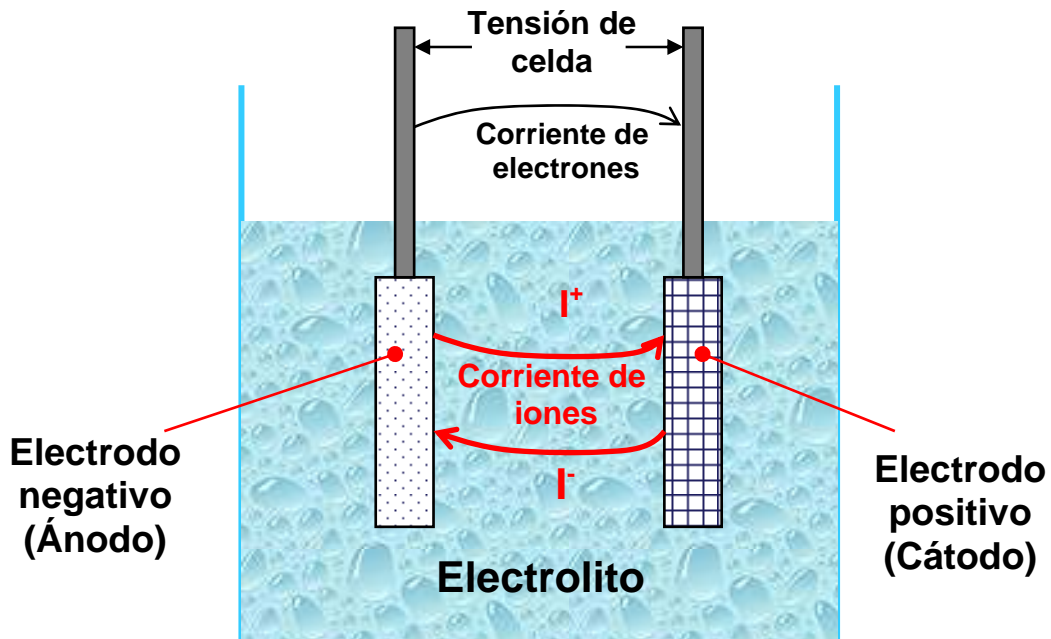


Energía Solar Fotovoltaica (ESF)

Tema: El acumulador

1.1 El acumulador (batería)

Una batería está formada por la asociación serie de varios elementos, vasos o celdas, cada una de las cuales consta de 2 electrodos de distinto material (materia activa) inmersos en una disolución electrolítica. Entre los electrodos se establece una diferencia de potencial. Las baterías más utilizadas en aplicaciones fotovoltaicas son de 12 ó 24 voltios de tensión nominal.



1.2 El acumulador para aplicaciones solares

El acumulador que ha de ser utilizado para aplicaciones solares se le debe exigir el cumplimiento de unas condiciones básicas, como son:

- Aceptar todas las corrientes de carga que suministre el panel solar
- Mantenimiento nulo o mínimo
- Fácil transporte e instalación
- Baja auto-descarga
- Rendimiento elevado
- Larga vida

1.3 Tipos de baterías

El número de posibilidades que tenemos a la hora de escoger un determinado tipo de acumulador de energía es muy amplio en la actualidad.

Principalmente se encuentran los siguientes tipos:

- *Níquel-Cadmio*
- *Plomo-ácido*
- *Níquel-Hierro*
- *Plata-Cadmio*
- *Zinc-óxido de plata*

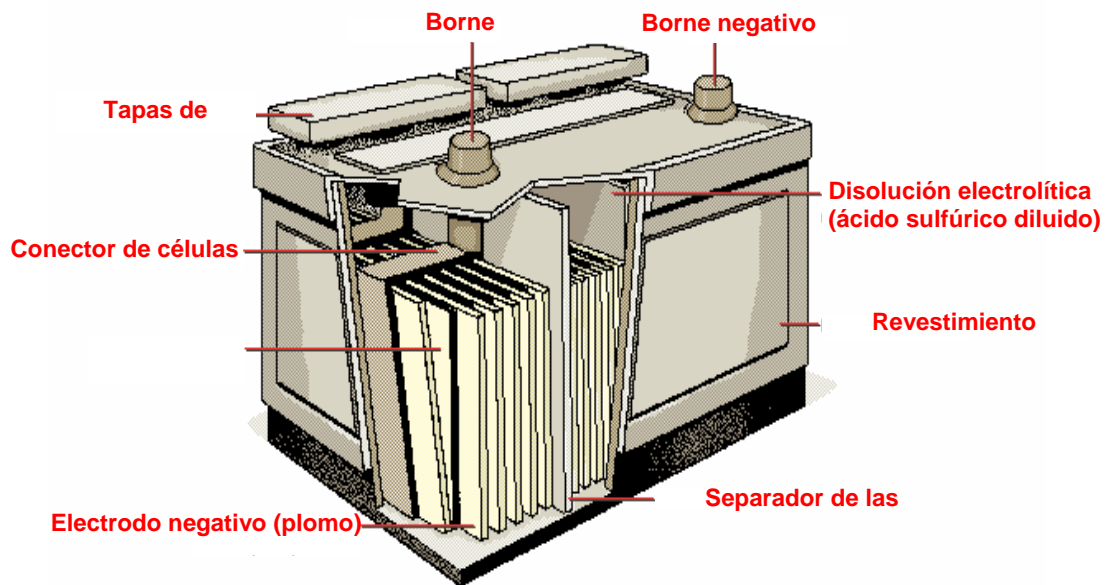
Entre éstas, las dos primeras son las que tienen mejores prestaciones para aplicaciones fotovoltaicas. Asimismo, las baterías de *Níquel-Cadmio* suelen ser mucho más caras que las de *Plomo-Ácido*. Es por eso que las de *Plomo-Ácido* son las que se emplean habitualmente en entornos fotovoltaicos.

1.4 Elementos constructivos (batería Pb-ácido)

Una batería de plomo ácido está compuesta por los siguientes elementos básicos:

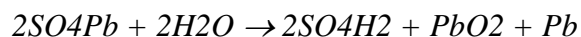
- Placa positiva, construida con dióxido de plomo (PbO₂)
- Placa negativa, formada por plomo esponjoso (Pb).
- Separadores, cuya misión consiste en separar las placas de diferente polaridad aislándolas entre sí.
- Electrolito, constituido por una solución diluida de ácido sulfúrico.
- Carcasa, construida de polietileno o polipropileno, y encargada de alojar en su interior los diferentes elementos descritos anteriormente.
- Terminales de conexión.

Batería de plomo-ácido

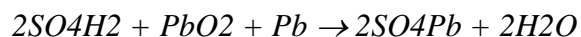


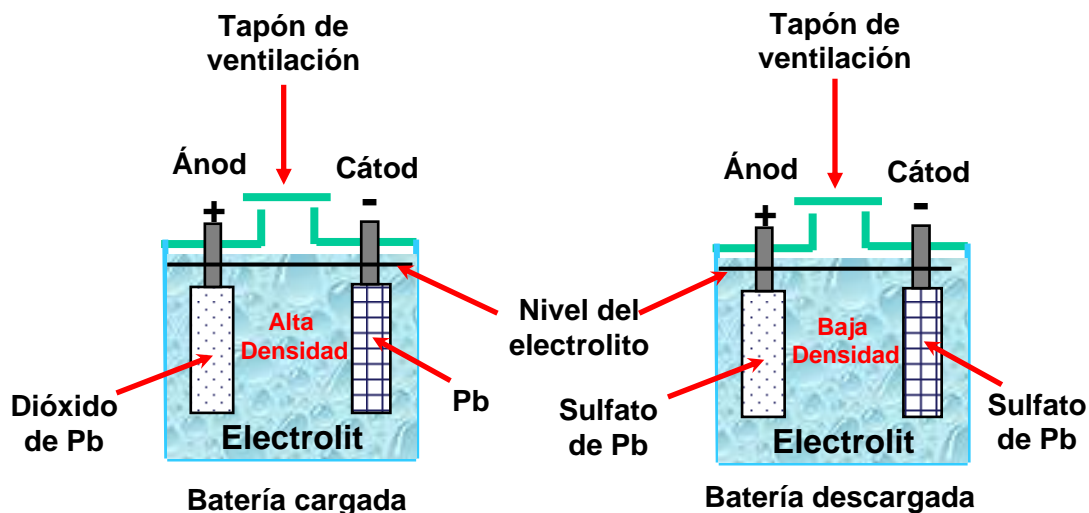
1.5 Baterías Pb-Ácido (proceso químico)

Proceso de carga:



Proceso de carga:





1.6 Baterías Pb-ácido: voltaje de salida

Densidad del electrolito: En una batería de Pb-ácido el electrolito interviene en forma activa en el proceso electroquímico, variando la proporción de ácido de la solución con el estado de carga del acumulador. Cuando la batería está *descargada*, la cantidad de ácido en la solución *disminuye*. Si la batería está *cargada*, la cantidad de ácido en la solución *aumenta*.

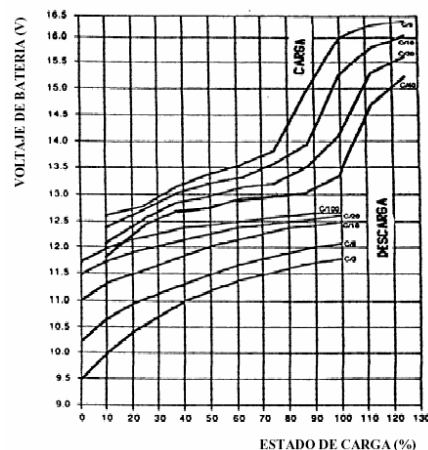
Este mecanismo tiene una derivación práctica: monitoreando la concentración del ácido se puede determinar el estado de carga de la batería. Este monitoreo se hace usando un densímetro.

Voltaje de salida: El voltaje de salida de una batería de Pb-ácido no permanece constante durante la carga o descarga. Dos variables determinan su valor: el estado de carga y la temperatura del electrolito.

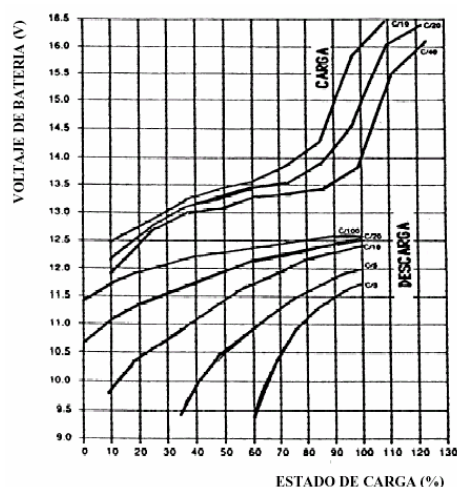
Para comprender el efecto que tiene la temperatura en el comportamiento de la batería es útil recordar que cualquier reacción química es *acelerada* cuando la temperatura se *incrementa* y es *retardada* cuando ésta *disminuye*.

Variación en el voltaje de una batería de Pb-ácido de 12 V

Temperatura del electrolito: 25°C



Variación en el voltaje de una batería de Pb-ácido de 12 V
Temperatura del electrolito: 1°C



1.6 Baterías Pb-Acido

Efecto de la temperatura:

Un problema que suele presentarse cuando la temperatura del electrolito alcanza los 0° C está relacionado con el estado de carga de la batería. Si ésta está prácticamente descargada, la cantidad de agua en la solución electrolítica es mayor. Al bajar la temperatura del electrolito existe la posibilidad de que el agua se congele pudiendo dañar las celdas o quebrar la caja. El ácido del electrolito actúa como anticongelante, de manera que es extremadamente importante mantener la carga de las baterías cuando la temperatura de trabajo disminuye.

Punto de congelación de una batería de Pb-ácido:

Estado de Carga	Temperatura de Congelamiento del electrolito
%	°C
100%	-58,0
75%	-34,4
50%	-20,0
25%	-15,0
Descargada	-10,0

Si las bajas temperaturas causan tantos problemas, no debemos pensar que las temperaturas ambientes elevadas son ideales. La conclusión es errónea pues la mayor actividad química se traduce en una reducción en la vida útil de una batería de Pb-ácido, como lo muestra la siguiente tabla:

Temperatura del electrolito	Reducción de la vida útil
°C	%
25	0
30	30
35	50
40	65
45	77
50	87
55	95

Clasificación:

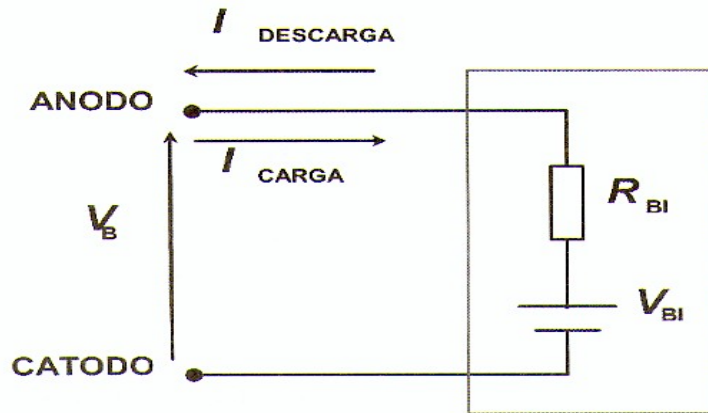
Las baterías de Pb-a se pueden clasificar en:

- **Baterías de arranque.** Diseñadas para ciclos muy poco profundos, utilizadas primordialmente en el sector de arranque para la automoción, proporcionando elevadas corrientes en cortos períodos de tiempo.
- **Baterías de tracción.** Diseñadas para ciclados muy profundos, utilizadas primordialmente en vehículos eléctricos. Estas baterías tienen un número menor de placas pero más gruesas y construidas para una mayor durabilidad. Se utilizan rejillas con alto contenido en plomo-antimonio para mejorar el ciclado profundo.
- **Baterías estacionarias.** Utilizadas comúnmente en los sistemas de alimentación ininterrumpida(para sistemas de ordenadores o telecomunicaciones). Responden bien a descargas profundas puntuales. En cuanto al mantenimiento éste es escaso o nulo.
- **Baterías fotovoltaicas.** Las particulares condiciones de trabajo a la que se ven sometidas imponen la existencia de un ciclado diario (día/noche) y otro estacional (año). Asimismo, presentan un buen comportamiento frente a los ciclos de carga/descarga, buena respuesta a ocasionales descargas profundas, tiempo de vida elevado (alrededor de 10 años), mantenimiento mínimo, escasa o nula autodescarga y alta fiabilidad. Su principal inconveniente es el elevado costo que tienen.

La solución de compromiso normalmente pasa o bien por escoger una batería específicamente fotovoltaica y de precio alto (si es que se desean muchas prestaciones) o bien por escoger algún otro tipo de batería más convencional y barata, a pesar de obtener un comportamiento menos óptimo. Esta segunda opción es la que se acostumbra a tomar con más frecuencia, y en particular las baterías estacionarias son las más ampliamente aceptadas en entornos fotovoltaicos teniendo en cuenta su buena relación prestaciones/precio.

1.8 Principio de funcionamiento

Desde el punto de vista eléctrico el modelo es el siguiente:



V_{BI} y R_{BI} dependen de la concentración de ácido en el electrolito y de la temperatura. Un aumento en la temperatura se refleja en una disminución tanto de V_{BI} como de R_{BI} .

Se puede demostrar que:

Durante la **carga** el valor de V_{BI} aumenta mientras que R_{BI} disminuye. En consecuencia, la tensión $V_B = V_{BI} + I_{carga} \times R_{BI}$ crece en conjunto.

Durante la **descarga** ocurre lo contrario, V_{BI} decrece mientras que R_{BI} aumenta. Por tanto, la tensión $V_B = V_{BI} - I_{carga} \times R_{BI}$ disminuye.

1.9 Definición de parámetros característicos

Definiremos los 6 parámetros característicos más importantes que definen el funcionamiento de una batería.

Tensión nominal (V_{NBat}): Suele ser de 12 voltios.

Capacidad nominal (C_{NBat}): Cantidad máxima de energía que se puede extraer de la batería cuando está totalmente cargada y la vamos descargando hasta que la tensión alcanza un valor V_{min} .

Este parámetro no es constante y depende fuertemente del flujo de descarga (valor de la corriente en descarga), del valor de la tensión V_{min} y muy poco de la temperatura. Normalmente se expresa en *Amperios.hora* (Ah) aunque algunas veces se puede medir en unidades de *Watts.hora* (Wh)

$$C_{nombat}(Wh) = C_{nombat}(Ah) \cdot V_B \text{ (Volts)}$$

Profundidad máxima de descarga (PD_{max}): Es el valor, en tanto por ciento, extraída de un acumulador plenamente cargado en una descarga. Los reguladores limitan esta profundidad, y se calibran habitualmente para permitir profundidades de descarga de la batería en torno a 70%. Dependiendo de la máxima profundidad de descarga permitida, el número de ciclos de carga y descarga durante toda la vida útil de la batería será mayor o menor. El fabricante debe suministrar gráficas que relacionan el número de ciclos con la vida de la batería.

Capacidad útil o disponible (CUBat): Es la capacidad de la que realmente se puede disponer.

Si multiplicamos la capacidad útil de la batería por el número de ciclos que asegura el fabricante que es capaz de aguantar, obtendremos el número de kilovatios-hora que la batería podrá hacer circular por su interior a lo largo de su vida útil.

$$C_{UBat} = C_{NBat} \cdot P_{Dmax}$$

Obs: La profundidad máxima de descarga se expresa en tanto por uno.

Estado de carga: Cuociente entre la capacidad de la batería en un momento determinado y la que tiene cuando está totalmente cargada (capacidad nominal). También se conoce como *SOC* (State of Charge).

$$SOC = \frac{\text{Capacidad actual}}{\text{Capacidad nominal}}$$

La forma correcta de saber el estado de carga de las baterías es controlando su densidad. Cuando una batería está cargada, la densidad del electrolito es elevada, ya que el sulfato de plomo de las placas se ha convertido en plomo (en las placas) y en ácido sulfúrico (en el electrolito). El electrolito con ácido sulfúrico es más denso que el agua. En cambio, cuando la batería está descargada, el ácido sulfúrico se encuentra combinado con el plomo de las placas, formando sulfato de plomo, y el electrolito va perdiendo acidez. Finalmente, si el proceso de descarga es total, el electrolito es casi agua destilada. La densidad del agua es 1 g/cm³, mientras que la del electrolito de las baterías cargadas (agua y ácido sulfúrico) es 1,25 g/cm³.

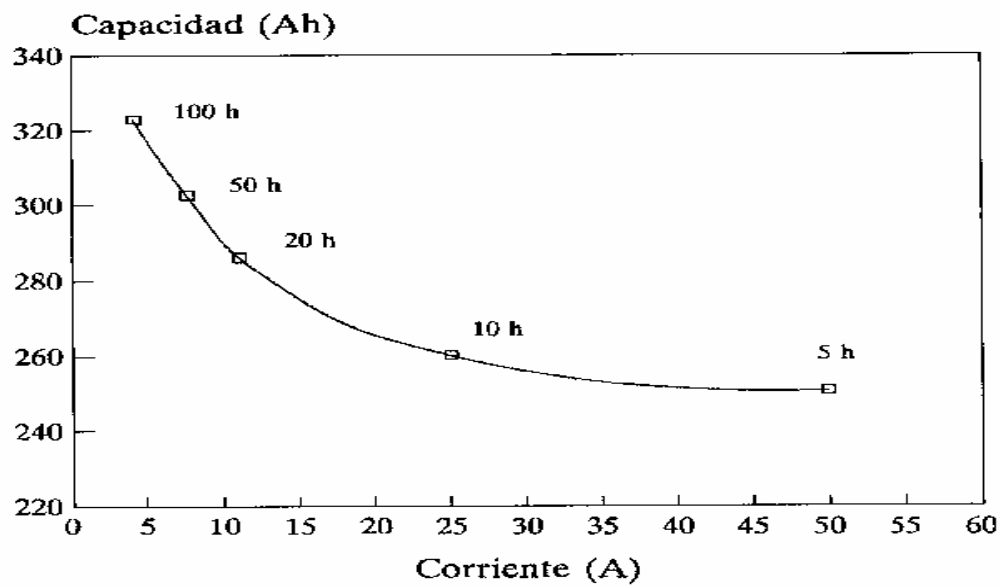
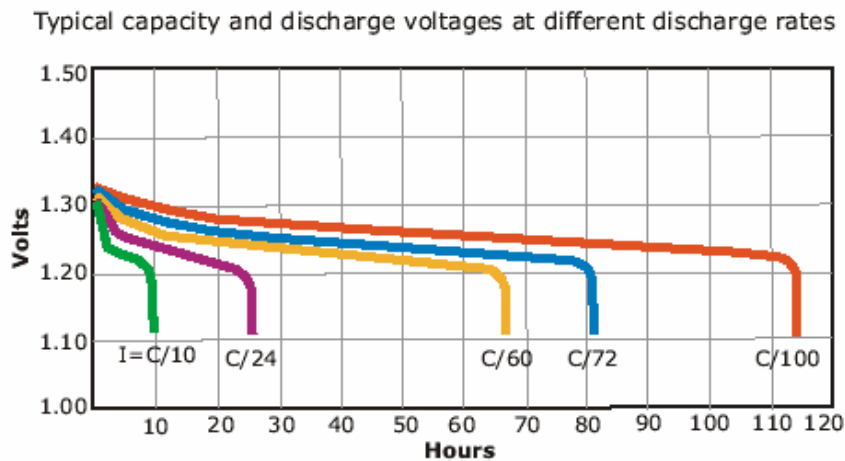
La cantidad de energía que se puede extraer de una batería depende, evidentemente, de su estado de carga, pero también de a velocidad a la que la extraemos.

Ejemplo: Así, una determinada batería estando totalmente cargada, cuando la descargamos completamente en 100 horas proporciona 20 kWh, mientras que si lo hacemos en menos tiempo, por ejemplo, en 10 horas, sólo nos daría 12 kWh.

Régimen de carga (o descarga): Cuociente entre la capacidad nominal de la batería y la corriente a la que se está cargando (o descargando). Lógicamente, las unidades de este parámetro serán las horas (h).

La cantidad de energía que se puede extraer de una batería depende, evidentemente, de su estado de carga, pero también de a velocidad a la que la extraemos.

$$RC = \frac{\text{Capacidad nominal [A.h]}}{\text{Corriente de carga (descarga) [A]}}$$



La capacidad en función de la corriente: cuanto mayor es el régimen de descarga (carga), mayor es la capacidad.

1.10 Carga de la batería

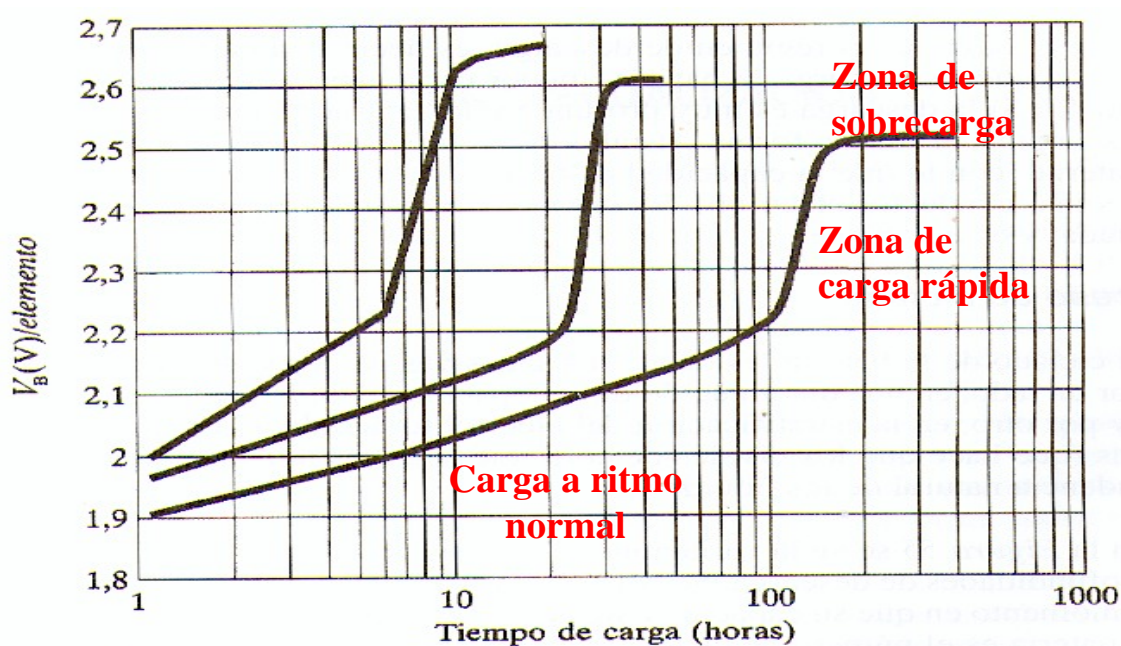
Los métodos utilizados para la carga de la batería en sistemas fotovoltaicos varía considerablemente. Generalmente se distinguen 3 tipos de carga:

Carga normal: es la porción de carga realizada a cualquier régimen que no causa que la tensión sobrepase el voltaje de gaseo.

Carga de flotación. Una vez que la batería está casi plenamente cargada, la mayor parte de la materia activa ha sido convertida a su forma original, y generalmente se requiere una limitación en la sobrecarga. La carga de flotación se suelen realizar a bajos regímenes de carga

Carga de igualación o ecualización: Es una carga utilizada periódicamente para mantener la consistencia entre las diferentes células (elementos) individuales que forman una batería. Generalmente consiste en una carga a corriente limitada hasta voltajes mayores que los voltajes normales de final de carga o flotación.

De esta manera todas la células alcanzan la misma situación.



Proceso de carga

1.11 Sobrecarga y sobre-descarga

Sobrecarga: Cuando en el proceso de carga el acumulador llega al límite de su capacidad. Si en ese momento se le sigue inyectando energía, el agua de la disolución se empieza a descomponer, produciendo oxígeno e hidrógeno. Es el fenómeno de **gasificación o gaseo**, perjudicial por la pérdida de agua que supone, y, además, porque oxida el electrodo positivo.

Por otro lado, el gaseo presenta una ventaja, y es que evita el fenómeno de la estratificación debida a los continuos ciclos de carga y descarga que sufre la batería, y que deriva en que el ácido tiende a concentrarse en el fondo, disminuyendo la capacidad nominal de la batería.

Sobredescarga: Existe también un límite para el proceso de descarga, pasado el cual el acumulador se deteriora de forma importante. En este caso se dificulta enormemente la reacción química interna hasta llegar un momento en el que ya

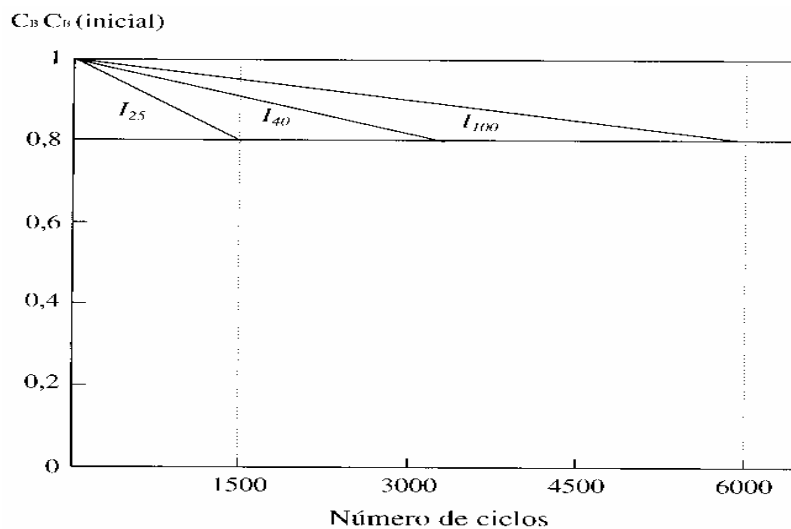
no se puede extraer corriente. Si esta descarga profunda dura mucho tiempo, la batería puede llegar a estropearse de manera irreversible debido a la formación de cristales de sulfato que ya no se pueden descomponer más y que suponen un aumento de la resistencia (RBI) y consecuentemente una disminución de la capacidad de la batería. Es lo que se conoce como efecto de la **sulfatación**.

1.12 Vida de la batería

Una de las variables más difíciles de determinar para una batería es el grado de vejez.

Se puede afirmar que el número de veces que se carga y descarga (ciclado) influye en la vida de una batería, a mayor número de ciclos más se envejece.

Muerte de la batería: sucede cuando su capacidad, una vez está nuevamente totalmente cargada después de múltiples ciclos de carga/descarga ha disminuido un 20 % respecto de su valor nominal inicial (cuando está nueva).



Variación de la capacidad de una batería para distintas corrientes de descarga (que depende del régimen de descarga)

1.13 Datos necesarios para un diseño en sistemas F.V.

Los datos necesarios para un diseño adecuado del acumulador integrado en un sistema fotovoltaico serían los siguientes:

- Tensión de funcionamiento.
- Descarga máxima al final de los días de autonomía.
- Temperatura media de funcionamiento.
- Temperatura mínima.
- Días consecutivos en los que se pueden producir bajas temperaturas.
- Tipo de regulador usado.
- Facilidad de acceso de montaje y mantenimiento del acumulador en el lugar de la instalación.