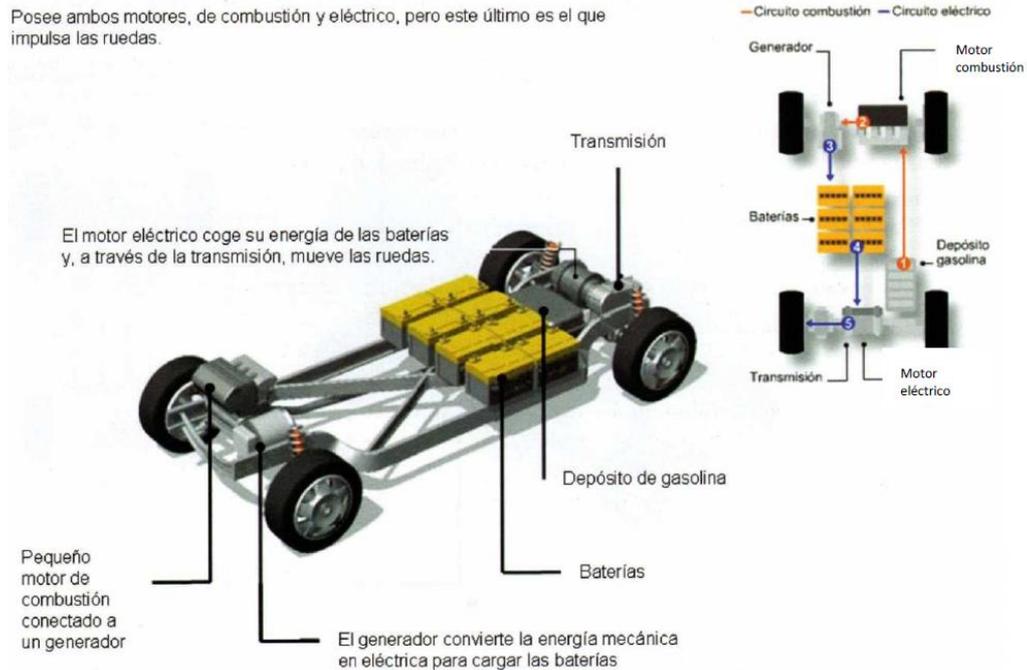


Ilustración 26: Configuración en paralelo vehículo híbrido

Como podemos ver en la ilustración 27, el tanque de combustible va conectado al motor térmico, y este a la transmisión. Las baterías van conectadas al motor eléctrico y éste conectado a la transmisión. De esta manera, ambos motores proveen de propulsión al automóvil.

#### b) Configuración en Serie

También son denominados “vehículos eléctricos con autonomía aumentada”. No es estrictamente considerado un vehículo híbrido pues el motor térmico no puede mover el vehículo directamente, pero es un sistema mucho más sencillo que el anterior. No existe conexión mecánica directa entre el motor de combustión interna y las ruedas. El vehículo es impulsado por el motor eléctrico gracias a la electricidad generada por el motor de combustión que acciona un generador eléctrico. Este generador, recarga las baterías cuando su nivel de carga cae por debajo de un cierto umbral mínimo. La batería actúa como un acumulador de la electricidad (energía) sobrante y, cuando está totalmente cargada, permite la desconexión temporal del motor de combustión, de forma que el vehículo puede impulsarse momentáneamente de manera totalmente eléctrica.



Como se observa en la ilustración 28, todos los componentes forman una línea, la cual se conecta eventualmente con la transmisión del automóvil.

c) Configuración combinada o mixta

El motor de combustión interna es capaz al mismo tiempo de cargar las baterías y de contribuir a la propulsión actuando sobre las ruedas. Es decir, puede propulsar al vehículo únicamente el motor de combustión, el motor eléctrico o la combinación de ambos motores. El vehículo mixto utiliza la base de la arquitectura de un vehículo serie en el que también se ha conectado el motor de combustión directamente a las ruedas. De esta manera, el motor de combustión como el generador y el motor eléctrico están todos ellos interconectados y, a su vez, están directamente conectados a la transmisión del vehículo.



para ponerlo en marcha de nuevo en cuanto se levanta el pie del freno. Además, pueden disponer de frenado regenerativo.

Las baterías necesarias para mover un coche están sometidas a un nivel de exigencia muy alto. Deben ser capaces de contener una elevada carga con la menor masa posible (densidad energética) para poder competir con la gasolina en la medida de lo posible y salvando las enormes distancias que existen entre ambas formas de almacenamiento energético. También deben ser capaces de soportar rangos de temperatura muy amplios, posibles accidentes y miles de ciclos de recarga.

Parece darse por sentado que las baterías basadas en tecnología Ion-Litio son más adecuadas para el uso automovilístico, pero no es la única posibilidad que existe. Vamos a diferenciar tres tipos de tecnologías o químicas que son las más utilizadas:

- Plomo-ácido: son la opción más económica y se han utilizado durante épocas para arrancar los motores de combustión. Entre las ventajas ya especificadas destacan la estandarización universal, buena potencia específica (W/kg), buen comportamiento en amplio rango de temperaturas, buena retención de la carga en el tiempo y relativamente fáciles de reciclar. La principal desventaja es que solo pueden almacenar 40Wh/kg, una densidad energética muy pobre.
- Níquel-metal: Han sido las preferidas por el modelo conocido Toyota Prius durante más de 10 años, demostrando su capacidad para responder con solidez en un híbrido no enchufable. Tiene una potencia específica correcta, un ciclo de vida largo y no presentan problemas medioambientales. Por el contrario, tienen un alto índice de descarga en periodos de inactividad (pierden un 30% de la carga en un mes paradas) y su coste de producción es algo elevado por incorporar tierras raras en el electrodo positivo. La densidad energética es de 60Wh/kg las hace superiores a las Plomo-Ácido, pero las mantiene lejos del Litio, ya que es el más ligero de los elementos de la tabla periódica que no es un gas a temperatura ambiente.
- Ion-Litio: existen muchas variedades estudiadas en el capítulo 3.2.3, cuyas características técnicas más importantes mejoran sustancialmente a las tecnologías anteriores. El voltaje, densidad energética, potencia específica, carga utilizable, eficiencia de recarga y ciclo de vida son muy superiores a los anteriores, y a su vez el índice de descarga es mucho menor. Como inconveniente, cabe señalar su menor robustez ante variaciones de voltaje, que obliga a incorporar

costosos sistemas de gestión de las baterías para su protección y correcto funcionamiento. Por ello, tiene un coste de producción mayor.

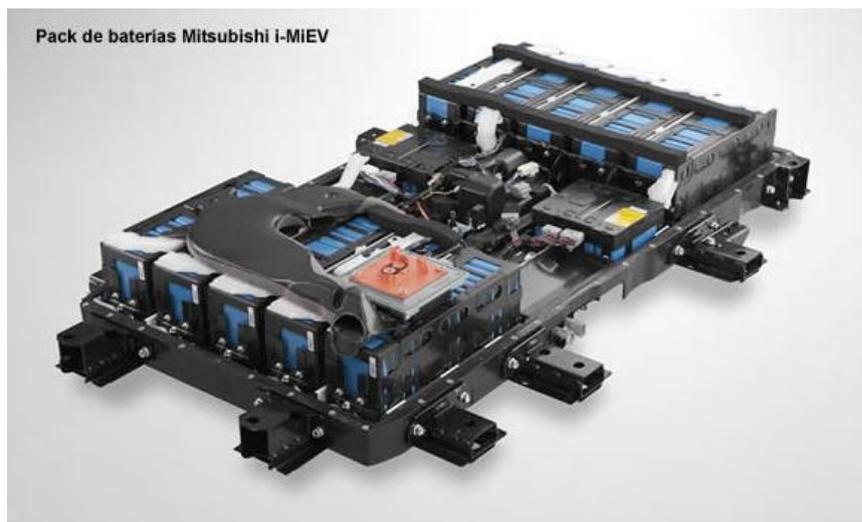
- Litio-Hierro-Fosfato: Son las más seguras debido a su estabilidad térmica y química, densidad energética en la zona baja (90 – 125Wh/kg), pero se pueden considerar un salto adelante en seguridad y durabilidad. Son las más baratas y se pueden emplear en automoción para mover híbridos y eléctricos puros sin riesgos.
- Litio-Manganeso: Son estables térmicamente y soportan un mayor voltaje, pero tienen inferior densidad energética (90 – 110Wh/kg), aunque el manganeso es no contaminante.
- Litio-Níquel-Cobalto-Manganeso: Densidad energética alta (155 – 190Wh/kg), muy buen rendimiento y coste razonable. Se empieza a utilizar en coches eléctricos masivamente.
- Litio-Titanio: Son las más duraderas, pero tienen una densidad energética baja (65 – 100Wh/kg) y su coste muy elevado.

A día de hoy, la lista de baterías está abierta a nuevas incorporaciones, fruto de la investigación. Pero parece claro que cada una de las opciones representa siempre una relación de compromiso entre sus diferentes prestaciones, sin existir una opción claramente vencedora en todos los aspectos.

Unos ejemplos de tipos de batería dados por diferentes fabricantes son los siguientes:

- a) Batería de ion-Litio utilizada por Mitsubishi i-MiEV

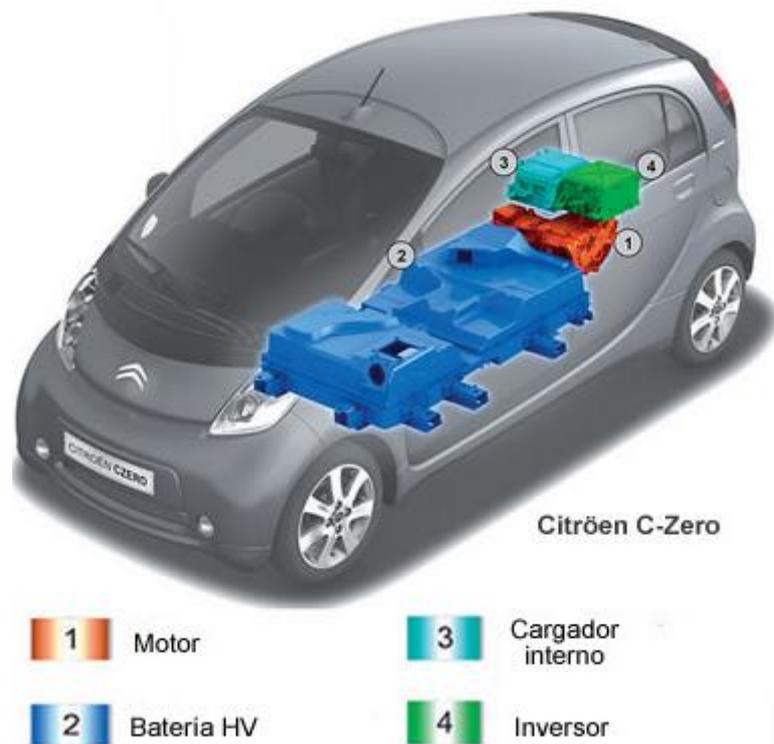
Este tipo de vehículos utiliza células baterías de  $\text{LiMn}_2\text{O}_4$ , que proporcionan una tensión de 3,7V nominales, 50 Ah, con un peso de algo menos de 2kg. Este coche utiliza 88 de estas células en serie, que se agrupan en módulos de 4 unidades conectadas en serie, de modo que cada uno tiene unos 14.7V y 50Ah. Las baterías se distribuyen por los bajos de los asientos:



*Ilustración 29: Pack de baterías Mitsubishi i-MiEV*

En 2011 Mitsubishi anunció que instalaría baterías basadas en un ánodo de titanato de litio ( $\text{Li}_2\text{TiO}_3$ ). Este tipo de tecnología permite una intensidad de carga/descarga 2,5 veces superior a una batería típica de litio-ión y proporciona hasta 1,7 veces más de autonomía, con un menor calentamiento que elimina la necesidad de refrigerarlas cuando la potencia consumida o aportada es alta.

El Mitsubishi i-MiEV comparte estética y tecnología con el Citroën C-Zero y Peugeot iOn.



*Ilustración 30: Citroën C-Zero*

#### b) Batería de Ion-Litio de Tesla

El Tesla Model S emplea celdas cilíndricas de iones de litio de 3070mAh y 3,6V colocadas en vertical y separadas entre sí para disipar mejor el calor. Se emplean más de 7000 celdas, que pesarían entre 358 y 383 kg. La batería está climatizada, tanto en refrigeración como en calefacción por líquido, con una mezcla de agua y glicol, que evita el congelamiento en invierno con temperaturas bajo cero.

El Tesla Model S coloca el paquete de baterías plano, con poca altura, bajo el suelo del habitáculo, ocupando al máximo el espacio disponible entre los dos ejes. La batería colabora con la rigidez torsional del coche y al superponer mucho peso, muy abajo, ayuda a rebajar el centro de gravedad del coche y mejorar la estabilidad. Tesla proporciona una garantía de ocho años y kilometraje ilimitado a la batería de 85kWh (la de 60kWh se queda con 200.000km).



Ilustración 31: Batería de un Tesla Model S

### c) Batería de Ion-Litio del Nissan Leaf

El Nissan Leaf, tiene una batería de 48 módulos conectados en serie, y cada uno de esos lleva cuatro celdas y es de 7,6V (2 celdas en serie de 3,8V) y 66,2Ah (dos grupos en paralelo de 33,1 Ah). En total 3,8V x 96 celdas son los 364,8V del pack y  $364,8V \times 33,1Ah \times 2$  son los 24kWh de capacidad del pack (24.150kWh). En total esta batería lleva 192 celdas.



Ilustración 32: Componentes batería Nissan Leaf

#### d) Batería de Ion-Litio del BMW i3

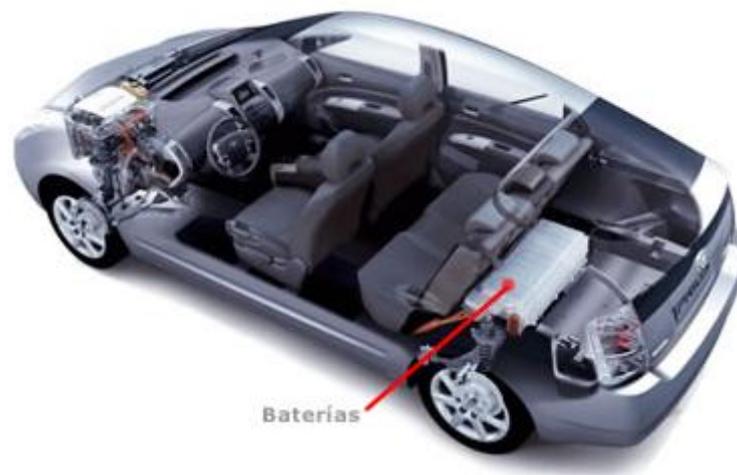
Dispone de una batería de iones de litio de 22kWh y 204kg situada en la parte baja del vehículo, haciendo así más bajo el centro de gravedad. La capacidad útil es de 18,8 kWh. Un sistema de refrigeración basado en gas mantiene la batería en la temperatura ideal de funcionamiento para aumentar las prestaciones y la vida de la batería. Los 22kWh de la batería del i3 permiten recorrer entre 130 y 160 km.



*Ilustración 33: Batería de un BMW i3*

#### e) Batería de níquel-hidruro metálico (Ni-MH)

Este tipo de batería es ampliamente utilizada por Toyota en sus modelos híbridos como el Prius, Auris, etc, no es una batería comparable con las de Ion-Litio que hemos visto, en cuanto a tamaño y capacidad. Cada celda de NiMH puede proporcionar un voltaje de 1,2V y una capacidad entre 0,8 y 2,9Ah. Su densidad energía llega a los 80Wh/kg. Este tipo de baterías alcanzan altas temperaturas durante la carga o el uso.



*Ilustración 34: Baterías en Toyota Prius*

(«¿Qué es un coche híbrido?», 2013) (Valdemoro, 2016) («Que es un SAI y diferencias entre On-Line, interactivo y off-Line», s. f.) (Pons, 2017) («¿Qué son las energías renovables?», 2012) (Berg, s. f.) (Lijó, 2018) («Telecommunications», s. f.) («MEI | Baterías litio», s. f.) («Baterías Telecomunicaciones | Comprar Baterías Telecomunicaciones al Mejor Precio», s. f.) (ENERGETICA, s. f.) (Letourneau, Rouillard, Choquette, & Worboys, 1998) («Iluminación de emergencia - Tridonic», s. f.) (Segura, 2014) (Sommerville, 2005) («¿ Como cambio la batería de mi central de alarmas?», s. f.) (Jose Antonio Dominguez Vazquez, 2018)

## 3.4 Baterías Futuras

### 3.4.1 Baterías y supercondensadores de grafeno

#### 3.4.1.1 Electrodo de grafeno

Desde la Universidad de Rice se ha investigado que la adición de algunos átomos de boro a la estructura de grafeno podría dar lugar a un ánodo flexible, eficiente y ultrafino para las baterías de iones de litio. La adición del boro ayuda a que los iones de litio de la batería se adhieran mejor al ánodo de grafeno, que había sido un problema en los primeros diseños de ánodos. Los ánodos de grafeno consiguen que la carga y la descarga de la batería sea más rápida en comparación con los ánodos convencionales. Este tipo de tecnología se está desarrollando en baterías para coches eléctricos, lo que quiere decir que las aplicaciones industriales no están muy lejos.

Se ha demostrado que los ánodos de grafeno mantienen mejor la energía que los de grafito, con una carga diez veces más rápida. Pero se ha llegado a un nuevo avance, han introducido pequeños agujeros en las hojas de grafeno, haciendo hojas porosas de ese material por los que pasan los iones de litio. De esta forma, el ánodo se construye en forma de varias hojas de grafeno, haciéndolo permeable lo que proporciona facilidad de extracción de la electricidad y un uso óptimo del área de almacenamiento. La batería resultante puede almacenar 10 veces más de energía que los que utilizan ánodos de grafito y ser capaz de conducir mayores corrientes de carga y descarga.

En cuanto a características eléctricas, se habla que este tipo de baterías tienen una densidad energética alrededor de 700 Wh/kg (4 veces más que las baterías de litio), aunque en pruebas de laboratorio se ha llegado a superar los 1200 Wh/kg. En cuanto a la duración de las celdas de grafeno, después de 400 ciclos a ciclos constantes desde 0% a 100%, no se ha apreciado pérdida de capacidad. En cuanto a recargas rápidas se han realizado test donde se han logrado los 100C en una celda de 300mAh.

### 3.4.1.2 Supercondensadores de grafeno

El grafeno es un material activo en sí mismo, por lo que se puede realizar un híbrido asimilable a las baterías que tengan mucha potencia y se puedan cargar en unos pocos segundos.

### 3.4.2 Litio Aire

Este tipo de batería promete almacenar mucha más energía de la que es posible con las tecnologías actuales de iones de litio. Los científicos tomaron prestada la idea del aire de zinc y la pila de combustible para hacer que la batería “respire” aire. La batería utiliza un cátodo de aire catalítico que suministra oxígeno, un electrolito y un ánodo de litio.

La energía específica teórica de litio-aire es 13kWh/kg, el aluminio-aire también se está probando y la energía es 8kWh/kg. Dependiendo de los materiales utilizados, el aire litio produce voltaje de entre 1.7 y 3.2 V/celda. El ciclo de vida de este tipo de baterías produce unos 50 ciclos. Al igual que con otras baterías que respiran aire, la potencia específica puede ser baja, especialmente a temperaturas frías. También la pureza del aire es un desafío, debido a que el aire no es lo suficientemente limpio y debería de ser filtrado. Esto deriva a que la batería tendría que utilizar compresores, bombas y filtros que consumen el 30% de la energía producida para que el soporte auxiliar permanezca con vida.

Otro problema es el síndrome de la muerte súbita. El litio y el oxígeno forman películas de peróxido de litio que producen una barrera, lo que evita el movimiento de electrones y produce una reducción abrupta de la capacidad de almacenamiento de la batería.

### 3.4.3 Litio Metal

El litio-metal ha sido visto como la futura batería recargable debido a su alta energía específica y buena capacidad de carga. Pero, la disposición incontrolada de litio causa un crecimiento de dendritas que induce peligros de seguridad al penetrar en el separador y producir cortocircuito. Una prueba de litio-metal tuvo una capacidad de 300Wh/kg en un vehículo eléctrico con 2500 ciclos. Una solución para inhibir el crecimiento de la dendrita es agregar nanodiamantes como aditivo para electrolitos. Esto funciona según el

principio de que el litio prefiere absorber sobre la superficie de un diamante, lo que lleva a un depósito uniforme y un mejor rendimiento de ciclismo. Pero no da una garantía suficiente para las aplicaciones del consumidor. Después de varios intentos fallidos de comercializar baterías recargables de litio-metal, la investigación y la fabricación limitada de esta batería continúan.

#### 3.4.4 Litio de estado sólido

El Li-ion utiliza un ánodo de grafito y esto produce la energía específica. La tecnología de estado sólido reemplaza el grafito con litio puro y sustituye el electrolito empapado en un separador poroso con un polímero sólido o un separador de cerámica. Comparte similitud con el litio-metal y se está trabajando en superar el problema de la formación de filamentos metálicos con el uso de polímeros secos y separadores de cerámica. Hay desafíos adicionales como lograr una conductividad suficiente a temperaturas frías y la necesidad de mejorar el conteo de ciclos, ya que los prototipos solo alcanzan 100 ciclos. Las baterías de estado sólido prometen almacenar el doble de energía en comparación con el ion-litio, pero las capacidades de carga pueden ser bajas, lo que las hace menos adecuadas para motores eléctricos y aplicaciones que requieren altas corrientes. Por lo tanto, las aplicaciones específicas son la nivelación de la carga para la fuente de energía renovable y los EVs al aprovechar los cortos tiempos de carga que esta batería permite. Los informes de laboratorio cuentan con alta energía específica y seguridad superior al no tener electrolitos inflamables, pero los expertos en baterías aún no están convencidos de su viabilidad para reemplazar el Li-ion. Las baterías de estado sólido tienden a tener una alta impedancia interna, tienen un bajo rendimiento a bajas temperaturas y están sujetas al crecimiento de dendritas.

Los laboratorios de investigación predicen que la batería de estado sólido podría estar disponible comercialmente para 2020 e implementarse en automóviles en 2025.

#### 3.4.5 Litio Azufre

Debido al bajo peso atómico del litio y el peso moderado del azufre, las baterías de litio-azufre ofrecen una energía específica muy alta de 550Wh/kg, aproximadamente tres veces la de Li-ion. Li-S también tiene una potencia específica de 2500W/kg. Durante la descarga, el litio se disuelve de la superficie del ánodo y se invierte a sí mismo cuando se carga, colocándose en el ánodo. Este tipo de batería tiene un voltaje de celda de 2.1V, ofreciendo

buenas características de descarga a bajas temperaturas y puede recargarse a  $-60^{\circ}\text{C}$ .

En Li-S, el grafito se reemplaza por el metal de litio, un catalizador que proporciona doble función como electrodo y proveedor de iones de litio. La batería Li-S elimina el “peso muerto” al reemplazar el cátodo de óxido metálico usado en un ion de litio con azufre más barato y liviano. El azufre tiene la ventaja añadida de los átomos de litio de doble reserva, algo que Li-ion no puede hacer.

El inconveniente que tiene este tipo de tecnología es que el ciclo de vida limitado de solo 40–50 cargas/descargas, ya que el azufre pierde durante el ciclo al alejarse del cátodo y reaccionar con el ánodo de litio. Otros problemas son la mala conductividad, una degradación del cátodo de azufre con el tiempo y una mala estabilidad a temperaturas más altas

#### 3.4.6 Ion de Sodio

El ion de sodio presenta menor coste que el Li-ion, ya que el sodio es barato y está fácilmente disponible. Esta tecnología tiene la ventaja de que puede descargarse completamente sin encontrar tensiones que son comunes con otros sistemas de baterías, además no tiene componentes peligrosos. Algunas celdas tienen 3.6V y una energía específica de 90 Wh/kg con un coste por kWh similar a la batería de plomo-ácido.

Es necesario un mayor desarrollo para mejorar el conteo de ciclos y resolver la gran expansión volumétrica cuando la batería esté completamente cargada.

(«Baterías de coches eléctricos e híbridos, hoy [estado de la tecnología del automóvil]», s. f.) («Coche eléctrico - Baterías», s. f.) («Basic to Advanced Battery Information from Battery University», s. f.)

## 4. Conclusiones

En este capítulo trataremos de contrastar el grado de cumplimiento de los objetivos inicialmente propuestos.

El primero de ellos era conocer y analizar las características eléctricas de las baterías para lograr una comprensión más eficaz del funcionamiento de las mismas. Este aspecto se abordó y desarrolló en el apartado 3.2, aportando ilustraciones y gráficas que ayudan a su comprensión.

El siguiente objetivo que proponíamos era conocer las tecnologías de las baterías que hay actualmente. Todo ello se trató en el apartado 3.2, donde se analizaron las tres tecnologías primordiales: basadas en plomo-ácido, basadas en electrodo de níquel y basadas en litio. Cada tipo de tecnología tiene unas características propias que le otorgan una serie de virtudes o defectos que las hacen únicas para un determinado uso. Dependiendo de sus características técnicas, cumplirán mejor o peor con las necesidades de las aplicaciones. Por otra parte, para cada tipo de tecnología, existen diferentes variantes donde se utilizan unos materiales u otros para construir las baterías. En diversas tablas se han ido recogiendo a modo resumen las características propias de cada tipo de batería y las principales aplicaciones a las que están destinadas.

Dentro de este objetivo, hemos ampliado el ámbito con unos tipos de tecnología de acumulación alternativos: basado en sulfuro de Sodio, celda de combustible, aire-zinc, plata-zinc, alcalina recargable y supercondensador. Debe considerarse que en determinadas circunstancias y aplicaciones pueden complementar y aumentar las posibilidades de las baterías.

El siguiente objetivo que nos proponíamos, era estudiar las diferentes aplicaciones industriales que necesitaban el uso de baterías e ir determinando cuál es la mejor tecnología que se adaptaría a las necesidades de las aplicaciones. Con el análisis descrito en el capítulo 4 completamos este aspecto.

Como ampliación de este apartado, hemos analizado más en detalle los coches híbridos y eléctricos, dando ejemplos de tipos de tecnologías para los diferentes vehículos.

Si bien hemos abordado este objetivo de forma bastante amplia, no hay que olvidar que las tecnologías de baterías están en constante desarrollo, y lo que hoy parece la solución más óptima, mañana puede que no lo sea. Todo ello nos lleva a nuestro siguiente objetivo: las baterías futuras.

Como ya se hemos mencionado anteriormente, el campo de estudio en el que se desarrolla el presente trabajo está en constante cambio debido a los avances que se descubren cada día, de aquí deriva que el análisis realizado trate también de recoger los avances más destacados: Baterías y supercondensadores de grafeno, litio aire, litio metal, litio de estado sólido, litio azufre, ion de sodio, etc. No obstante, hay muchos tipos de baterías que se están empezando a utilizar en las diferentes aplicaciones mencionadas, pero no han podido ser objeto de estudio porque no están muy extendidos y que necesariamente deben plantearse como objetivo de futuros trabajos en este campo.

## 5. Bibliografía

¿ Como cambio la batería de mi central de alarmas? (s. f.). Recuperado junio de 2019, de CENTRO DE AYUDA website:

[http://adtargentina.zendesk.com/hc/es/articles/115010793707-Como-cambio-la-bater%C3%ADa-de-mi-central-de-alarmas-](http://adtargentina.zendesk.com/hc/es/articles/115010793707-Como-cambio-la-bater%C3%ADa-de-mi-central-de-alarmas-Acumuladores-y-bater%C3%ADas-|-%C3%9AQue-bater%C3%ADa-necesito?)

Acumuladores y baterías | ¿Que batería necesito? (2016, diciembre 5).

Recuperado junio de 2019, de ElectroCargas website:

<https://www.electrocargas.es/saber-bateria-la-mas-adecuada-mis-necesidades/>

Bardo Cáceres Sebastián. (2010). *Almacenamiento distribuido en viviendas para alisar la curva de demanda de energía eléctrica*. Recuperado de

<https://upcommons.upc.edu/handle/2099.1/9360>

Basic to Advanced Battery Information from Battery University. (s. f.).

Recuperado junio de 2019, de <https://batteryuniversity.com/>

Baterías - tipos y usos - todosai. (s. f.). Recuperado junio de 2019, de

<https://todosai.com/blog/baterias-tipos-y-usos-b50.html>

Baterías de coches eléctricos e híbridos, hoy [estado de la tecnología del

automóvil]. (s. f.). Recuperado junio de 2019, de Tecmovia website:

<https://www.diariomotor.com/tecmovia/2012/03/14/baterias-de-coches-electricos-e-hibridos-hoy-estado-de-la-tecnologia-del-automovil/>

Baterías de níquel-zinc para superar la duración y seguridad de las de iones de litio. (2017, abril 28). Recuperado junio de 2019, de abc website:

<https://www.abc.es/tecnologia/informatica/soluciones/abci-baterias->

niquel-zinc-para-superar-duracion-y-seguridad-iones-litio-  
201704281402\_noticia.html

Baterías de Plomo y Acido – Ayuda Electronica | Circuitos Electronicos,  
Ingenieria Electronica. (s. f.). Recuperado junio de 2019, de  
<http://ayudaelectronica.com/baterias-de-plomo-acido/>

Baterías Industriales. (s. f.). Recuperado junio de 2019, de  
<http://www.potenciaelectrica.com.mx/www/baterias-industriales/>

Baterías Telecomunicaciones | Comprar Baterías Telecomunicaciones al  
Mejor Precio. (s. f.). Recuperado junio de 2019, de  
<https://autosolar.es/baterias/baterias-telecomunicaciones>

Battery Charging and Discharging Parameters. (s. f.). Recuperado junio de  
2019, de <https://pvcdrom.pveducation.org/BATTERY/charge.htm>

Battery Maintenance Systems, Analyzers, Testers, Chargers and Battery Packs  
| Cadex Electronics. (s. f.). Recuperado junio de 2019, de  
<https://www.cadex.com/en>

Berg, H. (s. f.). Energía Renovable Peru con Deltavolt. Recuperado junio de  
2019, de <https://deltavolt.pe/energia-renovable/baterias>

Coche eléctrico - Baterías. (s. f.). Recuperado junio de 2019, de  
[http://www.aficionadosalamecanica.com/coche-electrico\\_bateria.htm](http://www.aficionadosalamecanica.com/coche-electrico_bateria.htm)

DEPARTAMENTO DE ELECTRÓNICA. (s. f.). Recuperado junio de 2019, de  
<http://platea.pntic.mec.es/~lmarti2/baterias.htm>

ENERGETICA, T. O. E. (s. f.). Bateria para telecomunicaciones 12V 200Ah AGM  
- 477,22€ : Recuperado junio de 2019, de  
<http://www.tiendaocanis.com/veh-culos-el-ctricos-bater-as-de-gel-y->

bater-as-agm-baterias-de-gel-c-110\_51\_60/bateria-para-telecomunicaciones-12v-200ah-agm-p-196

ENERSYSTEM. (2016, septiembre). *BATERIAS INDUSTRIALES ESTACIONARIAS Y DE TRACCION*. Recuperado de <http://www.enersystem.com/Graficanews/sept06/ITBATIND%201-4.pdf>

Gears Educational Systems, LLC. (s. f.). *Battery Basics*. Recuperado de [http://www.gearseds.com/files/determining\\_battery\\_capacity3.pdf](http://www.gearseds.com/files/determining_battery_capacity3.pdf)

Hella apuesta por las baterías Ni-Zn de PowerGenix para híbridos y microhíbridos. (s. f.). Recuperado junio de 2019, de Tecmovia website: <https://www.diarimotor.com/tecmovia/2013/10/22/hella-apuesta-por-las-baterias-ni-zn-de-powergenix-para-hibridos-y-microhibridos/>

Iluminación de emergencia - Tridonic. (s. f.). Recuperado junio de 2019, de <https://www.tridonic.es/es/faq-emergencia.asp>

Jaume Martínez. (2017). *Métodos de estimación del estado de carga de baterías electroquímicas*. Recuperado de <https://upcommons.upc.edu/>

Letourneau, C., Rouillard, J., Choquette, Y., & Worboys, D. C. (1998). Progress in lithium polymer battery development for telecommunication system. *INTELLEC - Twentieth International Telecommunications Energy Conference (Cat. No.98CH36263)*, 656-662. <https://doi.org/10.1109/INTLEC.1998.793623>

Lijó, R. (2018, noviembre 22). Desarrollar los grandes sistemas de baterías será clave para aumentar las energías renovables. Recuperado junio de 2019, de Xataka website:

<https://www.xataka.com/energia/desarrollar-grandes-sistemas-baterias-sera-clave-para-aumentar-energias-renovables>

MEI | Baterías litio. (s. f.). Recuperado junio de 2019, de <http://www.mei-telecom.com/baterias-litio.html>

MIT Electric Vehicle Team. (2008). *A Guide to Understanding Battery Specifications*. Recuperado de [http://web.mit.edu/evt/summary\\_battery\\_specifications.pdf](http://web.mit.edu/evt/summary_battery_specifications.pdf)

Monografias.com, A. J. C. S. (s. f.). La historia de las pilas - Monografias.com. Recuperado junio de 2019, de <https://www.monografias.com/trabajos95/historia-pilas/historia-pilas.shtml>

NAS ENERGY STORAGE SYSTEM: Sodium Sulfur Battery. (s. f.). Recuperado junio de 2019, de <https://www.ngk.co.jp/nas/>

Pons, O. (2017, septiembre 29). Ventajas de las baterías de iones de litio para SAIs. Recuperado junio de 2019, de Bienvenido al Blog de Schneider Electric website: <https://blogespanol.se.com/uncategorized/2017/09/29/ventajas-baterias-li-ion-sais/>

¿Qué es un coche híbrido? (2013, junio 7). Recuperado junio de 2019, de Curiosoando website: <https://curiosoando.com/que-es-un-coche-hibrido>

Que es un SAI y diferencias entre On-Line, interactivo y off-Line. (s. f.). Recuperado junio de 2019, de [https://www.dns-system.es/que\\_es\\_un\\_sai.php](https://www.dns-system.es/que_es_un_sai.php)

¿Qué son las energías renovables? - Twenergy. (2012, marzo 23). Recuperado junio de 2019, de <http://twenergy.com/a/que-son-las-energias-renovables-516>

Real Academia Española. (s. f.). Recuperado junio de 2019, de <http://www.rae.es/>

Segura, V. G. (2014). *Gestión de la prevención de riesgos laborales en pequeños negocios. ADGD0210*. IC Editorial.

Sommerville, I. (2005). *Ingeniería del software*. Pearson Educación.

TAB. (s. f.). *Las 20 preguntas más frecuentes sobre baterías*. Recuperado de <https://www.tabspain.com/corporativo/preguntas-mas-frecuentes-sobre-baterias/>

Technosun. (s. f.). *Competitividad baterías Plomo-Ácido*. Recuperado de <http://blog.technosun.com/puede-ser-competitiva-actualmente-la-bateria-de-plomo-acido/>

Telecommunications. (s. f.). Recuperado junio de 2019, de <http://www2.exide.com/ar/es/product-solutions/network-power/applications-network/telecomm-network.aspx>

Teoría sobre baterías 1. (2010, junio 5). Recuperado junio de 2019, de DEHAVESMOTION® website: <https://dechavesmotion.com/teoria-sobre-baterias-1/>

Tipos de Baterías Eléctricas y Acumuladores - Baterías de Grafeno. (2016, agosto 27). Recuperado junio de 2019, de Baterías de Grafeno: Precio y Características website: <http://bateriasdegrafenopara.com/tipos-de-baterias/>

Typical Applications for LiFePO4 Batteries. (s. f.). Recuperado junio de 2019,

de Bioenno Power website:

<https://www.bioenno.com/pages/typical-applications-for-lifepo4-batteries>

Valdemoro, L. (2016, enero 30). Qué es un SAI, tipos de SAI, y cuál elegir.

Recuperado junio de 2019, de ComputerHoy website:

<https://computerhoy.com/noticias/hardware/que-es-sai-tipos-sai-cual-elegir-39147>

## 6. Anexo

### 6.1 Glosario

$R_B$  → Resistencia interna de la batería

$V_0$  → Tensión de vacío de la batería

$V$  → Tensión de la batería con la carga

$I$  → Intensidad suministrada por la batería.

$E_0$  → Tensión de vacío

$E$  → Tensión en circuito cerrado

$C_x$  → Capacidad eléctrica de una batería

DOD → Profundidad de descarga

SOC → Estado de carga

VLA → Baterías de Plomo-Ácido de electrolito inundado o ventiladas

VRLA → Baterías de Plomo-Ácido selladas o reguladas por una válvula

SAI o UPS → Sistema de alimentación ininterrumpida

AGM → Batería VRLA Absorbed Glass Mat

NiCd → Batería basada en Níquel Cadmio

NiMh → Batería basada en Níquel Metal Hidruro

NiFe → Batería basada en Níquel Hierro

NiZn → Batería basada en Níquel Zinc

NiH → Batería basada en Níquel Hidrógeno

LCO → Óxido de Cobalto de Litio

NMC → Baterías de óxido de Cobalto, Manganeso y Níquel Litio

LMO → Baterías de Litio manganeso

LFP → Baterías de Litio fosfato Hierro

NCA → Baterías de Óxido de aluminio de Cobalto y Níquel Litio

LTO → Baterías de Titanato de Litio

NAS → Batería de Sulfuro de Sodio

PEMFC → Membrana de intercambio de protones

AFC → Alcalina

MCFC → Carbonato fundido

PAFC → Ácido fosfórico

SOFC → Óxido sólido

DMFC → Metanol directo

EDLC → Condensador básico electroquímico de doble capa

AEDLC → Condensador asimétrico electroquímico de doble capa

AVR → Automatic Voltage Regulator

BMS → Battery Management System

VEB → Vehículos eléctricos de Baterías

VEH → Vehículos Electricos híbridos

VEHR → Vehículo eléctrico híbrido recargable o enchufable

VEPC → Vehículos eléctricos de Pilas de Combustible