

UNIDAD 9

DISPOSITIVOS PRIMARIO y SECUNDARIOS

Prof. Mario Rodriguez
c. e.: mrodriguez@uncu.edu.ar

Introducción

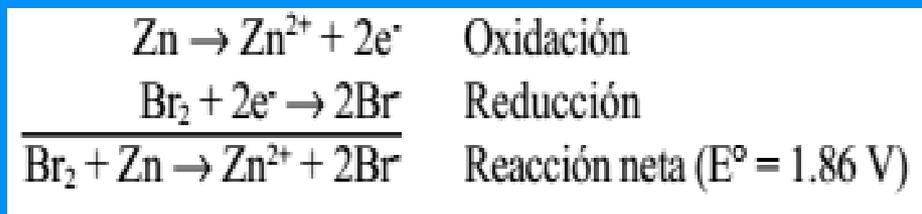
El descubrimiento de que una reacción química pueda producir electricidad fue, accidentalmente, en 1785 por Luigi Galvani.

La primera batería fue inventada por Alessandro Volta (voltio).

Durante muchos años, las “pilas de Volta” fueron la única fuente práctica de corriente eléctrica continua.

Luego, como resultado de la gran demanda se descubrieron y desarrollaron decenas de tipos y tamaños diferentes de baterías, desde la minúscula batería de Zn-aire usada en audifonos, hasta las herméticamente selladas, en estado sólido, Li-I utilizadas en la mayoría de los marcapasos.

¿Qué es una batería? Es un dispositivo que convierte la energía química, obtenida de una reacción (electroquímica), en energía eléctrica. Por ej., la reacción entre Zn-Br (acuoso) se divide en dos procesos separados de transferencia de e^- :



Una batería está compuesta por dos celdas galvánicas unidas mediante conductores metálicos inmersos en un mismo electrólito. Al estar conectados los electrones se transfieren de un electrodo al otro permitiendo así que se produzca trabajo eléctrico.

La diferencia de potencial entre los electrodos, a circuito abierto, se conoce como la fuerza electromotriz o FEM de la celda. Esta cantidad se relaciona con la energía libre de Gibbs de la reacción por medio de la relación:

$$\Delta G = -nFE$$

donde n , es el número de electrones transferidos y F , es la constante de Faraday, que corresponde a 96484,6 coulombs/equivalente y E , voltaje de la celda.

Los principales componentes de una celda galvánica son:

i) Un electrodo (-) (Zn^0) del cual los electrones fluyen hacia el circuito externo. Los reactivos, electrodo (-), son fuertes reductores y ceden electrones cuando forman cationes.

ii) Un electrodo (+), bromo adsorbido sobre un sustrato de carbón, hacia el cual los electrones fluyen del circuito externo. Los reactivos, electrodo (+), son fuertes agentes oxidantes que aceptan electrones cuando producen aniones.

iii) Un separador, el cual es un medio inerte poroso aislante o una membrana permeable selectiva que permite el transporte de iones entre los electrodos, al mismo tiempo sirviendo de separador de los electrodos.

Las baterías se clasifican en dos grandes categorías:

- Primarias o no recargables, las cuales se descartan después de que se descargan por completo.
- Secundarias o recargables, que se pueden cargar al invertirse el flujo de corriente a través de los electrodos para reconstituir los reactivos a sus estados originales.

Cualquier reacción electroquímica puede ser considerada candidata para una celda galvánica. De los varios cientos de posibles celdas galvánicas, las indicadas en la Tabla 1 han alcanzado un grado considerable de éxito comercial.

Tabla 1. Ejemplos de baterías disponibles comercialmente.

Sistema	Reacción electroquímica neta
<i>Celdas recargables</i>	
Batería de plomo	$\text{PbO}_2 + \text{Pb} + \text{H}_2\text{SO}_4 \leftrightarrow 2\text{PbSO}_4$
Niquel-cadmio	$2\text{NiOOH} + \text{Cd} + 2\text{H}_2\text{O} \leftrightarrow \text{Ni}(\text{OH})_2 + \text{Cd}(\text{OH})_2$
Niquel-hidrógeno	$2\text{NiOOH} + \text{H}_2 \leftrightarrow 2\text{Ni}(\text{OH})_2$
Litio-ion	$\text{Li}^+ + x\text{C} + e^- \leftrightarrow \text{LiC}_x$
<i>Celdas no recargables</i>	
Leclanché o batería seca	$\text{Zn} + 2\text{MnO}_2 \leftrightarrow \text{ZnO} \cdot \text{Mn}_2\text{O}_3$
Celda alcalina	$\text{Zn} + 2 \text{MnO}_2 \leftrightarrow \text{ZnO} + \text{Mn}_2\text{O}_3$
Plata-zinc	$\text{Ag}_2\text{O}_2 + 2\text{Zn} + 2 \text{H}_2\text{O} \leftrightarrow 2 \text{Ag} + 2\text{Zn}(\text{OH})_2$
Zinc-aire	$\text{Zn} + \text{O}_2 + 2\text{H}_2\text{O} \leftrightarrow 2\text{Zn}(\text{OH})_2$
Celda de combustible	$2\text{H}_2 + \text{O}_2 \leftrightarrow 2\text{H}_2\text{O}$
Litio-iodo	$2\text{Li} + \text{I}_2 \leftrightarrow 2\text{LiI}$
Litio-dióxido de azufre	$2\text{Li} + 2\text{SO}_2 \leftrightarrow \text{Li}_2\text{S}_2\text{O}_4$
Litio-cloruro de tionilo	$4\text{Li} + 2\text{SOCl}_2 \leftrightarrow 4\text{LiCl} + \text{S} + \text{SO}_2$
Litio-dióxido de manganeso	$\text{Li} + \text{Mn}(\text{IV})\text{O}_2 \leftrightarrow \text{LiMn}(\text{III})\text{O}_2$
Litio-monofluoruro de carbono	$x\text{Li} + (\text{CF})_x \leftrightarrow x\text{LiF} + x\text{C}$

Cuando ocurren reacciones en los electrodos de una celda galvánica el transporte de reactantes y productos hacia y desde la superficie de los electrodos produce un gradiente de concentración entre la solución y la interfaz. Los productos de la reacción se acumulan en la superficie de los electrodos obstaculizando el flujo de corriente iónica disminuyendo así la eficiencia de la celda (polarización). Una celda diseñada para que funcione eficientemente debe mostrar efectos de polarización limitados.

Otro aspecto importante es la transferencia adecuada de calor de la celda a sus alrededores para evitar un sobrecalentamiento.

● Baterías Primarias.

Generalidades

Hasta mediados de los 70', las baterías primarias contenían un ánodos de Zn. Con la introducción de nuevas celdas como las de Zn-HgO, MnO alcalino y Zn-AgO, la eficiencia de las baterías primarias, con respecto a su densidad de energía, aumentó significativamente. Recientemente, se han alcanzado avances significativos en la eficiencia a baja temperatura y en la capacidad de almacenamiento por medio del desarrollo de sistemas basados en ánodos de Li y otros materiales como Cd, Mg e In.

Tabla 2. Densidad de energía (en orden creciente) de algunas baterías primarias

Sistema	Potencial de circuito abierto (V)	Potencial* de circuito cerrado (V)	Densidad de Energía (Wh/kg)	Temperatura de operación (°C)	Referencia
Celdas térmicas	2.30-3.00		10-30	-54 a 93	2
Mercurio-cadmio	0.90	0.75	22	-40 a 70	3
Carbón-zinc	1.50	1.20	55-77	-7 a 54	4
Dióxido de manganeso alcalino	1.50	1.25	66-99	-30 a 54	5
Mercurio-cadmio-bismuto	1.17	-	77	-20 a 90	6
Cloruro de zinc	1.50	1.20	88	-18 a 71	7
Dióxido de manganeso-perclorato de magnesio	1.90	1.50	90	-	8
Zinc-mercurio	1.35	1.25	99-123	-20 a 54	9
Magnesio-electrolito orgánico	2.70	1.70	133	-54 a 74	10
Plata-zinc (monovalente)	1.60	1.50	110	-40 a 54	11
Litio-iodo	2.80	-	200	-	12
Zinc-aire	1.40	1.20	220	-	13
Litio-dióxido de azufre	2.90	2.75	260	-29 a 52	14
Litio-pentóxido de vanadio	3.40	2.4	264	-40 a 60	15
Litio-cloruro de tionilo	3.60	3.20	660	-54 a 60	16

* Potencial obtenido al conectar una carga equivalente a la FEM de la celda

Selección de Baterías Primarias

Esta puede ser tan simple (linterna) o tan complicada como para un transmisor de satélite. Hasta hoy, no existe una batería única que tenga todas las ventajas sobre los otros sistemas y por lo tanto se requiere seleccionar la fuente más apropiada para la aplicación. Existen tres aplicaciones básicas en las cuales las baterías primarias se utilizan:

i) Equipos en miniatura.

ii) Equipo portable (movidos con frecuencia durante o entre periodos de descarga).

iii) Equipo transportable (no movidos con frecuencia) y sistemas estacionarios.

Los requisitos mínimos para escoger la mejor batería se relacionan con las necesidades de energía que se tengan, a continuación se da una lista de condiciones y limitaciones:

- i) Máximo potencial permitido al principio de la descarga.
- ii) Potencial normal durante la descarga (potencial estabilizado a circuito cerrado).
- iii) Potencial final, o sea, el potencial al cual el equipo deja de funcionar apropiadamente.

- iv) Relaciones corriente-voltaje (amp.), resistencia constante (ohms) y poder constante (watts).
- v) Tipo de descarga y corriente (continua, intermitente, continua con pulsos).
- vi) Almacenamiento y tiempo de vida.
- vii) Condiciones ambientales en el almacenamiento y en servicio.
- viii) Restricciones físicas como dimensiones y peso.
- ix) Requerimientos especiales.

● Baterías Primarias para Equipos Miniatura.

La importancia de los equipos miniatura esta relacionada con las aplicaciones, por ej. en audífonos, relojes, etc. debido a la necesidad de una alta densidad de energía por unidad de volumen, requisito que cumplen las baterías de Hg-ZnO, Ag-ZnO y los sistemas basados en litio. Sin embargo, el sistemas más utilizado es Hg-ZnO.

La celda Hg-ZnO en una configuración llamada botón;
Cátodo, de Hg/Grafito (este último mejora la conductividad).
Encima del cátodo se coloca un separador sintético y una
almohadilla absorbente con el electrólito (solución KOH).
Ánodo de Zn amalgamado se coloca encima y finalmente la
celda se sella con un polímero y un envase de metal.

Esta celda tiene baja resistencia interna y alta eficiencia
catódica.

Para los relojes electrónicos se prefieren celdas hechas con Ag-ZnO y el electrólito es NaOH ya que tiene menos tendencia a difundirse hacia los empaques de la celda. El separador en este tipo de baterías debe retener compuestos solubles de Ag producidos por la disolución química del óxido. Por ello, se usan varias capas de separadores de baja porosidad. Hay dos tipos de celdas de Ag_2O : las que tienen el cátodo compuesto de Ag_2O (monovalente) y las AgO (bivalente).

● Baterías Primarias para Equipos Portátiles.

Entre estos, las usadas en radio, calculadoras, lámparas. Éstas tienen un mercado mucho más grande que las anteriores.

El Li ofrece varias ventajas como material de ánodo, en una celda electroquímica, baja densidad, masa molar y es el metal más electronegativo en estado sólido a temperatura ambiente.

Sin embargo, el Li reacciona con agua, solvente común en la mayoría de los electrólitos, entonces se debe usar electrólitos no acuosos. Para explotar al máximo la capacidad de un sistema con Li, el material del cátodo debe ser también de alta densidad de energía. Por ejemplo, el sistema litiopolicarbón-monofluoruro (desarrollados comercialmente).

En estas baterías desarrollados por Matsushita Electric Industrial Co, el cátodo tiene la fórmula empírica $(Cf_x)_n$, donde x toma valores entre 0,5 y 1,0 y se forma por la reacción de carbón con fluoruros bajo diferentes condiciones de temperatura y presión, dependiendo del tipo de carbón (acetileno negro o grafito). El electrólito es tetrafluoroborato de Li en α -butirolactona.

Honeywell Inc., comercializó baterías de Li basadas en Li-SO₂. El cátodo, SO₂ líquido, el electrólito compuesto de LiBr/acetronitrilo/carbonato de propileno y se reduce sobre un electrodo de carbón poroso.

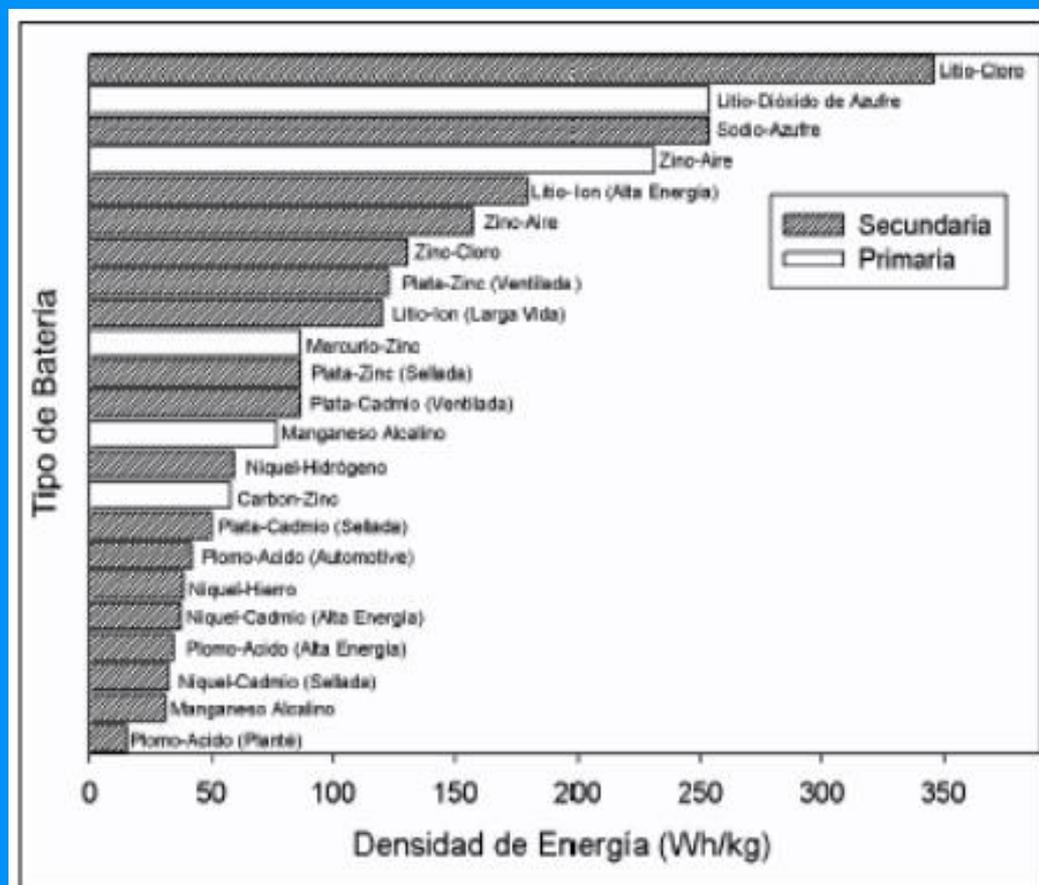
En estas baterías, una lámina delgada de Li se enrolla alrededor de una malla de Cu o Ni que funciona como el colector de corriente y se separa del cátodo por un separador de polipropileno. El voltaje a circuito abierto que se obtiene en estas baterías corresponde a 2,8 V y 2,9 V para la litio-policarbón-monofluoruro y la Li-SO₂, respectivamente.

Las baterías de Leclanché y las alcalinas de Mn ocupan la gran mayoría del mercado de baterías primarias. El sistema de Leclanché tiene la propiedad de recobrar la capacidad después de largos períodos en el modo de descarga. Esta propiedad y su bajo costo de producción hacen de esta batería una de las favoritas para el patrón de uso intermitente que se encuentra en la mayoría de los artefactos de los consumidores. Cuando se requiere más energía, por ej. en equipos motorizados, se debe usar una batería de alta densidad de energía. En muchos casos se usan las alcalinas de Mn, las cuales tienen un patrón de descarga menos pronunciado que las de Leclanché.

Baterías Secundarias.

Generalidades

Figura 1. Densidad de energía de ciertas baterías secundarias.



Baterías de Plomo-Ácido

La batería de Pb-ácido es la más usada de las baterías recargables (industria automotriz). Sus principales ventajas son su bajo costo, alto voltaje por celda y alta capacidad por largos períodos de tiempo. Sus desventajas son su alto peso, su mal funcionamiento a bajas temperaturas y el hecho de que no se puede dejar descargada por largos períodos de tiempo sin que sufra algún daño. Desde el 50', las baterías recargables selladas, basadas en la pareja electroquímica Pb-PbO₂, están disponibles comercialmente y a pesar de que no son producidas en cantidades similares a las no selladas, el número de usuarios de este tipo de batería está creciendo.

Las baterías de Pb (vehículos), conocidas como baterías de encendido SLI (“Starting, Lighting, Ignition”) requieren de poco mantenimiento. La capacidad puede determinarse por:

$$\text{Capacidad (mAh/g)} = \frac{N \cdot Q}{n \cdot MM}$$

donde: N , es el N° de Avogadro; Q , es la unidad de carga elemental ($1,60219 \times 10^{-19}$ C); n , es el número de electrones intercambiados en la reacción electroquímica; MM , es la masa molar en g/mol del elemento electroquímicamente activo del cátodo, es posible calcular el tiempo necesario, aplicando corriente constante, que se necesita para cargar o descargar la batería completamente.

Varios fabricantes han sacado al mercado pequeñas baterías Pb-Ac., las cuales, a pesar de no ser selladas, son diseñadas específicamente a prueba de derrames

Recientemente, se han diseñado una serie de acumuladores a prueba de derrames con capacidad entre 2 y 9,5 Ah diseñados para uso de equipos portátiles. Estas baterías se colocan en compartimentos de plástico transparente muy resistentes, diseñados de manera que no pase el ácido a través de ellas, aún con cambios extremos de posición y vibración. Cada celda contiene un sensor el cual indica exactamente el estado de carga. A -40°C , estas retienen el 38% de la capacidad que poseen a 20°C .

Otro tipo de baterías de plomo son las selladas. Hacia el final de la carga y cuando son sobrecargadas, el electrólito (H_2SO_4) se descompone (electrólisis) para producir H_2 y O_2 . Consecuentemente, cuando están en servicio, el nivel de electrólito disminuye y la concentración de H_2SO_4 aumenta, lo que produce serios daños a la batería y disminuye el rendimiento. A menos que se le agregue agua destilada periódicamente, la batería eventualmente se destruye.

Para evitar estos problemas, los fabricantes de baterías han diseñado métodos de carga y descarga más sofisticados de manera que la degasificación se reduce al mínimo y hace que no sea necesario agregar más agua. La otra solución ha sido el desarrollo de baterías llamadas de recombinación parcial y completa. Aquí el H_2 y O_2 producidos por la degasificación son combinados completamente para formar agua, evitando así las pérdidas de volumen de electrolito. En las baterías de recombinación parcial, el electrolito es un gel, de manera que no ocurren emisiones de gas o electrólisis del ácido durante la descarga o el uso.

Las baterías de Pb-Ac. más comunes son conocidas también como acumuladores de Pb. Cuando no están en uso y dependiendo de la temperatura ambiente, se deben recargar cada 4 o 6 semanas para compensar la descarga interna. Aún en el caso de uso intensivo, estas poseen un ciclo de vida excelente. Las baterías “permanentes”, por otro lado, pueden ser almacenadas a 20°C por meses sin ningún mantenimiento y sólo deben ser recargadas después de 10 meses.

● Baterías Ni-Cd

La batería de Ni-Cd es una batería mecánicamente resistente y puede permanecer cargada por largos periodos de tiempo. Tiene un excelente rendimiento a $\downarrow T$. Sin embargo, el costo es mucho más alto que el de la batería Pb-Ac. o Ni-Zn y su capacidad en términos de watts h/kg es menor que la de Ni-Zn. Para la mayoría de las aplicaciones comunes, la selección debe hacerse entre la batería de Pb-Ac. y la de Ni-Cd. Cada una de estos dos tipos tiene sus propias ventajas y la selección entre los dos sistemas depende de la aplicación particular y del rendimiento que se requiere para tal.

Las celdas que usan Ni-Cd se pueden dividir en dos grupos: las que tienen placas gruesas en las cuales el material activo está comprimido en hojas de metal finamente perforadas en la forma de tubos o paquetes, y celdas con placas delgadas en las cuales el material activo se deposita en soportes metálicos porosos. Estas últimas tienen una baja resistencia interna.

Las baterías son producidas como celdas abiertas o semiabiertas, en las cuales los gases de la electrólisis escapan a través de una ventanilla (lo que requiere agregar agua periódicamente para reemplazar el electrólito) y como baterías completamente selladas, las cuales han sido diseñadas de manera que no haya un desprendimiento apreciable de gases.

En general, las baterías abiertas o semiabiertas tienen el rango más amplio de capacidad y son usadas para aplicaciones tales como tracción y en instalaciones de fuentes de alta energía de emergencia. Las baterías selladas tienen un rango de capacidad más pequeño (hasta 30 Ah) y se usan más extensivamente en equipos electrónicos, productos domésticos, equipos de defensa e investigación espacial.

Las baterías selladas ofrecen descargas de voltaje relativamente constante y se pueden recargar muchas veces. Las celdas tienen baja resistencia interna e impedancia y son resistentes a las vibraciones.

Las celdas y las baterías pueden ser cargadas, descargadas y almacenadas en un amplio rango de temperaturas. Por ejemplo, se pueden cargar entre 0 y 45°C, descargar entre -20 y 45°C y almacenar entre -40 y 50°C.

● Baterías Ni-Hidrógeno

Ocupan una gran porción del mercado. Algunas de las ventajas de éstas respecto a las Ni-Cd, son: ciclos de vida más largos, mayor capacidad de energía, mayor protección al cargar y descargar la batería y, la presión interna se puede usar como un indicador del estado de carga de la batería.

Algunas de las desventajas son el costo inicial debido a la producción limitada y la autodescarga, la cual es proporcional a la presión de hidrógeno.

Estas baterías consisten en un electrodo catalítico gaseoso (-) y un electrodo de Ni. En el electrodo (-) es desplazado del agua por medio de electrólisis durante la carga. Durante la descarga iones de hidrógeno son devueltos a la solución.

La capacidad de estas baterías ↓ al ↑ T. Por ejemplo, la capacidad a 35°C corresponde a 57% de la capacidad a 0°C. Durante la operación normal de esta batería recargable, el hidrógeno se produce durante la carga y se consume durante la descarga. La presión del hidrógeno es linealmente proporcional al número de Ah de la celda lo que hace que se pueda usar como un indicador del estado de carga.

● Baterías Ag-Zn

Estas baterías contienen Ag_2O como el electrodo (+), Zn como el electrodo (-) y un electrólito alcalino. Las baterías recargables de Ag-Zn proveen corrientes más altas, voltajes más estables y hasta seis veces más la capacidad en watts horas por unidad de masa o de volumen que las de Pb-Ac., Ni-Zn o Ni-Cd.

Su alta densidad de energía, las hace buenas candidatas para aplicaciones electrónicas, satélites y equipos portables donde el bajo peso y el alto rendimiento son esenciales. Es altamente eficiente y puede operar en un amplio rango de temperatura.

● Baterías Ag-Cd

Las baterías de Ag-Cd combinan la alta energía y excelentes características de peso y espacio de las baterías Ag-Zn con la larga vida y resistencia a la sobrecarga de las baterías Ni-Cd. Este tipo de batería también provee alta eficiencia aun cuando se mantiene almacenada por largos períodos en el estado de descarga. La capacidad en watts horas por unidad de peso o volumen es dos o tres veces más grande que la ofrecida por Ni-Cd, con una mejor retención de carga.

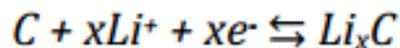
● Baterías Ni-Zn

Con el desarrollo de nuevos separadores y electrodos de Zn mejorados, las baterías de Ni-Zn pueden ahora competir con los tipos más comunes de baterías. Poseen un excelente ciclo de vida y exhiben características de voltaje superiores a las de los sistemas Ag-Zn. La energía por unidad de peso o volumen es ligeramente menor que las que exhiben las baterías de Ag-Cd. La buena retención de la capacidad (hasta 6 meses) ha hecho de esta batería un competidor fuerte para los sistemas Ag-Zn y Ag-Cd. Sin embargo, estas baterías no están disponibles en forma sellada.

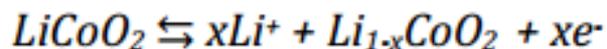
● Baterías Ion-Li

A principios de los 70', se descubrió que algunos compuestos de intercalación podrían ser usados como electrodos en baterías de litio secundarias. Un “huésped” de intercalación es un sólido el cual puede incorporar reversiblemente átomos “visitantes” o moléculas dentro de su retículo cristalino con cambios relativamente pequeños en su estructura.

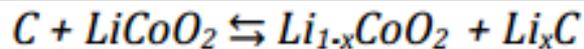
Las reacciones que ocurren en los electrodos son:



Ánodo (oxidación)

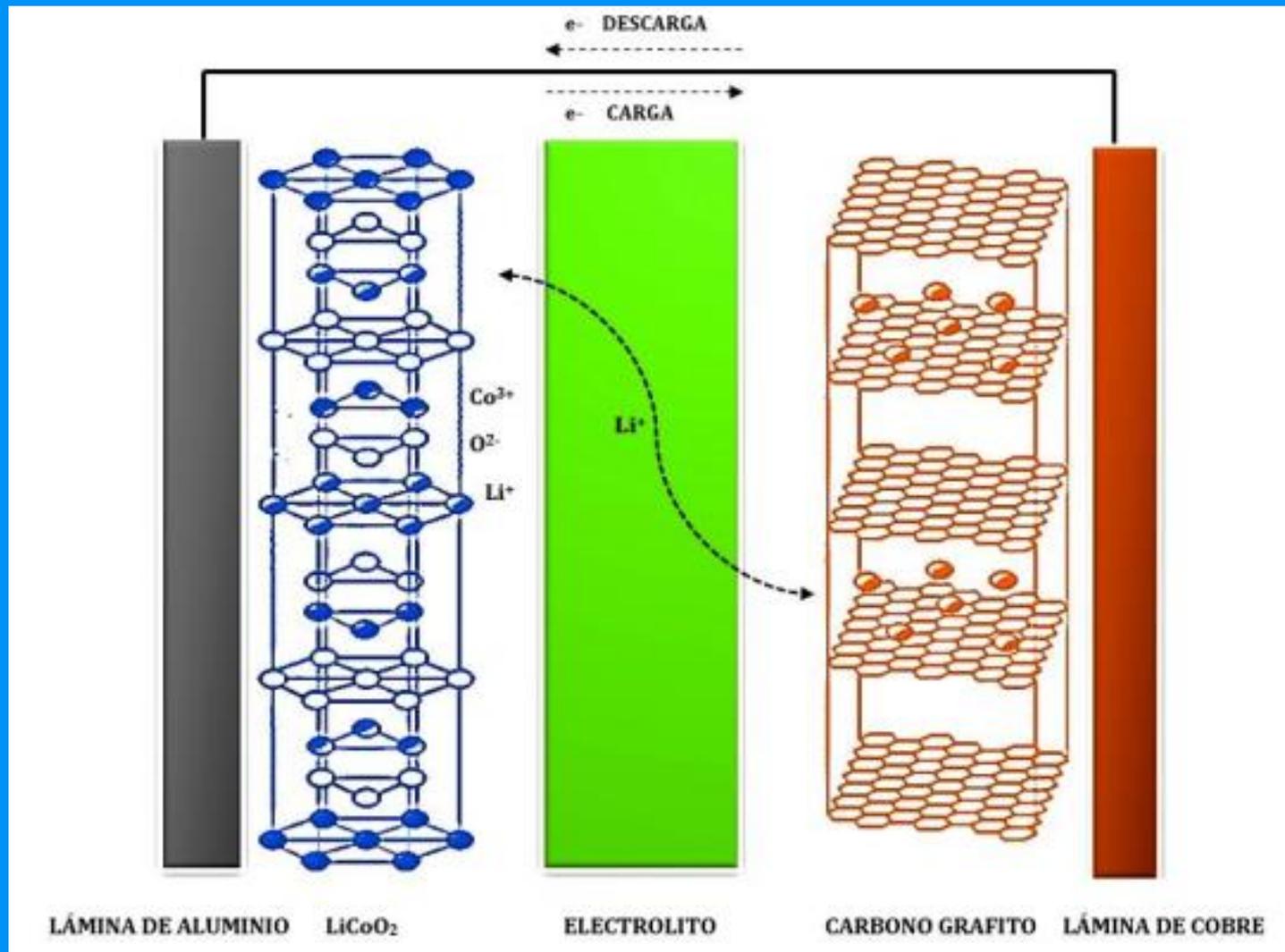


Cátodo (reducción)



Reacción global

Estructura interna y funcionamiento de una LIB



Durante los 70' y 80' la mayoría de los estudios en baterías secundarias se centró en el uso de compuestos de intercalación como el electrodo positivo y Li metálico o aleaciones de Li como ánodos. De éstas, la batería recargable “Molicel” tamaño AA desarrollada por Moli Energy Ltd. a fines de los 80' fue probablemente el producto más sofisticado. Aparte de unas pocas celdas secundarias de tamaño pequeño, las AA no sobrevivieron en los 90'. En algunas ocasiones las celdas sufrieron pequeñas explosiones, lo cual tuvo como consecuencia que los productos fueran retirados del mercado.

Para mejorar la seguridad de las baterías secundarias de Li, el Li metálico fue reemplazado por otro compuesto de intercalación como el grafito. El cátodo contiene litio iónico en su estructura, el cual se intercala ya sea en el ánodo o en el cátodo dependiendo de la dirección de la corriente. Las celdas ion-Li pueden dar casi 4 voltios, tienen densidades de energía de cerca de 120 W-h/kg y tienen una larga vida a temperatura ambiente. La tecnología se basa en el uso de compuestos apropiados de intercalación de Li como electrodos. Normalmente, es usado como cátodo un óxido de metal de transición de litio y como ánodo materiales carbonáceos.

La estructura cristalina influye en la intercalación del litio en dos aspectos: cuánto puede ser incorporado y a que voltaje.

Los carbonos que son capaces de intercalar litio reversiblemente pueden clasificarse en forma general en dos grupos: grafitos y carbonos “desordenados”. Los grafitos son materiales carbonáceos con una estructura en forma de capas, pero con un número de defectos estructurales. Desde el punto de vista cristalográfico, el término grafito se aplica a carbonos con una estructura y un orden perfecto de capas del tipo AB (hexagonal) o ABC (romboide).

Se han propuesto numerosos compuestos de intercalación como el electrodo (+) en LIB. Estos pueden dividirse en:

i) Óxidos de metales de transición y calcogenuros.

ii) Moléculas orgánicas.

iii) Polímeros.

Sólo los primeros han sido utilizados con resultados satisfactorios.

Existen otros materiales que contienen Li que funcionan como la fuente de Li en estas celdas. Estos se deben cargar (el litio debe ser desintercalado) en un primer ciclo. Bajo estas condiciones, son estables al aire y a la humedad y pueden desintercalar litio electroquímicamente en la región de 4 V.

La siguiente Tabla, incluye algunos de los parámetros característicos de las principales baterías recargables.

Parámetros	Níquel-cadmio	Plomo-ácido	Níquel-zinc	Plata-zinc	Plata-cadmio	Litio-ion
Cátodo	Hidróxido de níquel	Dióxido de plomo	Oxohidróxido de níquel	Oxido de plata	Oxido de plata	Manganeso de litio
Ánodo	Cadmio	Plomo-calcio	Zinc	Zinc	Cadmio	Material carbonáceo
Electrolito	Hidróxido de potasio	Ácido sulfúrico	Hidróxido de potasio	Hidróxido de potasio	Hidróxido de potasio	LiPF ₆ en CDM/CE*
Voltaje a circuito abierto (V)	1.35	2.10	1.71	1.86	1.40	3.0
Densidad de energía (W h/kg)	26-44	22-33	33-77	55-220	24-120	120-200
Máx. velocidad de descarga	50C	20C	10C	50C	10C	20C
Potencial de descarga (V)	1.22	1.90	1.60	1.50	1.10	1.0
Temp. de operación (°C)	-51 a 60	-51 a 71	-48 a 71	-48 a 71	-48 a 71	-50 a 90
Temp. al almacenar (°C)	-51 a 74	0 a 20	-48 a 38	-48 a 38	-48 a 38	-50 a 50
Método de carga	Corriente constante	Corriente variable	Corriente constante	Corriente constante	Corriente constante	Corriente constante
Ciclo de vida	100-3000	100-150	100-200	10-20	100-500	100-1000

Actualmente las baterías recargables se basan esencialmente en electrodos de inserción. La combinación de óxidos de metales litiados tales como LiCoO_2 , LiNiO_2 o LiMnO_2 con carbono o grafito ha dado los mejores resultados. Por razones económicas y/o ecológicas hay una tendencia hacia el uso de los óxidos de manganeso.