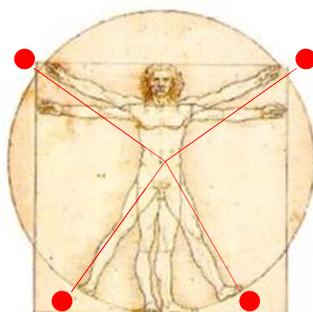


TECNOLOGÍ@ y DESARROLLO

Revista de Ciencia, Tecnología y Medio Ambiente

VOLUMEN XIV. AÑO 2016

SEPARATA



¿QUÉ DEBEMOS CONOCER DE LAS PILAS Y LAS BATERÍAS?

Vidal Martínez Mateo, Esther Guervós Sánchez



UNIVERSIDAD ALFONSO X EL SABIO
Escuela Politécnica Superior
Villanueva de la Cañada (Madrid)

© Del texto: Vidal Martínez Mateo, Esther Guervós Sánchez
Abril, 2016.
<http://www.uax.es/publicacion/que-debemos-conocer-de-las-pilas-y-las-baterias.pdf>
© De la edición: *Revista Tecnol@ y desarrollo*
Escuela Politécnica Superior.
Universidad Alfonso X el Sabio.
28691, Villanueva de la Cañada (Madrid).
ISSN: 1696-8085
Editor: Javier Morales Pérez – tecnologia@uax.es

No está permitida la reproducción total o parcial de este artículo, ni su almacenamiento o transmisión ya sea electrónico, químico, mecánico, por fotocopia u otros métodos, sin permiso previo por escrito de la revista.

¿QUÉ DEBEMOS CONOCER DE LAS PILAS Y LAS BATERÍAS?

Vidal Martínez Mateo(a), Esther Guervós Sánchez(b)

(a) Ingeniero Mecánico, Máster en Ingeniería Vehículos y Máster en Ingeniería Ambiental, Design and Process Engineer - Offshore Industrialization Alten Ingeniería para Adwen (Offshore Wind Turbines), e-mail: vidal.martinez@alten.es

(b) Doctora por la Escuela de Industriales de la UNED. Licenciada en Ciencias Físicas. Área de Matemáticas y Física Aplicadas. Universidad Alfonso X el Sabio Tf: 918109150, email: guervos@uax.es

RESUMEN: La necesidad de reducir las emisiones de gases contaminantes y de efecto invernadero, por un lado, y por otro el uso cotidiano y masivo de elementos portátiles que necesitan de electricidad, como ordenadores, teléfonos móviles, etc, ha hecho que el desarrollo tecnológico busque soluciones y mejoras en el almacenamiento de la energía eléctrica. En la actualidad las pilas y las baterías se han convertido, por su capacidad de adaptación a las necesidades y por su capacidad de ser transportables, en protagonistas como dispositivos acumuladores de energía eléctrica inclusive para vehículos eléctricos. Por estos motivos se plantea este trabajo y dar respuesta a: qué son las pilas, qué tipos existen y cuál es la base de su funcionamiento.

PALABRAS CLAVE: Energía, Electricidad, Electroquímica, Baterías, Emisiones, Vehículos, Normas, Reciclado

ABSTRACT: *The need to reduce the emission of pollutant and greenhouse effect gases, on the one hand, and for other one the daily and massive use of portable electronic devices that need electricity as computers, smartphones, etc, has done that the technological development looks solutions and improve the electric power storage. At present the primary and secondary batteries have turned, due his capacity of adjustment to the needs and for his aptitude to be transportable, into protagonists as devices of storage electric power inclusively for electrical cars. All these are the motives for which these work appears and giving response to: what are the batteries, what types exist, which is the base of his functioning.*

KEY-WORDS: *Energy, Electricity, Electrochemistry, Batteries, Pollution, Vehicles, Norms, Recycling*

SUMARIO: 1. Introducción, 2. ¿Qué son las pilas?, 2.1. Tipos de almacenamiento de energía, 2.2. Descripción de almacenamiento químico, 2.3. Conocer las pilas y las baterías, 3. Electroquímica básica, 3.1 Reacciones Redox, 3.2 Celdas electroquímicas, 4. Funcionamiento de las pilas, 4.1. Energía potencial, 4.2. Fuerza electromotriz, 5. Uso de pilas y baterías, 5.1. Tipos de pilas que se usan, 5.2. Tipos de baterías que se usan, 6. Normas, reciclaje y seguridad en pilas y baterías, 6.1. Normativa, 6.2. Aspectos de seguridad e higiene, 6.3. Aspectos para el reciclado, 7. Bibliografía

SUMMARY: 1. Introduction, 2. What are the Batteries? , 2.1. Energy Storage Forms, 2.2. Chemical Storage Description, 2.3. Know Primary and Secondary Batteries, 3. Electrochemistry, 3.1. Redox Chemical Reactions, 3.2. Electrochemistry Cells, 4. Batteries Working, 4.1 Electric Potential Energy, 4.2. Electromotive Force, 5. Primary and Secondary Battery uses, 5.1. Common Primary Battery Types, 5.2. Common Secondary Battery Types, 6. Technical, Safety and Recycling Norms, 6.1. Applied Norms, 6.2. Health and Safety Specifications, 6.3 Recycling Batteries, 7. Bibliography.

1. Introducción

La energía eléctrica es la forma de energía más habitual a obtener en la mayoría de las transformaciones energéticas, por la capacidad de ser transportada y la variedad de formas de obtenerla, consolidándose en la forma de energía más común. En el ámbito de los vehículos de transporte se está trabajando desde hace años en la búsqueda de vehículos autónomos, lo que ha llevado al desarrollo de diferentes sistemas de propulsión eléctrica.

Dicho sistema de propulsión eléctrico se remonta a 1881 desarrollado por Gustav Trouvé, Francia (Sociedad de Técnicos de Automoción, 2011, pág. 19). Fue precisamente a principios del siglo XX cuando se desarrolló la industria alrededor del vehículo eléctrico, como se constató en la muestra realizada en 1906 en el International Auto Show Madison Square Garden de Nueva York con más de 20 vehículos de propulsión eléctrica presentada (Sociedad de Técnicos de Automoción, 2011, pág. 20). En esa época, por cuestiones estéticas más que técnicas y por la ausencia de ruido y de emisiones de gases a la atmósfera, eran valorados por los usuarios pero no contaban con suficiente autonomía. Por lo que el vehículo eléctrico a baterías no fue capaz de igualar ni superar las prestaciones y autonomía que los vehículos con motores de combustión interna estaban consiguiendo.

Esta evolución más lenta en la función del uso de los vehículos autónomos con electricidad, es la que relegó los nuevos desarrollos en el transporte por carretera. No fue así en el ferrocarril donde el paso del carbón o el petróleo hacia los trenes eléctricos fue completo, gracias a la capacidad de transporte que presenta la energía eléctrica lo que permitió electrificar las vías.

A día de hoy la industria del transporte considera a la batería el principal impedimento para la implantación y desarrollo comercial de vehículos eléctricos autónomos.

En la última década del siglo XX, y más de 100 años después de los primeros desarrollos en vehículos autónomos a baterías, han sido las nuevas necesidades urbanas respecto de la calidad medio ambiental por ruido y emisiones a la atmósfera, y las necesidades y uso cotidiano de elementos portátiles que necesitan de electricidad (Ordenadores, Teléfonos Móviles, Reproductores de Música, Cámaras Fotográficas, etc.), lo que ha hecho que el desarrollo tecnológico haya vuelto de nuevo la mirada hacia las pilas y las baterías.

Un automóvil convencional con motor de gasolina convierte la energía química del combustible fósil en energía cinética (Eficiencia del Vehículo) del 15%, cuando un

automóvil eléctrico puede alcanzar el 67% (Sociedad de Técnicos de Automoción, 2011, pág. 26).

Ahora bien, la disponibilidad que se ha conseguido con los combustibles fósiles y los avances que han ido consiguiendo los vehículos de combustibles fósiles respecto de los vehículos eléctricos, ha hecho que prevalezca el uso de los combustibles fósiles en los vehículos. Sin embargo la preocupación creciente por la disponibilidad de energía (agotamiento de recursos naturales) y la contaminación atmosférica activan el interés hacia desarrollos eléctricos y hacia nuevos materiales y sus reacciones químicas, que son las que producen electricidad en las baterías.

Un acumulador es un dispositivo que permite almacenar energía eléctrica en forma de energía química que puede conservarla durante un tiempo y devolverla cuando es requerida en forma de electricidad con capacidad para recargar su energía y conservarla de nuevo durante un prolongado tiempo y debido a la necesidad de movilidad y para evitar la dependencia de la red eléctrica es interesante conocer qué son las pilas, las baterías y acumuladores de energía eléctrica.

2. ¿Qué son las pilas?

2.1. Tipos de almacenamiento de energía

Se conoce el convencional sistema de obtención de potencia a través de ciclos térmicos (motores de combustión interna alternativa) y también el de los medios químicos (almacenamiento de energía en baterías), pero además conviene recordar que existen otros métodos directos de conversión de la energía térmica en energía eléctrica, tales como:

- Generación Termoeléctrica: Basado en el fenómeno descubierto por Seebeck en 1821 (Eugene A. Avallone and Theodore Baumeister, 1995, pág. 9-176) al producirse corriente en un circuito cerrado entre dos metales semejantes que están a diferentes temperaturas. El efecto inverso descubierto en 1834 por Peltier (Eugene A. Avallone and Theodore Baumeister, 1995, pág. 9-176) es el del calentamiento o enfriamiento de la unión de 2 materiales termoeléctricos al paso de corriente eléctrica.
- Generación Magnetohidrodinámica (MHD): Mediante el flujo de un gas conductor eléctrico a través de un campo magnético.
- Generación Termiónica: Forma de obtención de energía eléctrica basada en los estudios de Schlichter de 1915 (Eugene A. Avallone and Theodore Baumeister, 1995, pág. 9-177) realizados en un sistema contenedor bien lleno con gas o bien

vacío, donde existen un emisor caliente (cátodo) y un emisor frío (ánodo) cuyas conexiones en circuito pueden producir corriente eléctrica.

- **Generación en Celda de Combustible:** Se puede determinar su origen en las experiencias de Grove en 1839 (Eugene A. Avallone and Theodore Baumeister, 1995, pág. 9-178) demostrando que se podía revertir la hidrólisis del agua. Una celda es un aparato electroquímico en el que se genera energía eléctrica gracias a las reacciones químicas pero que no alteran los componentes de la celda (cátodo y ánodo). Se diferencia de las celdas primarias y secundarias en que el cátodo, el ánodo y el electrolito son invariantes.
- **Generación Fotovoltaica:** Se trata de la conversión directa de la energía luminosa, fue descubierto por Becquerel en 1839 y llevó a desarrollar la célula fotovoltaica. (Eugene A. Avallone and Theodore Baumeister, 1995, pág. 9-179).

Las fuentes de energía empleadas para la generación de potencia han sido también diversas:

- Combustibles fósiles (carbón, petróleo, gas natural)
- Nuclear
- Biomasa (madera, vegetación)
- Hidráulica (almacenamiento en altura)
- Otras energías renovables (viento, sol, geotérmica, mareas)
- Fuentes de energía de origen animal (por el movimiento de animales)
- Fuentes de energía con origen en las basuras (desechos domésticos, industriales o agrícolas en incineradoras)

Históricamente el empleo del agua en altura o en corriente, la madera o el viento ocuparon el lugar principal como fuente de obtención de potencia, pasando el testigo a través de la revolución industrial al vapor y a los combustibles fósiles gracias a lo apropiado de éstas fuentes térmicas para su uso estacionario (en plantas) o de transporte (vehículos de todo tipo).

El producto final mayoritario de las plantas de obtención de energía es la obtención de energía eléctrica por su capacidad de distribución y las posibilidades de control que tiene, sin embargo su portabilidad (tamaño, volumen, peso) todavía no permite almacenarla de manera tan práctica y eficaz como la conseguida por los combustibles fósiles. Esta característica deficiente en el almacenamiento de energía eléctrica es un elemento a seguir desarrollando, abierto a nuevas ideas, pruebas, experimentaciones y desarrollos, máxime cuando:

- El desarrollo tecnológico de la electrónica de consumo ha demostrado el importante uso y necesidad de baterías para su uso y portabilidad.
- La contaminación atmosférica que originan los combustibles fósiles recomienda buscar, desarrollar y aplicar otras fuentes de energía con menos generación de residuos a la atmósfera para el transporte.

A parte del almacenamiento de energía eléctrica en baterías existen otros sistemas que se pueden emplear como contenedores de energía. Hay que destacar al hidrógeno, que es atractivo porque en su combustión al quemarse con oxígeno no se produce humo ni partículas, siendo el resultado de su proceso de combustión vapor de agua. Es importante conocer que si el hidrógeno se quemara con aire podría formar NO_x debido al contenido de N del aire y por tanto sería perjudicial para el medio ambiente.

El potencial de combustión del hidrógeno es 61.000 btu/lb equivalente a 140.000 kJ/kg respecto del Gas Natural (24.000 btu/lb), la gasolina 20.500 btu/lb (Eugene A. Avallone and Theodore Baumeister, 1995, pág. 9-201) pero sin embargo presenta una deficiencia volumétrica. El hidrógeno es un gas a temperaturas normales siendo su punto crítico de 33K a 12atm, lo que determina la necesidad de comprimirlo a alta presión (50-100atm) para poder competir con el volumen de un depósito de gasolina si se compara con un vehículo con motor de combustión convencional. Es precisamente este proceso y consumo de energía para la compresión y almacenamiento, y los requerimientos de seguridad de la alta presión, los que limitan todavía la aplicación del hidrógeno a mayor escala. Sin embargo es importante destacar al hidrógeno como un vector energético que aporta una cualidad limpia en su combustión con oxígeno.

Otra forma de almacenamiento de energía es la aplicada mediante volantes de inercia según una idea desarrollada y presentada en un primer simposio en 1975 (Eugene A. Avallone and Theodore Baumeister, 1995, pág. 9-202). Es esta una forma de almacenar energía cinética y que proviene del uso del volante como equilibrador de la velocidad de giro para realizar la operación de rotación de motores más suave, además de aportarle capacidad de movimiento en momentos de arranque y como apoyo inercial durante el giro.

Es un sistema de almacenamiento interesante por su sencillez tanto en el concepto como en la disposición mecánica y porque es fácil de acoplar el sistema a generadores y motores eléctricos. El número de ciclos de carga y descarga no tiene limitación concreta salvo la estimada para sus componentes operativos (eje, rodamiento, volante).

Los proyectos de volantes de inercia se han desarrollado para plantas prototipo y para el desarrollo de sistemas de acumulación de energía en vehículos a través del denominado KERS – Kinetic Energy Recovery System empleado por ejemplo en Fórmula 1. Sin embargo su restricción es el volumen que ocupa, porque para una

cantidad de energía necesaria el parámetro diámetro del volante limita también su uso y salvo ayudas a la aceleración (KERS) su uso está orientado a aplicaciones experimentales específicas en plantas de almacenamiento de energía.

En la Figura 2.1 se resumen la variedad comentada de sistemas de almacenamiento y de fuentes de energía, que cubren un amplio abanico de tecnologías.

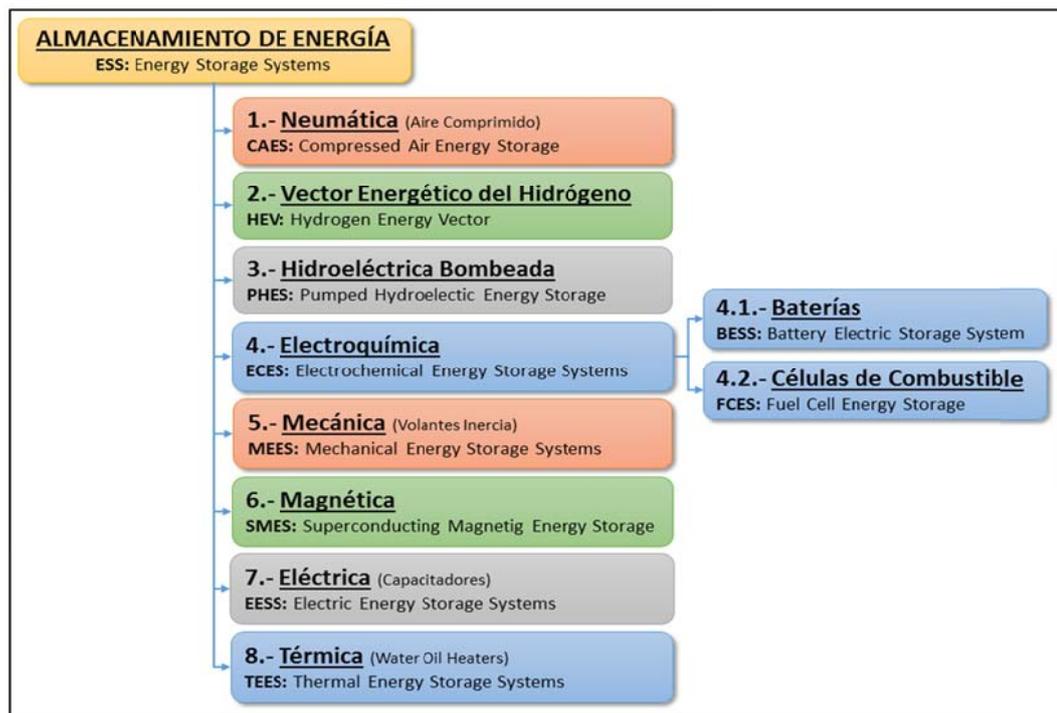


Fig. 2.1 Sistemas de almacenamiento de energía. Fuente: Elaboración Propia

2.2. Descripción de almacenamiento químico

En cuanto al almacenamiento químico de energía eléctrica existen 2 tipos de células: Células Primarias y Células Secundarias. Una pila es una célula primaria que produce electricidad mediante un proceso químico irreversible. Una batería es una célula secundaria que actúa de acuerdo a un principio reversible y es posible recargarla varias veces conectándolas a una fuente de corriente eléctrica.

Las células primarias comúnmente denominadas pilas por la forma apilada que tenía la primera célula primaria desarrollada por Alessandro Volta (Eugene A. Avallone and Theodore Baumeister, 1995, pág. 9-176) actualmente se presentan en diferentes formatos y medidas. Estos formatos denominados encapsulados se presentan en tamaños llamados CR, AA, AAA, C, D, 9v, 6v, de Botón,... etc., con un valor eléctrico que oscila entre 1,5 y 12V de acuerdo a la Norma Europea IEC 60086-1.

Las baterías sin embargo son conjuntos de pilas y presentan una mayor capacidad eléctrica mediante la conexión de otras células primarias o secundarias. Estas células pueden conectarse en serie, o paralelo o también puede realizarse una conexión mixta serie-paralelo. Esta combinación de conexiones serie-paralelo es la que determina finalmente la capacidad eléctrica total constituyente de cada batería o acumulador eléctrico.

Los acumuladores, que son también comúnmente llamados baterías, como las pilas, basan su funcionamiento en la electroquímica. En el caso de las pilas como células primarias no hay reversibilidad y por tanto no son recargables, pero en el caso de las baterías y acumuladores realizados con células secundarias sí hay reversibilidad y por tanto pueden recargarse de nuevo.

Este proceso químico se realiza gracias al diferente potencial eléctrico de sus materiales internos constituyentes y que genera un intercambio de electrones cuando se conectan eléctricamente en un circuito aportando al sistema energía eléctrica.

En el caso de los vehículos el uso de baterías está basado en células de formas y tamaños adecuados a las necesidades que el fabricante necesite gracias precisamente a esa suma de células secundarias que permite también una colocación lo más adecuada posible a la necesidad. En general los sistemas que forman parte de un vehículo eléctrico son los descritos en la Figura 2.2:

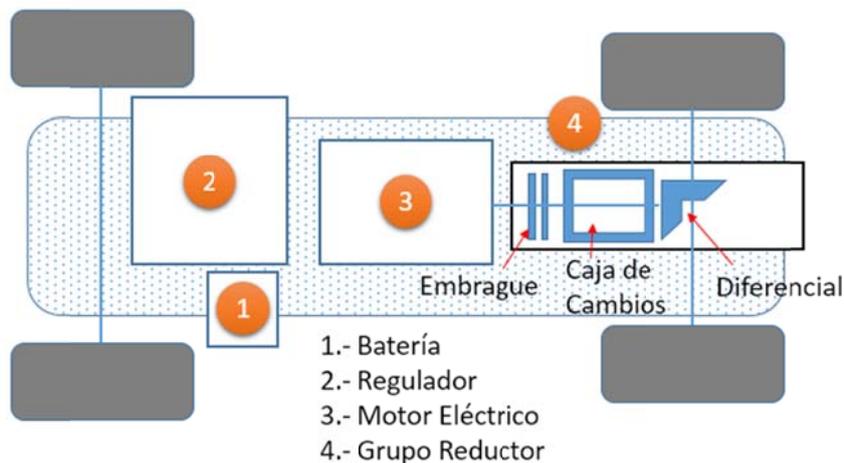


Fig. 2.2 Componentes Vehículo Eléctrico. Fuente: Elaboración Propia

2.3. Conocer las pilas y las baterías

Las pilas primarias a través del estándar IEC 60086 se organizan químicamente para que los fabricantes puedan ofrecerlas para su empleo en diferentes sistemas y aparatos eléctricos y electrónicos, tal como se muestra en la Tabla 2.1:

Sistema Electroquímico	Letra
Zn-C (Pila Salina)	-
An-MnO ₂ (Pila Alcalina)	L
Li-MnO ₂ (Litio-Dióxido de Manganeso)	C
Li-FeS ₂ (Litio-Disulfuro de Hierro)	F
Zn-O ₂ (Aire-Zinc)	P
Zn-AgO ₂ (Óxido de Plata)	S ó T

Tabla 2.1 Letras del Sistema Electroquímico según IEC 60086 (J.L. Durán, J. Gamiz, J. Domingo, H. Martínez, 2009, pág. 76)

En cuanto a la forma que pueden adquirir las pilas y tomando el código IEC se describen las formas de acuerdo a letras: la letra R designar las cilíndricas, la letra S las planas y la letra F las paralelepípedas. En la Tabla 2.2 se reflejan las pilas de consumo más habituales:

Código Tamaño	Código de Estandarización		Dimensión Pila (mm)	
	IEC	ANSI	Diámetro	Altura
N	LR1	23A	12	30,2
AAA	LR03	24A	10,5	44,5
AA	LR6	15A	14,5	50,5
C	LR14	14A	26,2	50
D	LR20	13A	34,2	61,5

Tabla 2.2 Codificación de forma y Tamaño de pilas primarias más habituales (J.L. Durán, J. Gamiz, J. Domingo, H. Martínez, 2009, pág. 75)

El término batería hace referencia tanto a células de almacenamiento primarias como secundarias, ahora bien, las células de almacenamiento secundarias son en general conocidas como baterías de almacenamiento o acumuladores de energía.

En ambos casos cada célula individual consiste en esencia en un electrodo positivo y otro negativo sumergidos o contenidos en un fluido, gel o material sólido (baterías secas), denominado electrolito separados ambos electrodos por una pared porosa no conductiva denominada separador.

Por tanto un elemento de almacenamiento de energía o batería de almacenamiento de energía consta de 3 elementos básicos:

- Electrodo
- Electrolito
- Separador

Los electrodos deben ser de material conductor y la característica diferencial entre ambos es que deben tener diferente potencial eléctrico cuando están contenidos en el mismo electrolito. Es precisamente ésta diferencia de potencial eléctrica la que representa la fuerza electromotriz que genera en el circuito eléctrico tensión eléctrica.

La energía eléctrica obtenida por el circuito eléctrico a través de los electrodos proviene de la energía química que contiene el electrolito debido a las reacciones que en él se producen al conectar los electrodos al circuito.

Las baterías de acuerdo a la tecnología de recarga, se pueden clasificar por tipos, tal como se muestra en la Figura 2.3:

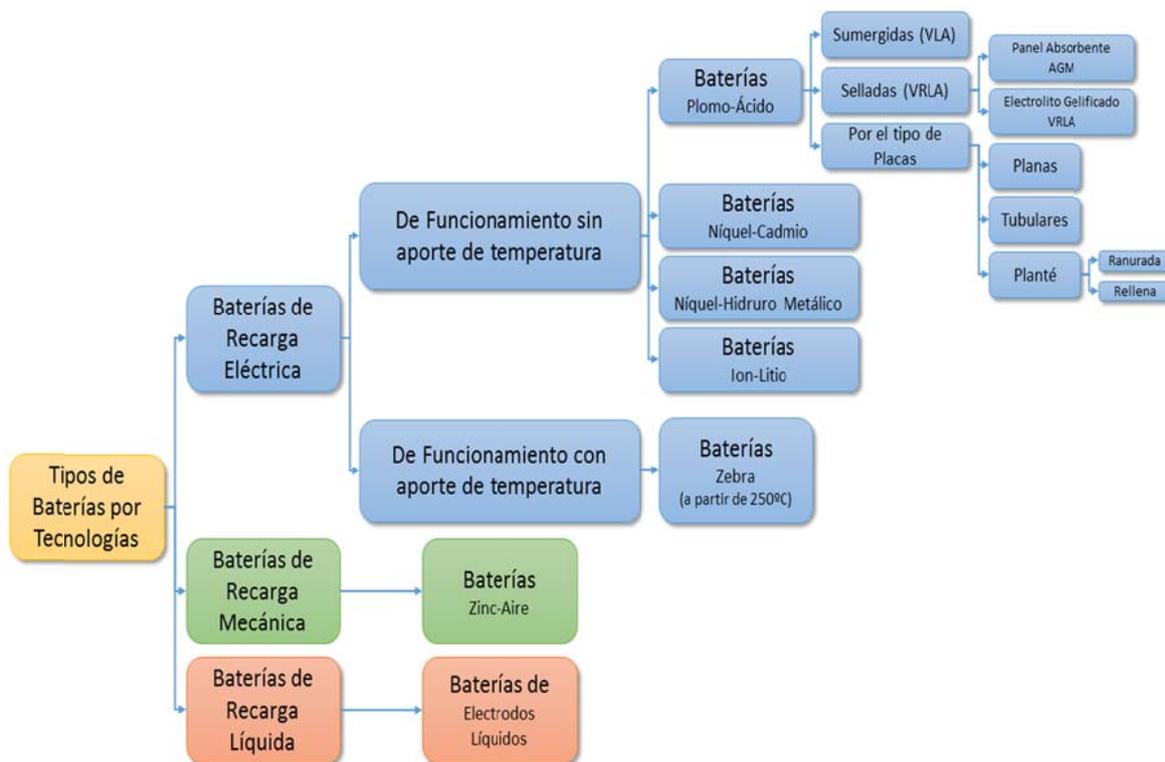


Fig. 2.3 Tipos de Baterías por su Tecnología. Fuente: Elaboración Propia

3. Electroquímica básica

La diferencia entre las células primarias y secundarias, ya se ha indicado que está en la reversibilidad o no de las reacciones químicas que se producen en el electrolito. Las reacciones químicas contenidas en el electrolito se denominan reacciones de oxidación-reducción conocidas como Redox.

3.1. Reacciones redox

Cuando dos metales o electrodos, se ponen en contacto a través de un electrolito, parte de los electrones libres pueden pasar de uno a otro tal como se ve en la Figura 3.1, y en los 2 metales se realiza conjunta y simultáneamente una reacción química (J.L. Durán, J. Gamiz, J. Domingo, H. Martínez, 2009, pág. 73).

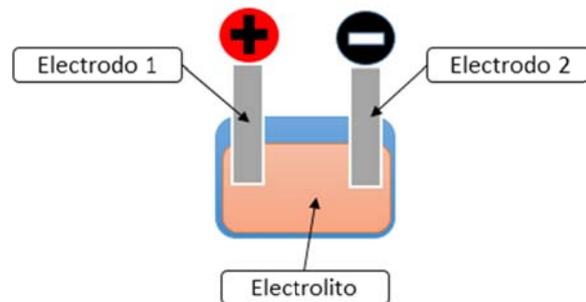


Fig. 3.1 Esquema básico de una pila, batería o acumulador. Fuente: Elaboración Propia

Estas reacciones químicas espontáneas dejan electrones libres (oxidación) en uno de los electrodos mientras que el otro electrodo absorbe electrones (reducción), produciéndose un defecto de los mismos activándose en conjunto la reacción de oxidación y reducción que a nivel eléctrico se trata de perder o ganar electrones en cada electrodo tal como se representa en la Figura 3.2. Este es el motivo por el que éste tipo de reacción química se denomina Redox: Reducción-Oxidación (Juan José Novoa Vide, 2002, pág. 104). En caso de que la reacción deba realizarse mediante aporte de energía eléctrica se denominan reacción electrolítica y que en cierto modo hace que la reacción electrolítica sea la inversa de la reacción redox que tiene lugar entre los electrodos de la pila, batería o acumulador (Francisco Navarro González, 2015, pág. 185).

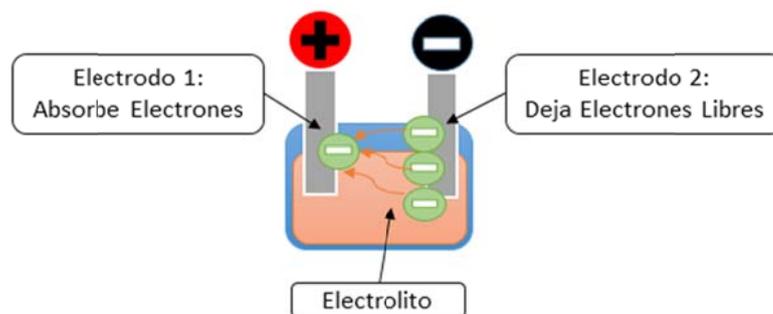


Fig. 3.2 Reacción química oxidación-reducción. Fuente: Elaboración Propia

Como consecuencia del desequilibrio de carga eléctrica y al producir la transferencia de electrones entre ambos electrodos, hace que si se conectan los electrodos a través de un circuito aparezca una corriente eléctrica entre ambos polos.

Los electrodos siguiendo el criterio de la IUPAC (International Union of Pure and Applied Chemistry) se denominan como sigue (Pablo Alcalde San Miguel, 2015, pág. 98):

- **Ánodo:** Electrodo en el que tiene lugar la oxidación
- **Cátodo:** Electrodo donde tiene lugar la reducción

Como se ha indicado el electrolito es el agente que permite el intercambio de electrones entre los electrodos y en el caso de los acumuladores de plomo-acido consiste en una disolución salina o ácida. Se pueden emplear diferentes electrolitos, pero en el caso de los electrolitos ácidos se emplea comúnmente ácido sulfúrico (H_2SO_4) que es el caso de las baterías de plomo-ácido. En el caso de que el electrolito sea una disolución salina se emplea un elemento alcalino como el potasio (K) para obtener hidróxido potásico (KOH), empleado habitualmente en las baterías de níquel-cadmio y níquel hierro (Pablo Alcalde San Miguel, 2015, pág. 98).

3.2. Celdas electroquímicas

Descrito el tipo de reacción y los actores que participan se puede introducir lo que se denomina célula electroquímica (Juan José Novoa Vide, 2002, pág. 104): sistema heterogéneo formado por dos conductores metálicos denominados electrodos que están en contacto con un conductor iónico denominado electrolito. El electrolito puede ser una disolución o un sólido. El conjunto electrodo-electrolito se denomina compartimento electródico. Los electrodos pueden compartir el mismo electrolito o estar en diferentes compartimentos por tanto en éste último caso para que la célula electroquímica funcione los compartimentos deben unirse (mediante puentes salinos o cable conductor).

Las células electroquímicas se clasifican en los siguientes grupos (Juan José Novoa Vide, 2002, pág. 104):

- **Células Galvánicas:** Normalmente denominadas simplemente pilas y en las que se produce la electricidad espontáneamente al conectar ambos electrodos en un circuito cerrado. Estas pilas de acuerdo al proceso electroquímico que tiene lugar se dividen en dos grupos (Juan José Novoa Vide, 2002, pág. 115):
 - **Pilas Químicas:** Pilas en las que durante el proceso electroquímico un tipo de iones se transforma en otro distinto y a su vez éste grupo puede subdividirse en:
 - **Pilas Químicas con transporte:** Cuando hay transporte de material entre los compartimentos anódico y catódico.

- Pilas Químicas sin transporte: Cuando no existe transporte entre los compartimentos anódico y catódico.
- Pilas de Concentración: Pilas en las que el proceso electroquímico consiste en el cambio de concentración de una especie que puede producirse en el electrodo o en el electrolito e igualmente este grupo se subdivide en:
 - Pilas de Concentración con transporte: Cuando hay transporte de material entre los compartimentos anódico y catódico.
 - Pilas de Concentración sin transporte: Cuando no existe transporte entre los compartimentos anódico y catódico.
- Células Electrolíticas: Aquellas en las que no se produce una reacción espontánea y necesitan de una fuente externa de corriente eléctrica para iniciar la reacción química.

4. Funcionamiento de las pilas

Se ha descrito cómo las pilas y las baterías son células electroquímicas que aportan electricidad que en función de su reversibilidad o son células primarias o secundarias y que en función de la generación espontánea o no son células galvánicas o electrolíticas.

Puesto orden en este ámbito es necesario conocer cuál es la cantidad de energía que pueden aportar gracias a los diferentes elementos que las constituyen.

4.1. Energía potencial

En el apartado 3.1-Reacciones Redox se ha resumido cómo entre dos electros se genera ganancia y pérdida de electrones lo que origina la corriente eléctrica. Para evaluar ésta capacidad de pérdida o ganancia de electrones se han medido las sustancias contra un elemento patrón (el hidrógeno) para evaluar la diferencia de potencial eléctrico que se genera debido a la diferente tensión electroquímica de las sustancias, tal como se muestra en la Tabla 4.1:

POLO	Electrodo	Elemento	Símbolo	Tensión	
	Cátodo	Oro	Au	+1,50V	1,5
		Platino	Pt	+0,86V	0,86
		Plata	Ag	+0,80V	0,8
		Mercurio	Hg	+0,79V	0,79
		Carbono	C	+0,74V	0,74
		Cobre	Cu	+0,34V	0,34
		Bismuto	Bi	+0,28V	0,28
		Antimonio	Sb	+0,14V	0,14
		REFERENCIA	Hidrógeno	H	+0V
	Ánodo	Plomo	Pb	-0,13V	-0,13
		Estaño	Sn	-0,14V	-0,14
		Níquel	Ni	-0,23V	-0,23
		Cobalto	Co	-0,29V	-0,29
		Cadmio	Cd	-0,40V	-0,4
		Hierro	Fe	-0,44V	-0,44
		Cromo	Cr	-0,56V	-0,56
		Zinc	Zn	-0,76V	-0,76
		Manganeso	Mn	-1,10V	-1,1
		Aluminio	Al	-1,67V	-1,67
		Magnesio	Mg	-2,40V	-2,4
		Sodio	Na	-2,71V	-2,71
		Potasio	K	-2,92V	-2,92
		Litio	Li	-2,96V	-2,96

Tabla 4.1 Tensiones Electroquímicas (JL. Durán, J. Gamiz, J. Domingo, H. Martínez, 2009, pág. 74)

Tomando la información de Tabla 4-1 se puede introducir lo que se denomina fuerza electromotriz de una pila (abreviado f.e.m., fem) como la diferencia de potencial que existe entre los terminales eléctricos de la pila cuando el circuito está abierto, esto es, cuando por el circuito no circula corriente que es equivalente a que la pila no esté conectada a ningún elemento consumidor (Juan José Novoa Vide, 2002, pág. 108).

De acuerdo al convenio de la IUPAC para pilas, la fem se obtiene haciendo la resta del potencial de los terminales eléctricos de reducción (polo positivo o cátodo) menos el potencial de oxidación (polo negativo o ánodo) (Juan José Novoa Vide, 2002, pág. 108). Si se toma como ejemplo la pila húmeda primaria de Daniell de 1836 (José Fullea García, 1994, pág. 2) que contaba con un electrodo positivo de Cobre (Cu) y un electrodo negativo de Zinc (Zn), el valor total de diferencia de potencial, fem, obtenido de acuerdo a la convención IUPAC sería:

- Electrodo Positivo: Cu $\rightarrow E_+ = 0.34V$

- Electrodo Negativo: Zn $\rightarrow E_- = -0.76V$
- Potencial Eléctrico Total en Circuito Abierto:

$$E_+ - (E_-) = 0.34V - (-0.76V) = 1.10V \quad (\text{Ec. 4.1})$$

Empleando el mismo método para analizar el potencial eléctrico de la pila seca primaria de Leclanché de 1860 (José Fullea García, 1994, pág. 2) empleando un electrodo positivo de Carbono (C) y un electrodo negativo de Zinc (Zn) con un electrolito de amonio se tiene:

- Electrodo Positivo: C $\rightarrow E_+ = 0.74V$
- Electrodo Negativo: Zn $\rightarrow E_- = -0.76V$
- Potencial Eléctrico Total en Circuito Abierto:

$$E_+ - (E_-) = 0.74V - (-0.76V) = 1.50V \quad (\text{Ec. 4.2})$$

Por tanto ésta combinación en su forma seca y con una tensión de 1,5V es la base del tipo de pilas que permanece en las empleadas hoy y la manera de evaluar y conocer el potencial eléctrico.

4.2. Fuerza electromotriz

Respecto de la fuerza electromotriz un generador de corriente continua, las pilas, baterías y acumuladores son generadores de corriente continua, cuando suministra corriente al circuito al que se conecta sufre una caída en su fuerza electromotriz debida a la resistencia interna del generador, por tanto la f.e.m. en vacío o en bornes abiertos no conectados a un circuito de un generador, E , es mayor que la f.e.m. del generador cuando se conecta al circuito E_c (Pablo Alcalde San Miguel, 2015, pág. 101-102):

$$E_c = E - (\text{Caída de tensión debida a la resistencia interna del generador}) \quad (\text{Ec. 4.3})$$

La caída de la resistencia del generador se calcula aplicando la Ley de Ohm:

$$(\text{Caída de tensión debida a la resistencia interna del generador}) = r \cdot I \quad (\text{Ec. 4.4})$$

Con I la corriente suministrada por el generador del circuito (que depende de la demanda) y r la resistencia interna del generador.

Por tanto con las dos expresiones anteriores se obtiene finalmente la caída de tensión en bornes del generador cuando se conecta a un circuito de resistencia total R :

$$E_c = E - r \cdot I \quad (\text{Ec. 4.5})$$

Se comprueba por tanto cómo la tensión que suministra el generador es dependiente de la demanda y será menor conforme aumente la corriente suministrada. En la Figura 4.1 se representa esquemáticamente la tensión en bornes del generador en circuito abierto y en circuito cerrado para la resistencia interna del generador r y con una resistencia total del circuito R :

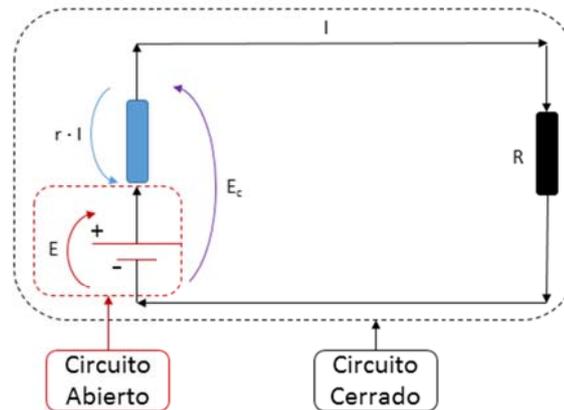


Fig. 4.1 Tensión en bornes del generador. Fuente: Elaboración Propia

Por tanto conocido el potencial eléctrico y de acuerdo a la tensión en bornes del generador, bien pila o bien batería, se obtiene la tensión eléctrica que puede suministrar.

5. Uso de pilas y baterías

5.1. Tipos de pilas que se usan

En la actualidad las pilas comercializadas son pilas galvánicas químicas sin transporte, y suelen ser de alguno de los siguientes tipos (JL Durán, J.Gamiz, J.Domingo, H. Martínez, 2009, pág. 75):

- Pilas Secas (Zn-C): Se construyen en forma cilíndrica o plana y generan una fuerza electromotriz de 1,5V. Para obtener pilas comerciales de mayor tensión se conectan en serie obteniéndose las pilas llamadas de petaca con tensiones de 4,5V (3 pilas de 1,5V conectadas en serie), y 9V (6 pilas de 1,5V conectadas en serie).
- Pilas Alcalinas (Zn-MnO₂): Son pilas con tensión de 1,5V y alimentan la mayoría de aparatos electrónicos de consumo como cámaras de fotos, reproductores de CD, etc.
- Pilas de Litio (Li-MnO₂): Son pilas que proporcionan una tensión de 3V y se caracterizan por tener una entrega de electricidad constante con capacidad de entregar momentáneamente gran energía de ahí que se usen en fotografía para flash.
- Pilas de Zinc-Aire (Zn-O₂): Tienen la mejor densidad de energía (energía/volumen o energía/peso) proporcionando una tensión 1,4V y son ampliamente empleadas en audífonos e instrumentos de monitorización médica.
- Pilas de Óxido de Plata (Zn-AgO₂): Cuentan también con una elevada relación energía/masa (Densidad de Energía) y suministran hasta 1,55V. Son pilas de amplio uso en equipos electrónicos de pequeño tamaño como relojes, calculadoras, marcapasos y audífonos.

5.2. Tipos de baterías que se usan

Existen dos tipos de baterías por su función: las de arranque y las industriales. Las baterías de arranque, ignición e iluminación de vehículos con motores de combustión interna alternativos, denominadas SLI (Start, Light and Ignition), están preparadas para ceder mucha intensidad en poco tiempo, aceptan solo descargas superficiales y son poco resistentes al ciclado. Y las baterías industriales IB (Industrial Batteries), que a su vez pueden ser de dos tipos (Figura 5.1):

- Baterías industriales de Tracción: Se emplean para alimentar a vehículos eléctricos y están preparadas para cargas y descargas profundas y rápidas. Tienen una alta resistencia al ciclado
- Baterías industriales estacionarias: Son baterías que permanecen largos períodos de tiempo en flotación, esto es, totalmente cargadas, y tienen la capacidad de resistir descargas profundas y esporádicas. Son utilizadas en sistemas de almacenamiento de energía en plantas solares y eólicas, centros de regulación y

control en transformadores, empleo en Sistemas de Alimentación Ininterrumpida (SAI) y sistemas de iluminación de emergencia.

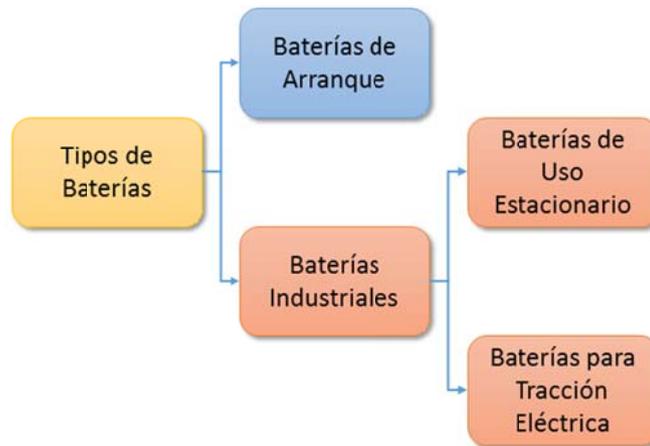


Fig. 5.1 Tipos de baterías. Fuente: Elaboración Propia

La clasificación de baterías en función del tipo de aplicación está relacionada con la entrega de corriente. En el caso de las baterías de arranque la entrega es elevada en un período de tiempo muy corto, carga que se repone una vez que el vehículo ha arrancado y el alternador comienza la recarga de la batería de arranque.

Las baterías industriales están diseñadas para entregar energía durante un tiempo, cumplido el cual se realiza el proceso de recarga para prepararlas para el siguiente proceso o ciclo de trabajo. Lo cual se representa en las Figuras 8 y 9:



Fig. 8 Batería Industrial Estacionaria¹

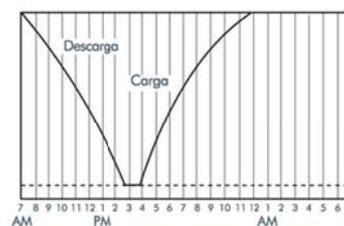


Fig. 9 Batería Tracción Eléctrica¹

¹ Acumuladores Duncan, [en línea]: Tipos de Baterías según su aplicación. [http://www.duncan.com.ve/co_tipos.php]

La batería adquiere una función primordial en los vehículos actuales porque cuando el motor está parado el generador (alternador del vehículo), no dispone de energía y es gracias a la batería por lo que puede accionarse el motor de arranque. Igualmente y gracias a la batería pueden accionarse los cierres centralizados, las luces interiores, de posición y los cristales de las ventanillas, en general los accesorios eléctricos del automóvil pueden funcionar sin el motor y gracias a la energía eléctrica almacenada en la batería.

Ahora bien la batería en los automóviles tiene un papel de regulador del circuito de generación porque estabiliza la tensión manteniendo la tensión nominal en el sistema. Tomando el símil hidráulico y de acuerdo con los vasos comunicantes podría decirse que la batería cede caudal cuando el nivel de tensión en el circuito es inferior al nominal y absorbe caudal cuando el nivel de tensión es superior al nominal (dentro de un rango de trabajo).

Si sumamos ésta función primordial que realizan las baterías en los vehículos a que se convierta en el único suministrador de energía del vehículo nos encontramos entonces con un sistema que adquiere el protagonismo total y absoluto en los vehículos eléctricos.

En el desarrollo de baterías el objetivo común es el de maximizar la cantidad de energía que se puede almacenar, es decir su capacidad (Q) medida en Culombios (C) o Amperios-hora (Ah). Este parámetro es el requisito principal a la hora de seleccionar la batería y se relaciona con la masa y el volumen de la batería a través de la energía específica o energía por unidad de masa medida en Wh/kg, y a través de la densidad de energía o energía por unidad de volumen medida en Wh/l).

6. Normas, reciclaje y seguridad en pilas y baterías

6.1. Normativa

La norma internacional sobre baterías industriales plomo-ácido base y de referencia por sus requisitos generales y métodos de ensayo cuando se realizan los ensayos de capacidad nominal es IEC 896 que se identifica también como IEC 60896 y EN 60896. Esta norma cuenta con dos partes:

- Parte I (IEC 60896-1): Hace referencia a baterías estacionarias de plomo-ácido abiertas o ventiladas (VLA)
- Parte II (IEC 60896-2): Hace referencia a baterías estacionarias de plomo-ácido selladas (VRLA)

Otras normas de referencia serían las siguientes:

- IEC 61056-1: Requisitos generales y características funcionales para las baterías VRLA. Esta norma se aplica a todas las baterías VRLA pequeñas.
- IEC 60254: Requisitos generales y métodos de ensayo de baterías de plomo ácido para uso de tracción eléctrica. Dimensiones de las celdas y bornes.
- BS 6290-1: Especificación de requisitos generales de baterías de plomo ácido estacionarias del tipo ventiladas (VLA).
- BS 6290-4: Especificación de requisitos generales de baterías de plomo ácido estacionarios del tipo reguladas por válvula (VRLA).

Respecto de los métodos de ensayo hay que destacar las normas IEEE 484 – IEEE 485. Este conjunto contiene las prácticas recomendadas para dimensionar y diseñar la instalación de baterías plomo ácido cuya carga es variable, típico en subestaciones y estaciones transformadoras.

Para el conjunto de baterías plomo-ácido que puedan emplearse en sistemas de energías renovables se pueden referenciar las siguientes:

- IEEE 937: Práctica recomendada para instalación y mantenimiento de baterías de plomo ácido para sistemas fotovoltaicos.
- IEEE 1013: Práctica recomendada para dimensionar baterías de plomo ácido para sistemas fotovoltaicos.
- IEEE 1189: Es un complemento de la 1188, que contiene una “Guía para la selección de baterías VRLA para aplicaciones estacionarias”.

6.2. Aspectos de Seguridad e Higiene

Conocidos los sistemas de almacenamiento de energía y dentro de ellos los referentes a las baterías y con más detalle las de plomo-ácido es importante destacar que para evitar su deterioro se deben tener en cuenta métodos de ensayo estándares y prácticas comunes las cuáles están reflejadas en las normas IEEE 450 – Inspecciones de prueba de capacidad y prueba de descarga, IEEE 1188 Inspecciones prueba de capacidad y prueba de descarga e IEEE 1106 Inspecciones prueba de capacidad que aportan los métodos orientados a obtener un proceso de carga y descarga controlado.

En el caso de las baterías de Plomo-Ácido si no se controlan estos procesos en el electrolito se produce exceso de oxígeno que comienza a oxidar con más intensidad el plomo afectando a la vida de la batería y produciéndole una muerte súbita porque se produce el fallo sin dar aviso.

Esta generación de oxígeno también provoca una gasificación excesiva que por los tapones (en baterías sumergidas), o por las válvulas de regulación (en baterías selladas VRLA), es expulsado fuera de la batería. Este material contiene ácido sulfúrico el cuál daña los terminales de salida y disminuyendo la cantidad de ácido dentro de la batería por tanto afectando a la capacidad de la misma lo que debe protegerse realizando un proceso de carga teniendo en cuenta éste fenómeno.

Por este motivo se deben tener medidas de seguridad en los bancos de baterías y se debe actuar sobre los riesgos existentes en las operaciones que se llevan a cabo en los locales destinados a la carga, mantenimiento y almacenamiento de las baterías de acumuladores eléctricos de plomo-ácido sulfúrico. A éste respecto está la NTP-621 del Ministerio de Trabajo y el Instituto de Seguridad e Higiene en el Trabajo (Instituto de Seguridad e Higiene en el Trabajo, 2001) sobre Locales de carga de baterías de acumuladores eléctricos de plomo-ácido sulfúrico para que la operación de carga y descargar pueda repetirse muchas veces realizándola en condiciones de seguridad siendo por tanto importante las necesidades de ventilación de los locales.

Los riesgos en operaciones con baterías de plomo-ácido son los siguientes:

- Riesgo de contacto y proyección de ácido sulfúrico
- Riesgo de contacto con la corriente eléctrica en la utilización de los equipos de carga
- Riesgo de explosión ocasionado por el desprendimiento de hidrógeno y oxígeno en presencia de un foco de ignición. Desprendimiento de hidrógeno: El hidrógeno es un gas extremadamente inflamable y si se encuentra en las concentraciones del rango de inflamabilidad o explosividad en un recinto cerrado, existe el riesgo de explosión ante la presencia de cualquier foco de ignición. El desprendimiento de hidrógeno y oxígeno tiene lugar en la reacción de electrolisis del agua durante la fase final de carga y especialmente si ocurre sobrecarga. Se debe evitar una concentración que alcance el límite inferior de explosividad del hidrógeno, que es 4% en volumen en aire.
- Riesgos mecánicos de caída de objetos pesados y riesgo de tropiezos con cables u objetos en lugares de paso.
- Riesgos higiénicos por inhalación de aerosoles de ácido sulfúrico.

6.3. Aspectos para el reciclado

Las baterías de plomo-ácido están sometidas a legislación para obtener una adecuada gestión de los residuos. En concreto se tiene:

- Nivel Europeo → Directiva 2006/66/CE del Parlamento Europeo y del Consejo.
- Nivel Nacional → Se tienen las siguientes referencias documentales:
 - Ley 10/1998 de Residuos
 - Real Decreto 106/2008 sobre pilas y acumuladores y la gestión ambiental de sus residuos lo referente a las plantas de tratamiento y reciclaje se detallan en el texto las instrucciones técnicas y condiciones a que deberán ajustarse y el régimen jurídico para la autorización de estas instalaciones. Este real decreto se aplica a todo tipo de pilas, acumuladores y baterías, independientemente de su forma, volumen, peso, composición o uso
 - Real Decreto 943/2010 que introduce modificaciones al Real Decreto 106/2008.
 - Real Decreto 1383/2005, de 25 de febrero, sobre aparatos eléctricos y electrónicos y la gestión de sus residuos y sin perjuicio de lo establecido en los anteriores Reales Decretos.

La legislación indica para los Residuos de Pilas y Acumuladores (RPA) que debe realizarse por procedimientos específicos y selectivos (de forma diferenciada al resto de residuos)

La Directiva 2006/66/CE del Parlamento Europeo y del Consejo la Comunidad Europea intenta armonizar las disposiciones nacionales en materia de pilas y acumuladores y de residuos de estos. La directiva prohíbe la puesta en el mercado de determinadas pilas y acumuladores que contengan mercurio o cadmio.

Las normas específicas de recogida y reciclado que completan la legislación son:

- Directiva 2006/12/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 5 de abril de 2006, relativa a los residuos
- Directiva 1999/31/CE del Consejo, de 26 de abril de 1999 Relativa al convertido de residuos
- Directiva 2000/76/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 4 de diciembre de 2000, relativa a la incineración de los residuos. Esta Directiva se aplica a todo tipo de pilas y acumuladores, independiente de su forma, volumen, peso, composición o uso. Se aplicará sin perjuicio de las Directivas 2000/53/CE y 2002/96/CE y no se aplicará a las pilas y acumuladores utilizados en equipos relacionados con la protección de los intereses esenciales de seguridad de los estados miembros.

7. Bibliografía

- ACUMULADORES DUNCAN (2015): *Baterías según su aplicación*, Disponible en internet, http://www.duncan.com.ve/co_tipos.php
- EUGENE A. AVALLONE, THEODORE BAUMEISTER (1995): *Manual del Ingeniero Mecánico*, Editado por Mc Graw Hill, pp. 9-176, 177, 178, 179, 201, 202
- FRANCISCO NAVARRO GONZÁLEZ (2015): *Química para Bachillerato*, Editorial Espasa Libros S.L., pp. 185
- JOSÉ FULLEA GARCÍA (1994): *Acumuladores Electroquímicos*, Editado por Mc Graw-Hill, pp. 2
- J.L. DURÁN, J. GAMIZ, J. DOMINGO, H. MARTÍNEZ (2009): *Electrotecnia*, Editado por Marcombo, pp. 73, 74, 75, 76.
- JUAN JOSÉ NOVOA VIDE (2002): *Química Física Aplicada*, Editado por Cálamo, pp. 104, 108, 115
- PABLO ALCALDE SAN MIGUEL (2015): *Electrotecnia*, Editado por Paraninfo, pp. 98, 101, 102
- SOCIEDAD DE TÉCNICOS DE AUTOMOCIÓN -STA (2011): *El Vehículo Eléctrico*, Ediciones Librooks, pp. 19, 20, 26.