

**X**

**“ACUMULACION DE ENERGIA EN SISTEMAS AUTONOMOS:  
BATERIAS SECUNDARIAS. SELECCION, PROTECCIONES  
Y MANTENIMIENTO”**

XIV CONFERENCIA LATINOAMERICANA DE  
ELECTRIFICACION RURAL

ORGANIZADA POR LA  
ADMINISTRACION NACIONAL DE  
USINAS Y TRANSMISIONES ELECTRICAS (URUGUAY)  
(U.T.E)

PUNTA DEL ESTE, 10 AL 15 DE OCTUBRE DE 1993  
URUGUAY

**Acumulación de energía en sistemas autónomos:  
Baterías secundarias.**

G. Casaravilla      W. Uturbey.

Facultad de Ingeniería  
Universidad de la República  
Montevideo-Uruguay

## Acumulación de energía en sistemas autónomos: Baterías secundarias.

G. Casaravilla      W. Uturbey.

Julio Herrera y Reissig 565  
C.P:11300      Montevideo-Uruguay  
Tel: +598 2 710974      Fax: +598 2 715446

Instituto de Ingeniería Eléctrica  
Facultad de Ingeniería  
Universidad de la República  
Montevideo-Uruguay

### 1 INTRODUCCION

En los sistemas autónomos en los que se requiere mejorar la calidad del servicio y suministro de energía eléctrica, ya sea en sistemas fotovoltaicos como eólicos, es necesaria la acumulación de energía a los efectos de filtrar y atenuar las fluctuaciones inherentes de los recursos energéticos específicos de cada sistema (sol y viento). La implementación más frecuente es la acumulación de energía en forma electroquímica con baterías estacionarias. En el presente trabajo se analizan las diferentes tecnologías existentes utilizadas, se comparan y se establecen criterios de selección en donde se tiene en cuenta prestaciones, costo y calidad de servicio.

### 2 BATERIAS - INTRODUCCION

Una batería es un dispositivo que convierte la energía química de su material activo en energía eléctrica mediante una reacción electroquímica de oxidación reducción.

#### 2.1 Composición básica de una batería: Definiciones

**ANODO** : Electrodo de una celda electroquímica en donde se produce la oxidación del material activo  
**CATODO** : Electrodo de una celda electroquímica en donde se produce la reducción del material activo  
**ELECTROLITO** : Es el medio por el cual se transportan los iones entre los electrodos de una celda  
**ELECTRODO** : Lugar o área en donde se produce la reacción electroquímica  
**CELDA** : Unidad básica electroquímica compuesta por dos electrodos y el correspondiente electrólito  
**MATERIAL ACTIVO** : Material de los electrodos que tienen parte en el proceso electroquímico de carga y descarga  
**BATERIA** : Dos o mas celdas eléctricamente interconectadas en serie o paralelo de modo de obtener la tensión y capacidad deseada  
**ANION** : Ión negativo  
**CATION** : Ión positivo  
**OXIDACION** : Reacción química en la cual se entregan electrones  
**REDUCCION** : Reacción química en la cual se reciben electrones

#### 2.2 Descarga de una celda

Durante la descarga el electrodo negativo entrega electrones a la carga y se produce una oxidación del material activo del mismo. Por lo tanto este electrodo funciona como ánodo.  
En la Fig. 1 se esquematiza la descarga electroquímica.

#### 2.3 Carga de una celda

Durante la carga el electrodo negativo recibe electrones del cargador y se produce una reducción del material activo del mismo. Por lo tanto este electrodo funciona como cátodo.  
A diferencia de la descarga el electrodo positivo será el ánodo.

#### 2.4 Tensión y capacidad de una celda

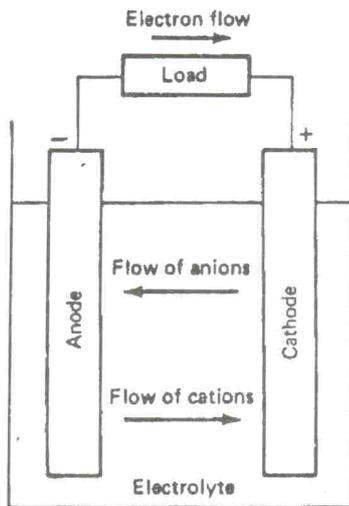


Fig. 1 Descarga electroquímica de una celda

Quando se produce la reacción electroquímica en un electrodo, se produce una caída de tensión cuyo valor es una propiedad característica del material activo del electrodo.

En una celda, se producen tensiones en ambos electrodos, las cuales se suman para dar el valor teórico total de tensión de la celda.

Esta tensión depende, entre otras cosas, de la temperatura de la reacción electroquímica.

Por otra parte, la capacidad de una celda, definida como la cantidad de Amper-hora, es una propiedad de los materiales activos de cada electrodo. Se expresa en Ah/g o en Ah/cm<sup>3</sup>.

Los valores teóricos de V y Ah/g son medidos en condiciones de laboratorio particulares y difieren con los valores reales que se obtienen de una batería en funcionamiento.

## 2.5 Clasificación de celdas y baterías

Las celdas electroquímicas se definen como primarias (no recargables) y secundarias (recargables). Una clasificación más exhaustiva sería:

- A.- Primarias
- B.- Secundarias
- C.- Celdas de Combustible

### 2.5.1 Celdas o Batería primarias

Son no recargables. Muchas de estas celdas se diseñan con el electrolito en un medio absorbente y se las llama celdas secas (dry cels). Tienen una alta densidad de energía. No se utilizan en sistemas autónomos.

### 2.5.2 Celdas o Batería secundarias

Son recargables. Son las que utilizan en sistemas autónomos dado que tendremos que cargar la batería cuando hay energía disponible y alimentar al sistema cuando no la hay.

### 2.5.3 Celdas o baterías de combustible

Se pueden considerar como baterías primarias dado que no son recargables. El principio de estas celdas es que se inyectan en la misma los reactivos cuando se desea energía.

El material de el ánodo (o combustible) es generalmente gaseoso o líquido y el cátodo es oxígeno o aire. La más común es la de hidrógeno-oxígeno. No se utilizan en aplicaciones convencionales autónomos por su alto costo que solo se justifica para grandes necesidades de acumulación.

## 2.6 Características generales

### 2.6.1 Capacidad nominal

Como se verá más adelante, la capacidad de una batería depende del régimen de descarga, por lo tanto se debe definir claramente la capacidad nominal de una batería.

Se definen como los Amper-hora que puede entregar en un régimen de descarga a corriente constante el cual se especifica la temperatura del baño en que está inmersa y la tensión final en la que se considera descargada la batería.

Por ejemplo en baterías de ácido-plomo SLI, según norma UNIT 896:

$C_{20}$  es con  $t=27^{\circ}\text{C}$   $V_{\text{final}}=1,75$  Voltios y  $I_{\text{descarga}} = C_{20}/20$ , y para que cumpla la especificación, el tiempo en llegar a la tensión final debe ser mayor que 20 horas.

En la Fig. 2 se observa que si se descarga a una corriente superior a  $C_{20}/20$ , la batería es capaz de dar menos amper-hora.

En el caso de régimen continuo de descarga se puede tener corriente constante, potencia constante y resistencia de carga constante. Las curvas de la Fig. 3 son para corriente inicial constante y para corriente media constante.

## 3 BATERIAS SECUNDARIAS

En general cuando se tiene en cuenta las prestaciones de una batería hay parámetros de las mismas que resultan útiles para comparar las diferentes alternativas de elección.

Las características mas relevantes son:

- a.- Carga y descarga con buen rendimiento y mínimos cambios físicos que disminuyan su vida útil.
- b.- Acción química despreciable que deterioren componentes de la propia batería y que afecten el medio ambiente exterior.
- c.- En caso de problemas de espacio, alta densidad de energía por unidad de volumen.
- d.- En caso de problemas de peso, alta densidad de energía por unidad de peso.
- e.- Baja resistencia interna
- f.- Buen desempeño en el rango de temperaturas en las que se utilizaran las baterías.
- g.- Costo inicial y de mantenimiento.

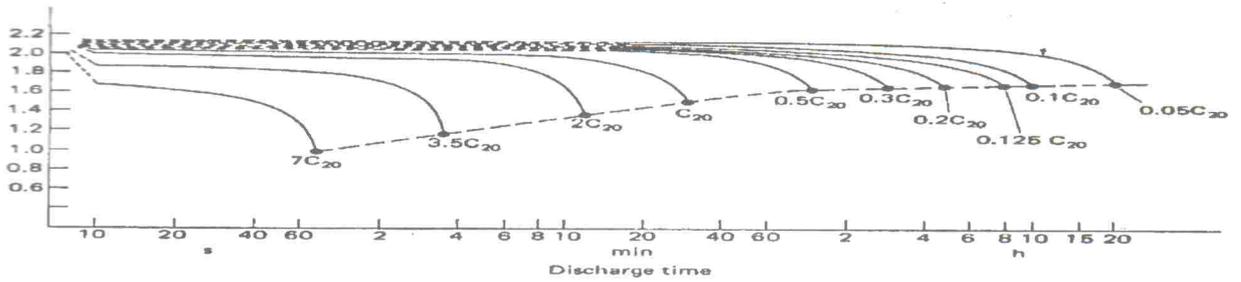


Fig. 2 Curvas típicas de descarga en celdas acido-plomo para 20°C y varias C<sub>20</sub>.

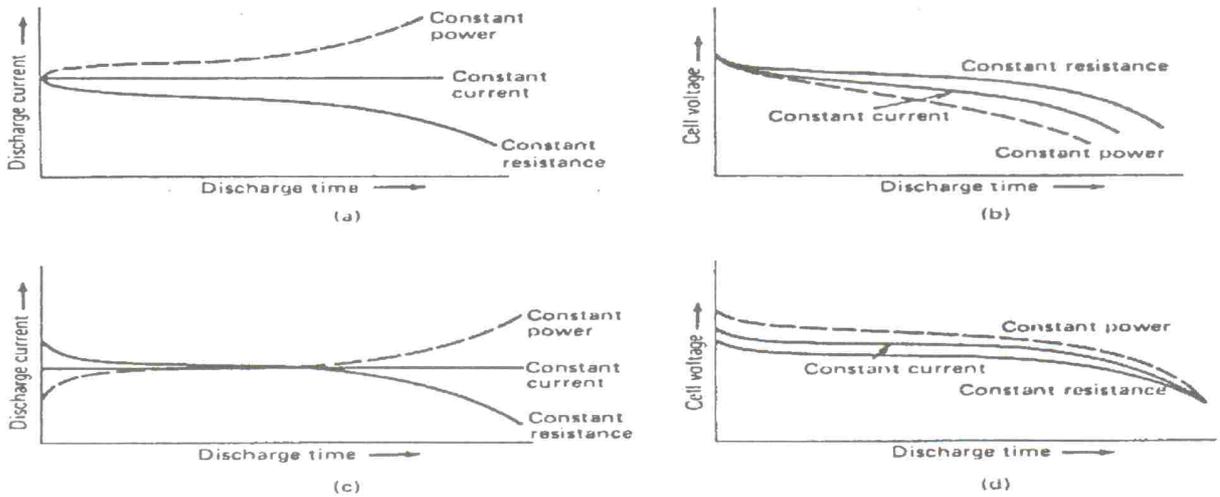


Fig. 3 Comportamiento ante la descarga para diferentes regímenes de descarga. (a) corriente (misma corriente inicial); (b) tensión (misma corriente inicial); (c) corriente (misma corriente media); (d) tensión (misma corriente media).

- h.- Ciclos de carga descarga y vida útil esperada.
- i.- Que cumpla con los requerimientos eléctricos de nuestro problema.

**3.1 Clasificación de baterías Secundarias**

Una clasificación de las baterías secundarias según su aplicación sería:  
**Respaldo** (SLI, Estacionarias, Selladas)  
**Carga-Descarga** (Traccion)  
**Reserva** (SLI<sup>1</sup>, Traccion, Estacionarias, Selladas)

**3.1.1 Celdas o Baterías de respaldo**

Se usan como acumuladores de energía, están conectadas a un sistema que las mantiene cargadas y frente a una demanda de energía son capaces de entregarla.

**3.1.2 Baterías de uso automotriz (SLI)**

No se debe usar este tipo de baterías en instalaciones de generación autónoma. Su tecnología constructiva asociada con su fin específico de tener gran corriente de arranque y dureza mecánica, son incompatibles con

<sup>1</sup> SLI hace referencia a baterías de arranque, iluminación y encendido (starter, lighting and ignition).

aplicaciones de generación autónoma en condiciones prolongadas de descarga y constante ciclado. Por otra parte su alto contenido de antimonio en las rejillas de las placas produce una considerable autodescarga.

### 3.1.3 Baterías estacionarias

Diseñadas para prestar servicio durante largos períodos de tiempo, con bajo mantenimiento y de costo reducido, pero para ser muy bien tratadas en cuanto a ciclado y profundidad de descarga. Su desarrollo esta dirigido a sistemas que normalmente tienen energía convencional y que por el grado de confiabilidad requerido tienen como back-up dichas baterías. Por tanto están, generalmente bien cargadas y en sus esporádicas descargas, la misma generalmente no es mayor.

De hecho se recomienda, que en forma periódica se realice una descarga y posterior recarga de equalización a los efectos de homogeneizar la materia activa de todos los vasos del banco de baterías.

### 3.1.4 Celdas o Baterías Carga-Descarga: Baterías de Tracción

Son baterías que se usan separadas del cargador de baterías, luego de descargadas, se ponen en carga. Se utilizan, por ejemplo, en autos eléctricos y en sistemas portables (también llamas golf-cart por utilizarse en los autitos de golf)

Se diseñan para ser constantemente cicladas con gran grado de profundidad de descarga y tener asimismo alta densidad de energía (esta ultima no es en general, una cualidad que importe en sistemas autónomos). Generalmente no tienen mayor vida útil pero si se las usa en aplicaciones de generación autónoma se les puede aumentar la vida útil bajándole el grado de profundidad de la descarga.

### 3.1.5 Baterías Selladas

Como su nombre lo indica, estas baterías se diseñan de modo que en funcionamiento normal no se libere gases ni se pierda electrolito al volcarla. Se aplican en instalaciones de generación autónoma pequeñas con imposibilidad de efectuar mantenimiento frecuente.

### 3.1.6 Celdas o Baterías de Reserva

En este tipo de baterías, hay un componente llave, que se suministra separado de la batería. Hasta que no se agregue este componente (activación de la batería), la misma no pierde sus cualidades con el tiempo.

Luego de activada, no es necesario recargarlas para obtener la capacidad nominal de las mismas en forma inmediata. Se suelen llamar Baterías seco-cargadas.

En general es el electrolito el componente llave, pero hay baterías que se activan con calor. Solo se justifica su utilización en sistemas autónomos cuando para facilitar el transporte de las componentes del sistema se deba disminuir el peso unitario de las mismas (aplicaciones de montaña).

## 3.2 Comparación de baterías secundarias

### 3.2.1 Características generales

En la Tabla I (Anexo 1) se puede ver las diferentes características de las baterías secundarias mas comunes. En al Tabla II (Anexo 2) se muestra un cuadro comparando las principales baterías secundarias.

### 3.2.2 Curvas de descarga

En la Fig. 4 se aprecia las diferentes curvas de descarga en los diferentes sistemas electroquímicos, para una misma corriente de descarga y a 20° C. En las celdas donde interviene el elemento Plata (Ag) se evidencia un escalón durante la descarga debido a que la reacción en estos tipos de celda se da en dos etapas diferenciadas en las que la reacción electroquímica es diferente.

### 3.2.3 Retención de carga

Las baterías secundarias tienen en este aspecto una pobre retención de carga frente a las baterías primarias. Las baterías de nickel-cadmio son, frente a las de plomo-ácido, superiores, no solo por tener mayor retención de carga, sino porque no se degradan como las de plomo-ácido por el hecho de estar descargadas.

### 3.2.4 Vida útil

La vida de una batería está fuertemente influida por la calidad del mantenimiento y reacondicionamiento de la misma. Se puede medir en términos de años de uso o del número de ciclos de carga-descarga, o ambos.

Los factores que afectan la vida de una batería son la temperatura de operación, la profundidad de las descargas y el régimen de carga.

Como se muestra en la Fig. 5 cuanto mayor es el grado de descarga final de las baterías en cada ciclo, menor es su vida útil.

### 3.2.5 Curva de carga

Al cargar la batería, se produce la reacción química similar a la descarga pero en sentido inverso. Tal como se puede apreciar en la Fig. 6, se repite la particularidad de las celdas con Ag. Con respecto al escalón registrado cuando se obtiene el 100% de la carga de la batería, se debe a que cuando la celda está totalmente cargada, la reacción electroquímica en la materia activa de la batería finaliza, comenzando otra reacción que en general no es aconsejable y que en la mayoría de los casos está acompañada de la evaporación del electrolito de la celda.

### 3.2.6 Baterías para instalaciones de generación autónoma

Como se ve en las tablas precedentes, hay en la actualidad muchas tecnologías que se quieren imponer en el mercado de los grandes bancos de baterías de reserva de energía, pero la competencia es difícil dado que hay que abatir los precios actuales que ofrecen las baterías de ácido-plomo. Desde hace varios años las alternativas solo son dos:

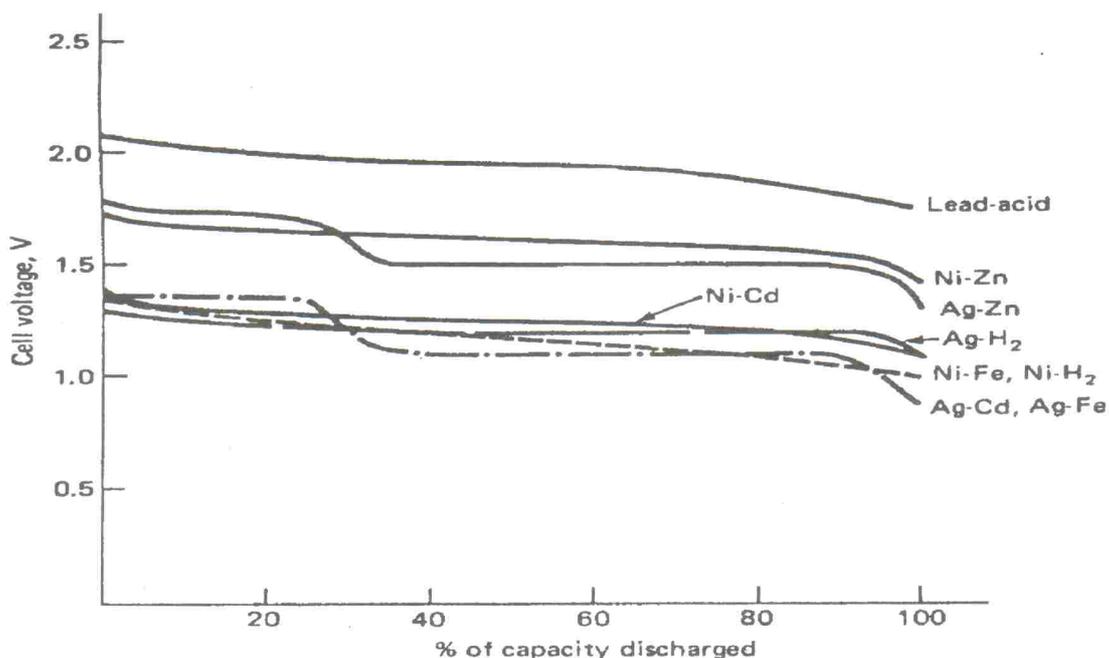


Fig. 4 Curvas de descarga para diversas baterías secundarias con una corriente de descarga de  $C_5$ .

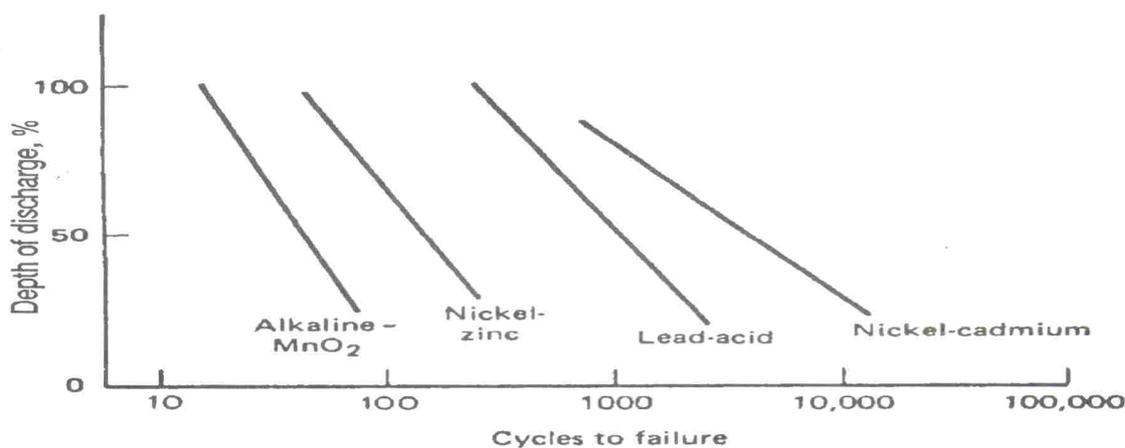


Fig. 5 Efecto en los ciclos de vida del grado de profundidad de descarga.

Acido-Plomo o Níquel-Cadmio.

## 4 BATERIAS ACIDO-PLOMO

### 4.1 Baterías abiertas. Teoría de operación

A diferencia de la generalidad de las baterías, el electrolito de esta batería, compuesto de una solución de ácido sulfúrico ( $H_2SO_4$ ) en agua destilada o desionizada, tiene parte activa en la reacción química.

El material activo de la placa positiva es peróxido de plomo y el de la placa negativa es plomo altamente esponjoso. Cuando se descarga la batería, ambas placas se convierten en sulfato de plomo y la densidad de ácido sulfúrico en el electrolito decae.

Luego de terminada la carga, comienza un proceso de electrólisis del agua de la solución del electrolito, lo cual trae aparejado la necesidad de efectuar un mantenimiento periódico de la batería con el agregado de agua destilada

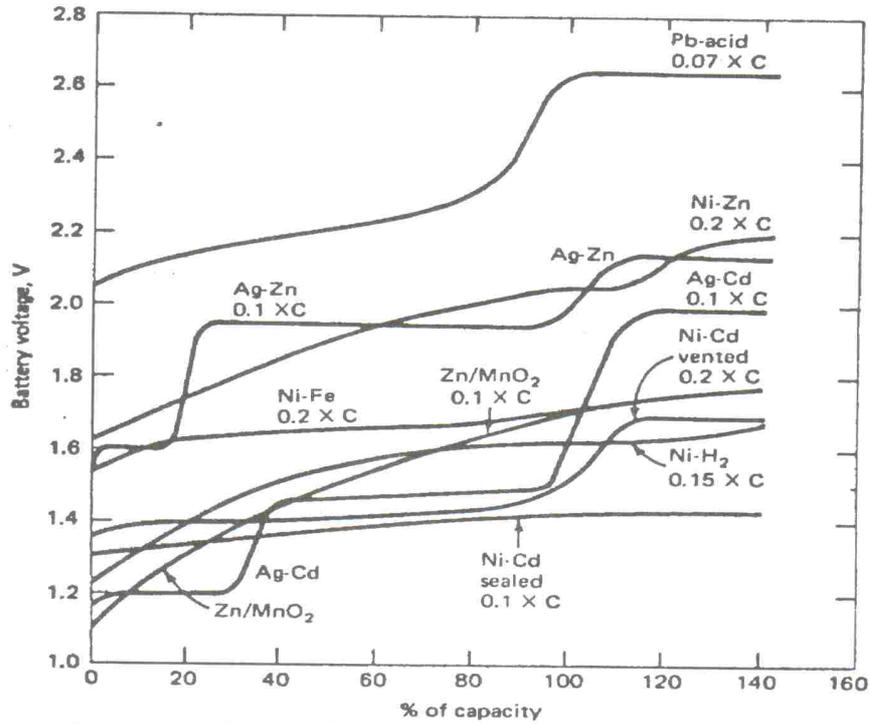
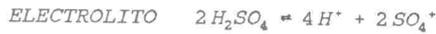


Fig. 6 Curvas típicas de carga para las baterías secundarias a corriente constante y 20 °C.



o desionizada.

**4.2 Baterías Selladas. Teoría de operación**

Este tipo de batería, se ha diseñado de forma que la electrólisis que tiene lugar cuando la batería está cargada, recombinen el hidrógeno y el oxígeno generado, dando como resultado que no hay pérdida de electrólito y una consiguiente mejora desde el punto de vista del mantenimiento.

Esto se ha logrado con separadores de placas con membranas que permiten una rápida difusión de el oxígeno generado en la placa positiva durante la electrólisis.

Dicho oxígeno reacciona con el plomo puro de la placa negativa dando como producto óxido de plomo.

Luego este óxido de plomo, en el medio ácido que le ofrece el electrólito, reacciona con el mismo para dar sulfato de plomo.

Finalmente, este sulfato reacciona con el hidrógeno que libera la propia placa negativa durante la electrólisis dando plomo y retornando el ácido sulfúrico al electrólito.

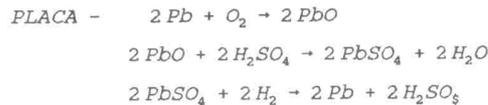
La electrólisis es con liberación de el oxígeno en la placa + y el hidrógeno en la placa -.

Las reacciones químicas quedan:

Por lo tanto, el agua que escaparía por efecto de la electrólisis, se regenera.

Estas baterías, son selladas, pero tiene una válvula de seguridad, que a determinada presión salta y evita que la batería estalle. La presión se eleva por efecto de la elevación de la temperatura en caso de sobrecarga de corriente.

**4.3 Acido-plomo en instalaciones de generación autónoma**



Como regla general, las baterías de ácido-plomo abiertas liberan hidrógeno cuando son sobrecargadas, por lo que se deben instalar en ambientes ventilados. No se les acercara fuego ni se generaran chispas en su cercanía.

Una batería ácido-plomo descargada, como se vio, tiene su electrolito con poca densidad de ácido sulfúrico, por lo que es mas susceptible de que se le congele el mismo causando la segura destrucción de las placas por esfuerzos mecánicos asociados.

Un banco de baterías, si bien se puede conformar de módulos de acumulación conectados en serie y paralelo a los efectos de obtener la tensión y la capacidad requeridos, no es recomendable dicha practica dado que reducen la vida esperada del banco. En particular, es común que en una serie de módulos, se reemplace uno detectado como malo, por uno nuevo, lo cual hace que este ultimo sea mal tratado respecto a sus compañeros al tener menor resistencia serie (al ser nueva) y por tanto una menor tensión de recarga. Como resultado el modulo nuevo envejecerá rápidamente alcanzando la performance de sus compañeras.

La situación es peor si se le agrega a un banco, insuficiente en capacidad, baterías en paralelo para aumentar la misma. Si la batería vieja era mal tratada por el sistema, peor lo será al tener que repartir con su nueva compañera, por lo que acelerara su deterioro, y si culmina su vida cortocircuitando alguno de sus vasos, la nueva batería puesta en paralelo será la que sufrirá las consecuencias.

En general es conveniente un periódico monitoreo del estado de los módulos individuales que conforman un banco, ya sea midiendo su tensión de reposo (sin carga) con un voltímetro, o en forma mas segura, midiendo la densidad del electrolito.

Las aplicaciones de generación autónoma siempre tienen un tratamiento cíclico y constante de sus recursos energéticos acumulados, básicamente por la aleatoriedad con que el consumidor requiere el consumo, como por la intrínseca aleatoriedad del recurso energético (viento, sol). Por lo tanto las baterías estarán constantemente siendo cicladas (carga, descarga) y para empeorar mas el panorama, podrán permanecer largos períodos en estado parcialmente cargadas.

En la baterías de ácido-plomo el grado de profundidad de las periódicas descargas es critico en cuanto a su vida útil, siendo un valor de diseño aceptado permitir descargas de hasta 30%. En definitiva tendremos, sin utilizar en forma efectiva, el 70% del banco de baterías.

La permanencia de las baterías de ácido plomo en bajo estado de carga acorta la vida útil de las baterías, dado que la capa superficial de sulfato de plomo se va desprendiendo y sedimentando en el fondo de la batería causando la paulatina perdida de capacidad y la final muerte por cortocircuito de las placas al llegar el sedimento conductor hasta las mismas. Los separadores de placas tipo "bolsa" evitan este ultimo mal.

Todo sistema autónomo deberá tener una protección por sobre descarga de baterías a los efectos de que el usuario no las descargue mas de lo especificado por el diseño del sistema. Las baterías ácido-plomo se ven dañadas en forma definitiva si se las agota completamente (0v) dado que los cristales de sulfato de plomo crecen en forma desmedida y aceleran notablemente su desprendimiento.

En general a todas las baterías de ácido-plomo hay que tratarlas bien durante la recarga, no superando con la corriente de carga cierto porcentaje de su capacidad nominal (Ah). Dicho valor es del orden de 10%. Por tanto una batería de 100 Ah se recargara a lo sumo con 10 A.

La recarga se realizara hasta el limite de tensión indicado por el fabricante y siempre teniendo en cuenta que una sobrecarga excesiva produce electrólisis del agua de la batería (con la consiguiente perdida de nivel de electrolito y aumento de la concentración del ácido sulfúrico), y oxidación de las rejillas de las placas de la misma acortando su vida útil.

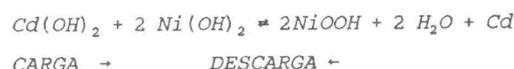
## 5 BATERIAS DE NIQUEL-CADMIO.

### 5.1 Teoría de Operación.

En una celda de níquel-cadmio descargada los materiales activos son: hidróxido de níquel (Ni(OH)<sub>2</sub>) para el electrodo positivo, e hidróxido de cadmio (Cd(OH)<sub>2</sub>) para el negativo.

Durante la carga de la celda en el electrodo positivo hay oxidación y se obtiene otro hidróxido: NiOOH. En el negativo hay reducción, del hidróxido de cadmio se obtiene cadmio metálico.

Reacción completa:



El electrolito es una solución de hidróxido de potasio, que no cambia significativamente durante la carga y descarga de la celda, en cuanto a densidad y composición por lo que no se podrá estimar el estado de carga de la misma

mediante su densidad.

## 5.2 Construcción.

Se emplean dos tecnologías en la fabricación de los electrodos, que dan origen a dos tipos de baterías: "sintered plate" y "pocket plate".

### 5.2.1 Baterías "pocket-plate".

Los electrodos están formados por bolsillos de acero, perforados, en los que se encierra el material activo pulverizado.

Estas baterías tienen un respiradero que permite el pasaje de gases a la atmósfera en condiciones normales de funcionamiento.

Contienen, además del separador eléctrico, uno que actúa como "barrera de gases".

La función de esta barrera es impedir que el oxígeno que se genera en la placa positiva, cuando esta llega a aproximadamente el 80% de la carga plena, alcance la placa negativa.

En esta última se libera hidrógeno cuando se aproxima al 100% de la carga, ocasionando un abrupto aumento de la tensión de la batería saliendo de su característica "chata". Esta elevación de tensión puede emplearse para detectar y finalizar el proceso de carga.

Cuando se sobrecarga a la batería toda la corriente que consume se emplea en electrólisis del agua, aumentando así la densidad del electrolito por lo que se hace necesario agregar agua desionizada o destilada.

En este tipo de batería el electrolito cubre completamente las placas y los separadores.

### 5.2.2 Baterías "sintered-plate".

En estas baterías el material activo se ubica entre los poros de una estructura de níquel sinterizado.

Se fabrican en dos tipos básicos que operan en forma diferente: selladas y abiertas, esta últimas tienen respiradero.

Las baterías "sintered plate" con respiradero trabajan de la misma manera que las "pocket plate".

Las selladas, en condiciones normales de funcionamiento, no permiten el pasaje de gases a la atmósfera. De todas formas tienen incorporado un respiradero, como medida de seguridad, diseñado para abrir en caso que las presiones internas sean suficientemente altas para causar daños permanentes a las celdas.

La operación de las celdas se basa en el uso de un electrodo negativo con mayor capacidad efectiva que el positivo, de manera que el positivo desprenda oxígeno (alrededor del 80% de la carga) antes que el negativo comience a liberar hidrógeno (100% de la carga).

El oxígeno migra a la placa negativa donde reacciona con el cadmio, produciendo hidróxido de cadmio:

De esta manera se impide que el electrodo negativo se cargue plenamente y no se liberan gases (oxígeno e hidrógeno).

Si la corriente de carga no supera cierto valor (entre 0.1 C y 0.3 C, dependiendo de la batería) es posible mantener un estado de régimen durante el período de sobrecarga en que la recombinación descrita impide la elevación de la presión interna y no hay pérdida de agua debida a electrólisis.

En estas baterías el separador es permeable al oxígeno, y se usa una cantidad limitada de electrolito para facilitar la transferencia del oxígeno.

## 5.3 Níquel-Cadmio en instalaciones de generación autónoma

Las celdas sinterizadas cuando se usan en ciclos de carga y descarga periódicos, es decir con un patrón repetitivo, presentan lo que se llama fatiga o "Efecto Memoria". Si a esa celda se la trata de descargar al punto nominal de fin de carga entregará casi la misma capacidad que en los ciclos precedentes. La celda "memoriza" la capacidad que se le pedía.

Esto no ocurre si se carga o descarga a diferentes niveles y/o durante distintos tiempos. Es posible restaurar la capacidad nominal de la celda efectuando un ciclo de descarga total y recarga completa.

Las celdas "pocket plate" no presentan el efecto memoria.

Otra falla reversible, que ocurre solo en las celdas selladas, es el cambio en el perfil de la tensión de descarga cuando la celda es ciclada repetitivamente con descargas lentas. La característica original se restaura también con ciclos de descarga profunda y recarga completa.

El hidróxido de potasio es corrosivo, pero los materiales que se emplean en la construcción de la celda son inmunes a ese efecto (nylon, acero, etc.), esto contribuye favorablemente a la vida útil de la batería.

La carga de una batería de níquel cadmio se caracteriza por dos etapas: una de alta eficiencia en la que no se liberan gases y se almacena entre el 75% y 80% de la carga aproximadamente, seguida de una etapa de muy bajo rendimiento, en la que se liberan gases al consumirse agua.

El efecto memoria, el costo y su no disponibilidad para capacidades grandes elimina a las baterías "sintered-plate" para sistemas autónomos.

### 5.3.1 Pocket-plate en instalaciones de generación autónoma.

A diferencia de las baterías ácido-plomo, en las cuales la capacidad decrece con el uso en forma paulatina y cuando llegan al 80% entran en una frenética marcha hacia la muerte, las baterías pocket ven disminuida su capacidad con ritmo constante hasta el final de su vida.

El ciclado diario de estas baterías, afecta al igual que a las baterías ácido-plomo, su expectativa de vida, pero, aceptan mayores profundidades de descarga y lo que es más importante, no se dañan por permanecer en estado

parcialmente cargado.

Las curvas de descarga y carga son notablemente "chatas" por lo que sistemas en los que la tensión no puede tener mayores variaciones (caso de los radio transmisores), estas son adecuadas. Por otra parte su tensión no nos "informará" del estado de carga de la misma.

Como ya se comentó, el electrolito no cambia su densidad con el estado de carga de la batería, por lo que a diferencia de las baterías ácido-plomo, estas además de ser más robustas frente al frío, no se congela su electrolito por estar descargada.

El electrolito de estas baterías es tóxico por lo que se deben extremar los cuidados al momento de sustituir el electrolito (recomendado por los fabricantes cada 5 años).

Las baterías Ni-Cd admiten ser puestas en serie y paralelo dado que los comentarios al respecto en las de ácido-plomo son aplicables, pero son bastante menos perjudiciales en este caso, en particular, la degradación asociada con el estado parcialmente descargado de la misma.

## 6 CONCLUSIONES

La elección de las baterías adecuadas en una instalación de generación autónoma, no es en principio una decisión fácil. Existen, como se vio numerosos aspectos a tener en cuenta, y a los efectos de obtener la satisfacción integral del usuario, hay que tener en cuenta aspectos tan diversos como precio, tareas de mantenimiento y posibles accidentes o mala utilización del sistema. Por ejemplo, como se vio, una batería ácido-plomo se destruye si es totalmente descargada (caso en que el usuario olvidó una carga conectada y no funcione el circuito que desconecta la carga automáticamente por baja tensión). Por tanto el ahorro de no comprar un banco de Ni-Cd (que lo soportaría) se pierde con un solo accidente.

Con esto pretendemos mostrar que no hay una respuesta única y preestablecida. Como primera aproximación, los criterios más fuertes a tener en cuenta son el costo inicial de la inversión más el costo de mantenimiento incluidos repuestos a lo largo de la vida útil esperada del sistema. La vida útil del sistema se obtendrá del ciclado diario y profundidad de descarga del diseño.

Por ejemplo con baterías ácido-plomo podemos diseñar con una profundidad de descarga de 30% y para Ni-Cd de 60% por lo que compraremos la mitad de AH en el segundo caso, acercándose la inversión inicial realizada (las Ni-Cd triplicar el costo de las PbSO<sub>4</sub>).

Es muy útil para el diseño de sistemas autónomos con baterías la utilización de software de simulación en donde se pueda modelar cada tipo de batería, teniendo en cuenta los aspectos mencionados (rendimiento, ciclado, degradación por estar descargada, máxima y mínima corriente de carga descarga, costo inicial y de mantenimiento, etc.) y obtener así resultados representativos del desempeño del sistema, como por ejemplo en función de la calidad de servicio esperada expresada como déficit energético anual.

## 7 BIBLIOGRAFIA

[1] David Linden. Handbook of Batteries and Fuel Cells. McGraw-Hill 1984. Isbn 0-07-037874-6

[2] Hans Bode. Lead-acid Batteries. John Wiley & Sons 1977. Isbn 0-471-08455-7

[3] General Electric. Nickel-Cadmium Battery. General Electric 1975.

[4] Maintenance and Operation of Stand-Alone Photovoltaic System. Department of Defense and Sandia Nat'l Laboratories.

TABLA I. ANEXO 1

System	Energy density	Power density	Flat discharge profile	Low temperature operation	Charge retention	Charge acceptance	Efficiency	Life	Mechanical properties	Cost
Lead-acid										
Pasted	4	4	3	3	4	3	2	3	5	1
Tubular	4	5	4	3	3	3	2	2	3	2
Planté	5	5	4	3	3	3	2	2	4	2
Sealed	4	3	3	2	3	3	2	3	5	2
Nickel-cadmium										
Pocket	5	3	2	1	2	1	4	2	1	3
Sintered	4	1	1	1	4	1	3	2	1	3
Sealed	4	1	2	1	4	2	3	3	4	2
Nickel-iron	5	5	4	5	5	2	5	1	1	3
Nickel-zinc	2	3	2	3	4	3	3	4	3	3
Silver-zinc	1	2	5	3	1	5	1	5	3	4
Silver-cadmium	2	3	5	4	1	5	1	4	3	4
Nickel-hydrogen	2	3	4	4	5	3	5	2	3	5
Silver-hydrogen	2	3	4	4	5	3	5	2	3	5
Zinc/manganese dioxide, silver oxide (rechargeable "primary" type)	1	5	5	3	1	4	4	5	4	2

NOTE: Rating: 1 to 5, best to poorest.

TABLE II. ANEXO 2

Common name	Lead-acid				Nickel-cadmium			Nickel-zinc	Zinc/silver-zinc	Cadmium/silver-cadmium	Nickel-hydrogen	Silver-hydrogen	Rechargeable primary types		Lithium systems temperature <sup>b</sup>	
	SLI	Traction	Stationary	Portable	Vented pocket plate	Vented sealed plate	Sealed						MnO <sub>2</sub>	Zn		Li(AI)
Chemistry:	Pb, PbO, H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> (aqueous solution)	-	-	-	Cd, Ni(OH) <sub>2</sub> , KOH (aqueous solution)	-	-	Zn, Ni(OH) <sub>2</sub> , KOH (aqueous solution)	Zn, Ag <sub>2</sub> O, KOH (aqueous solution)	Cd, Ag <sub>2</sub> O, KOH (aqueous solution)	H <sub>2</sub> , Ag <sub>2</sub> O, KOH (aqueous solution)	H <sub>2</sub> , Ag <sub>2</sub> O, KOH (aqueous solution)	MnO <sub>2</sub>	Zn, Ag <sub>2</sub> O, KOH (aqueous solution)	Li(AI), Li(TS), Organic solvent	
Cell voltage (open circuit)	2.0	2.0	2.0	2.0	1.2	1.2	1.6	1.5	1.5	1.2	1.4	1.4	1.5	1.55	2.0	
Nominal voltage	2.1	2.1	2.1	2.1	1.29	1.37	1.73	1.85	1.4	1.32	1.4	1.4	1.3	1.6	2.4	
Open circuit	2.0-1.8	2.0-1.8	2.0-1.8	2.0-1.8	1.25-1.10	1.35-1.10	1.6-1.4	1.7-1.3	1.4-1.0	1.3-1.15	1.15-1.05	1.15-1.05	1.3-1.0	1.55	2.0-1.4	
End	1.75	1.75	1.75	1.75	1.0	1.0	1.2	1.0	0.7	1.0	0.9	0.9	1.0	1.2	1.4	
(lowest operating and end voltage during cranking operation)																
Operating temperature, °C	-40 to 55	-20 to 40	-10 to 40 <sup>c</sup>	-40 to 60	-20 to 45	-40 to 50	-40 to 45	-40 to 60	-25 to 70	0 to 50	0 to 50	0 to 50	-20 to 40	0 to 40	-20 to 55	
Energy density (at 20°C): Wh/kg	35	25	10-20	30	20	37	30	60	55	55	80	80	30	70	85	
Wh/L	70	80	50-70	80	40	90	80	120	110	60	90	90	60	250	145	
Discharge profile (relative)	Flat	Flat	Flat	Flat	Flat	High	Moderate to high	High	Double plateau	Moderately flat	Moderately flat	Moderately flat	Sloping	Sloping	Sloping	
Power density	High	Moderately high	Moderately high	High	High	High	Moderately to high	High	Moderate to high	Moderate	Moderate	Moderate	Low	Low	Low	
Self-discharge rate (at 20°C), % loss per month	20-30	4-6		4-8	5	10	15-20	10	3	60			~1	<1	<1	
Calendar life, y (maintenance-free)	3-6	6	18-25	2-8	8-25	3-10	2-5	8-25	2-3	1500-4000 <sup>d</sup>	500-3000 <sup>e</sup>	20-50 (limited DOD)			15-25	
Cycle life, y	200-700	1500		250-500	500-2000	500-2000	300-700	50-200	100-150 <sup>f</sup>	High energy density; long cycle life at high DOD; can tolerate ampere-hour overcharge (cycling or stand)	High energy density; long cycle life at high DOD; can tolerate ampere-hour overcharge (cycling or stand)	High energy density; long cycle life at high DOD; can tolerate ampere-hour overcharge (cycling or stand)	High energy density; long cycle life at high DOD; can tolerate ampere-hour overcharge (cycling or stand)	High energy density; long cycle life at high DOD; can tolerate ampere-hour overcharge (cycling or stand)	Potential for high specific energy; good shelf life	
Advantages	Low cost, ready availability, good cycle life, limited high-temperature operation (good cranking service, good float service, new maintenance free designs)	Low energy density; less rugged than competitive systems (also see SLI)	Designed for "float" service; lowest cost of competitive systems (also see SLI)	Maintenance-free; long life on float service; low and high-temperature performance; no "memory" effect; operates in any position	Very rugged; can withstand physical and electrical abuse; good charge retention, storage, and cycle life; lowest cost; alkaline batteries	Rugged; excellent storage; good specific energy and high rate performance	Sealed; no maintenance; good low-temperature and high-rate performance; long cycle life; operates in any position	High cost; "memory" effect; thermal runaway	High cost; low cycle life; decreased performance at low temperatures	High cost; low cycle life; decreased performance at low temperatures	High initial cost; self-discharge proportional to H <sub>2</sub> pressure	High cost (may be limited to special military and aerospace applications)	High cost (may be limited to special military and aerospace applications)	High cost (may be limited to special military and aerospace applications)	High cost (may be limited to special military and aerospace applications)	High cost (may be limited to special military and aerospace applications)
Limitations	Relatively low energy density; ruggedness and stability; hydrogen evolution	Low energy density; less rugged than competitive systems; hydrogen evolution	Hydrogen evolution	Cannot be stored in condition lower cycle life than sealed nickel-cadmium; difficult to manufacture in very small sizes	Low energy density	High cost; "memory" effect; thermal runaway	High cost; "memory" effect; thermal runaway	Sealed lead-acid battery better at high temperature and float service; "memory" effect	High cost; low cycle life; decreased performance at low temperatures	High cost; low cycle life; decreased performance at low temperatures	High cost (may be limited to special military and aerospace applications)	High cost (may be limited to special military and aerospace applications)	High cost (may be limited to special military and aerospace applications)	High cost (may be limited to special military and aerospace applications)	High cost (may be limited to special military and aerospace applications)	High cost (may be limited to special military and aerospace applications)
Status	Most widely produced secondary battery	In production	In production	In production	In production	In production	In production	In production	In production	In production	In production	In production	In production	In production	In development	
Major cell types available	Prismatic cells: 30-200 Ah at 20-h rate	Based on positive plate design: 4-200 Ah per positive plate	Based on positive plate design: 4-200 Ah per positive plate	Sealed cylindrical cells: 5-25 Ah; prismatic cells: 0.9-35 Ah	Prismatic cells: 5-1300 Ah	Prismatic cells: 10-100 Ah	Button cells to 0.5 Ah; cylindrical cells to 10 Ah	Prismatic cells: <1 to 800 Ah; special types to 6000 Ah	Prismatic cells: <1 to 500 Ah	Prismatic cells: <1 to 500 Ah	Prismatic cells: <1 to 500 Ah	Prismatic cells: <1 to 500 Ah	Prismatic cells: <1 to 500 Ah	Prismatic cells: <1 to 500 Ah	Prismatic cells: <1 to 500 Ah	
Approximate cost, \$/kWh	50	70	100	200-500	400-1000	600-1000	1000 (cylindrical cells) 3000 (button cells)	800- >1500	1000->2000	2000	>2000	>2000	1000 <sup>g</sup>	4000 <sup>h</sup>		
Representative manufacturers	Gould, Globe, Exide, Delco, General, Oldham, Prestolite, Chloride, Lucas, Japan Storage Battery, Matsushita, Yuasa, and others	Globe, Exide, C&D, Gould, Chloride, Oldham, Eagle-Picher Industries	Globe, Exide, C&D, Gould, Chloride, VARTA	Gates, Globe, Elpower, Eagle-Picher Industries, Yuasa, SAFT, Chloride, Masuhita, Exide	SAB NIFE, NIFE, Inc., McGraw Edison, SAFT, VARTA, Yuasa, Chloride	GE, Marathon, SAFT, Gould	GE, UCC, SAFT, VARTA, Sanyo, Panasonic	Energy Research Corp., Exide	Yardney Electric Corp., Eagle-Picher Industries	Yardney Electric Corp., Eagle-Picher Industries	Energy Research Corp., Eagle-Picher Industries	Energy Research Corp., Eagle-Picher Industries	UCC	Duracell, Hitachi-Maxell		

<sup>a</sup>In small cylindrical or button cell sizes.

<sup>b</sup>At room temperature for most electrochemical types (small sizes); also see Part 4.

<sup>c</sup>Normally used indoors at room temperature.

<sup>d</sup>Self-discharge rate usually decreases with increasing storage time.

INDICE

1 INTRODUCCION . . . . .	-1-
2 BATERIAS - INTRODUCCION . . . . .	-1-
Composición básica de una batería: Definiciones . . . . .	-1-
Descarga de una celda . . . . .	-1-
Carga de una celda . . . . .	-1-
Tensión y capacidad de una celda . . . . .	-1-
Clasificación de celdas y baterías . . . . .	-2-
Celdas o Batería primarias . . . . .	-2-
Celdas o Batería secundarias . . . . .	-2-
Celdas o baterías de combustible . . . . .	-2-
Características generales . . . . .	-2-
Capacidad nominal . . . . .	-2-
3 BATERIAS SECUNDARIAS . . . . .	-2-
Clasificación de baterías Secundarias . . . . .	-3-
Celdas o Baterías de respaldo . . . . .	-3-
Baterías de uso automotriz (SLI) . . . . .	-3-
Baterías estacionarias . . . . .	-4-
Celdas o Baterías Carga-Descarga: Baterías de Tracción . . . . .	-4-
Baterías Selladas . . . . .	-4-
Celdas o Baterías de Reserva . . . . .	-4-
Comparación de baterías secundarias . . . . .	-4-
Características generales . . . . .	-4-
Curvas de descarga . . . . .	-4-
Retención de carga . . . . .	-4-
Vida útil . . . . .	-4-
Curva de carga . . . . .	-4-
Baterías para instalaciones de generación autónoma . . . . .	-4-
4 BATERIAS ACIDO-PLOMO . . . . .	-5-
Baterías abiertas. Teoría de operación . . . . .	-5-
Baterías Selladas. Teoría de operación . . . . .	-5-
Acido-plomo en instalaciones de generación autónoma . . . . .	-6-
5 BATERIAS DE NIQUEL-CADMIO. . . . .	-7-
Teoría de Operación. . . . .	-7-
Construcción. . . . .	-7-
Baterías "pocket-plate". . . . .	-7-
Baterías "sintered-plate". . . . .	-8-
Niquel-Cadmio en instalaciones de generación autónoma . . . . .	-8-
Pocket-plate en instalaciones de generación autónoma. . . . .	-8-
6 CONCLUSIONES . . . . .	-8-
7 BIBLIOGRAFIA . . . . .	-9-