

Caídas de tensión. Las caídas de tensión, como p.e. en los sistemas de 12 V, pueden ser determinantes en el comportamiento del sistema. Algunos reguladores pueden tener caídas de tensión de 0,1 a 1,5V a plena carga, suficientemente importantes para influir en el acoplo entre la batería y el generador FV disminuyendo la corriente de carga.

Autoconsumo. En sistemas FV pequeños, algunos reguladores presentan un autoconsumo inaceptablemente elevado.

2.2 Baterías para los sistemas fotovoltaicos

La generación de energía eléctrica de origen fotovoltaico en tiempos diferentes a los de la demanda, da lugar a la necesidad de introducir en las instalaciones un medio de acumulación. Tal dispositivo de acumulación está dispuesto, en las aplicaciones prácticas, entre el panel fotovoltaico y la carga o consumo, de tal modo que se produce acumulación cuando el consumo es inferior a la energía generada. Sin embargo cuando la demanda es superior a la corriente generada (para los paneles fotovoltaicos es durante la noche), es la batería la que abastece el consumo.

El sistema de acumulación empleado en la instalación indicada es la batería electroquímica, cuyos vasos electroquímicos dispuestos como células de carga de electricidad, se conecta en serie para formar los denominados acumuladores.

La batería para aplicación en instalaciones fotovoltaicas deben reunir unas especificaciones muy concretas de capacidad, ciclos de carga/descarga y autodescarga diferentes a otros usos, lo que ha determinado su elección hacia las de plomo-ácido, las cuales están compuestas por dos electrodos inmersos en un electrolito de ácido sulfúrico diluido en agua. Tal electrolito puede estar en el recipiente en la formas de liquido o gel. La figura muestra la disposición básica de un vaso o célula, de cuyo número en el acumulador depende el voltaje de salida a obtener.

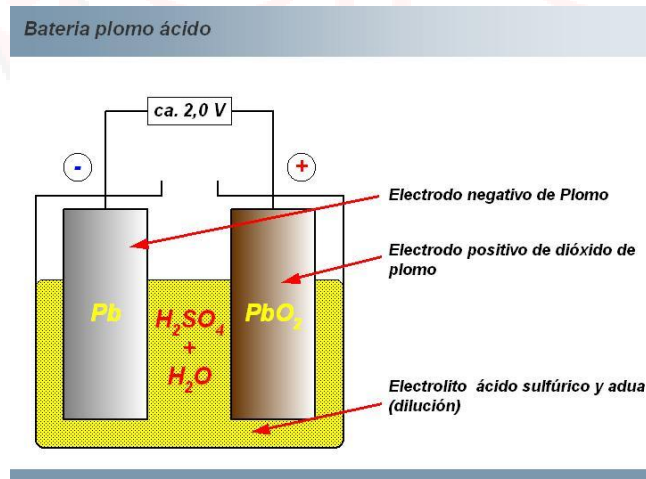


Figura Vaso elemental de plomo ácido

Los dos electrodos, que constituyen la salida de corriente del acumulador, son uno de dióxido de plomo para el ánodo, que corresponde al de la polaridad positiva, y el otro de plomo para el cátodo, con polaridad negativa.

La carga de energía eléctrica se produce por la aplicación directa o indirecta (regulador de carga) del generador fotovoltaico, o bien mediante el denominado cargador de

baterías conectados a la red eléctrica. Durante ese proceso, se forma oxido de plomo en el ánodo y plomo en estado puro en el cátodo, y se libera ácido sulfúrico al electrolito, con lo que se aumenta la concentración en orden creciente hasta la carga total.

La corriente de carga debe ser controlada para evitar el deterioro prematuro de la batería. Si estando la carga próxima al 100% se mantiene la corriente, se produce gasificación por exceso de Oxígeno y los separadores de las células se oxidan, independientemente de otros efectos perjudiciales. Por tal motivo es preciso reducir al mínimo la gasificación del electrolito, lo que se consigue reduciendo la corriente de carga. En la práctica se aplica una tensión de carga de 2.38 V por vaso a una temperatura de 25° C, proporcionando así un aceptable nivel de gasificación. En conjunto, el proceso de carga/descarga libera gases formados por Hidrógeno y Oxígeno, lo que da lugar a la necesidad de ventilar el habitáculo de las baterías.



Si bien la mayoría de las baterías empleadas en las instalaciones fotovoltaicas son del tipo plomo-ácido, la industria fabricante proporciona diferentes modelos constructivos con esa tecnología para adaptarse a otras tantas situaciones, especialmente en lo relativo al grado de gasificación y de protección ante roturas del envase. La tabla presenta los modelos comerciales más significativos

Tabla Baterías para los sistemas fotovoltaicos

TIPO DE BATERÍA	DESCRIPCIÓN
Ácido abiertas	Corresponden estas baterías al modelo básico, con los tapones de rellenado para agua destilada, lo que constituye su característica diferenciadora.
Acido selladas (herméticas)	Corresponden a las denominadas baterías estacionarias, sin mantenimiento (no es posible rellenarlas con agua destilada). Produciendo poco Oxígeno, por lo que se emplean en habitáculos cerrados. Estas baterías pueden tener una vida más corta por la imposibilidad del mantenimiento.
Gel selladas (herméticas)	Baterías igualmente sin mantenimiento, en las que el ácido se ha hecho gel, conforme a su denominación, para evitar el derrame del ácido sulfúrico en caso de rotura del envase.
AGM selladas (herméticas)	Baterías sin mantenimiento en las que el gel está en forma de masas esponjosas. Incorporan una válvula de protección. Estas baterías reciben la denominación de VRLA ("Valve Regulated Lead Acid" o Baterías de plomo ácido con válvula de regularización). Su principal característica es que presentan una vida larga.

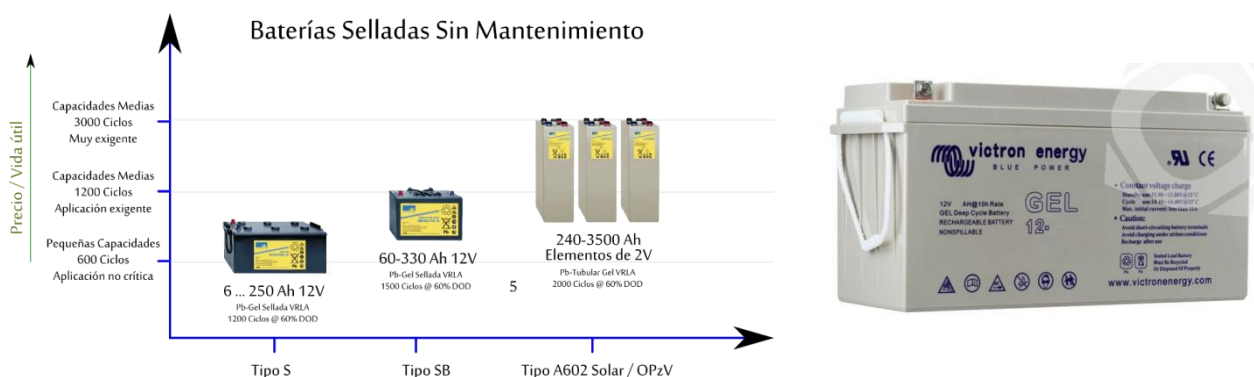


Figura Algunos tipos de baterías usados en sistemas fotovoltaicos

2.2.1.1 Especificaciones eléctricas

Las baterías se definen por un conjunto de especificaciones eléctricas con las que se indican sus condiciones de trabajo. Las principales son las siguientes:

- **Tensión.** Indicación de la tensión de trabajo. Dado que cada vaso de las baterías proporciona 2 V, y que esos están dispuestos en serie, su número corresponde al cociente entre la tensión de trabajo y la del vaso.
- **Capacidad (CX/Ah).** Parámetro que indica la cantidad de carga que se puede extraer de la batería en un determinado número de horas, a la temperatura de 25°C, y hasta que la tensión en sus bornes alcance el valor de 1.85 V por vaso o elemento.
- **Capacidad útil.** Parámetro que indica la capacidad disponible, que corresponde al producto de la capacidad nominal por la profundidad máxima de descarga permitida (PD máx.).
- **Estado de carga.** Parámetro que representa el cociente entre la capacidad de la batería, generalmente parcialmente descargada, por la capacidad nominal.

Se significa comúnmente este parámetro con los caracteres SOC, que representan:

$$0 < \text{SOC} < 1$$

Donde: SOC=1 Batería totalmente cargada

SOC=0 Batería totalmente descargada

- **Profundidad de descarga (PD).** Representa el cociente entre la carga extraída y su capacidad nominal. Este parámetro se cuantifica en (%).
- **Régimen de carga o descarga.** Parámetro empleado para relacionar la capacidad nominal y la intensidad de corriente a la que se realiza la carga o la descarga de la batería. Este parámetro se indica comúnmente en horas, con un subíndice del signo de capacidad y de la corriente a la que se realiza el proceso

de carga o descarga. Por ejemplo, si una batería de 100 Ah se descarga en 20 horas a una corriente de 5 A, se dice que el régimen de descarga es 20 horas ($C_{20} = 100 \text{ Ah}$) y la corriente se expresa como $I_{20} = 5 \text{ A}$.

- **Ciclos de vida.** Indicación que da el fabricante del número de veces que es posible cargar completamente la batería durante su vida útil. El número de ciclos de vida depende de la profundidad de descarga a la que trabaja la batería en el sistema.
- **Autodescarga.** Es referido a la pérdida de energía que experimentan las baterías cuando están inactivas. Su valor depende del tipo de batería empleado y de la temperatura a la que está sometida. Se indica generalmente en (%) mes. En general, los valores de autodescarga de las baterías empleadas no excederá del 6% de su capacidad nominal por mes.
- **Factor de rendimiento de la batería:** parámetro que se define como el cociente entre el valor de los amperios-hora que realmente se puede descargar de la batería dividido por el valor de los amperios-hora empleados en su carga.
- **Capacidad nominal, C20 (Ah):** es la cantidad de carga eléctrica que es posible extraer de una batería en 20 horas, medida a una temperatura de 20 °C, hasta que la tensión entre sus terminales llegue a 1,8V/vaso.
- **Profundidad de descarga máxima ($PD_{m\acute{a}x}$):** en este caso se define como el nivel máximo de descarga que se le permite a la batería antes que se produzca la desconexión del regulador, con objeto de proteger la durabilidad de la misma. Las profundidades de descarga máximas que se suelen considerar para un ciclo diario (profundidad de descarga máxima diaria) están en torno al 15-25%. Para el caso de un ciclo estacional, que es el número máximo de días que podrá estar una batería descargándose sin recibir los módulos radiación solar suficiente, está en torno a los 4-10 días y un profundidad de descarga del 75% aproximadamente. En todo caso, para instalaciones fotovoltaicas no se recomiendan descargas agresivas, sino más bien progresivas, por lo que las baterías a utilizar suelen ser con descarga de 100 horas (C_{100}), pues cuanto más intensa y rápida es la descarga de una batería, menos energía es capaz de suministrarlos.



Generalmente a la asociación eléctrica de un conjunto de baterías se le suele llamar sistema acumulador o simplemente acumulador.

En la siguiente tabla se indica el nivel del voltaje del módulo fotovoltaico en función de las necesidades de consumo de potencia que se demande.

Tensión de trabajo del sistema fotovoltaico	
Potencia demandada (en W)	Tensión de trabajo del sistema fotovoltaico (en V)
< de 1500 W	12V
Entre 1500 W y 5000 W	24V ó 48V
> 5000 W	120V ó 300V

El tiempo invertido en la descarga de la batería influye de manera decisiva en su capacidad de almacenaje. De esta forma, conforme más rápido se realice la descarga de la batería su capacidad de suministro disminuye, debido a que más energía se pierde por la resistencia interna, y a la inversa, conforme el tiempo de descarga aumenta y se realiza de forma más lenta, entonces la capacidad de la batería aumenta.

Por ello, al depender la capacidad de una batería del tiempo invertido en su descarga, éste valor se suele suministrar referido a un tiempo estándar de descarga (10 ó 20 horas), y para un voltaje final determinado.

En la mayoría de las ocasiones, los sistemas de acumulación de energía estarán formado por asociaciones de baterías, que estarán conectadas en serie o en paralelo, para satisfacer las necesidades, bien de tensión, o bien de capacidad que sean demandadas.

Mediante las asociaciones en serie de baterías se consigue aumentar el voltaje final respecto a la tensión de servicio que cada batería por sí sola puede ofrecer. En el conexionado en serie de varias baterías se debe conectar el borne negativo de cada batería con el positivo de la siguiente, y así sucesivamente. La tensión o voltaje que proporciona el conjunto es igual a la suma de las tensiones de cada una de las baterías individuales.

Por el contrario, mediante las asociaciones en paralelo de baterías se consigue aumentar la capacidad de suministro del conjunto, es decir, su autonomía, sumando las capacidades nominales de cada batería y manteniendo el mismo voltaje de cada batería individual.

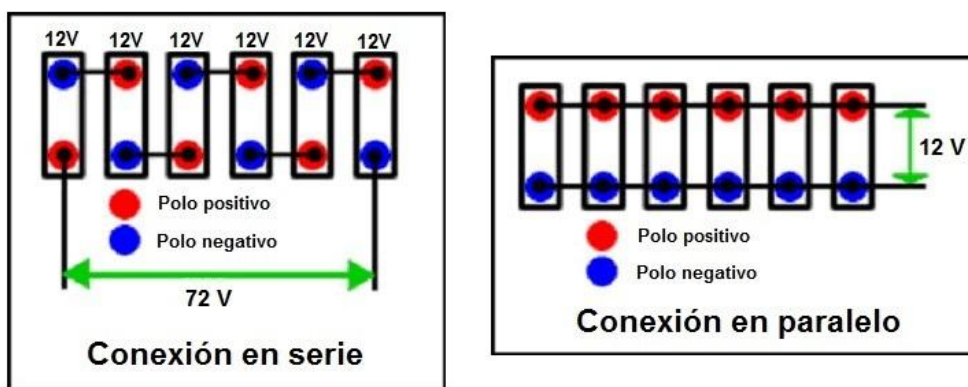


Figura. Asociaciones de baterías

la capacidad nominal de los sistemas acumuladores empleados (medido en Ah) no excederá en 25 veces la corriente (en A) de cortocircuito en CEM del generador fotovoltaico seleccionado.

La vida de un acumulador o batería, definida como la correspondiente hasta que la capacidad residual caiga por debajo del 80% de su capacidad nominal, deberá ser superior a 1000 ciclos, cuando se descarga el acumulador hasta una profundidad del 50% a 20 °C.

Aunque siempre se seguirán las recomendaciones de los fabricantes, durante la instalación de un sistema acumulador solar se deberá asegurar que:

- el acumulador o baterías se sitúen en lugares ventilados y de acceso restringido;
- se adoptarán las medidas de protección necesarias para evitar el cortocircuito accidental de los terminales del acumulador, por ejemplo, mediante cubiertas aislantes.

2.2.1.2 Elementos Constructivos

Los elementos constructivos más importantes de una batería son:

La célula. El elemento básico electroquímico de una batería es la célula (también denominado elemento de batería, consistente en un conjunto de placas positivas y negativas separadas por separadores aislantes, inmersas en una solución de electrolito, todo ello dentro de un contenedor. (En una batería típica de plomo-ácido (Pb-a) cada célula tiene un voltaje nominal en torno a 2 V, que se pueden asociar en serie para dar lugar a tensiones de 12 V (6 elementos en serie) o 24 V (12 elementos en serie)).

Material activo. Son los materiales que forman las placas positivas y negativas, que son los reactivos de la célula. La cantidad de materia activa es proporcional a la capacidad (Ah) que la batería puede suministrar. En las baterías de Pb-a, los materiales activos son el PbO_2 en la placa positiva y Pb en la negativa, que reaccionan con el ácido sulfúrico del electrolito durante la operación de la batería para producir agua y sulfato de plomo durante la descarga y viceversa durante el proceso de carga.

Electrolito. Es un medio conductor que permite el flujo de corriente mediante transferencia iónica, o la transferencia de electrones entre las placas de la batería. En las baterías de Pb-a, el electrolito es una disolución de ácido sulfúrico, bien en forma líquida, como gel o cristalizado. En las baterías de níquel-cadmio (NiCd) el electrolito es una solución de hidróxido potásico y agua. En muchas baterías es necesaria la reposición de agua, perdida durante el gaseo en la sobrecarga (es muy importante utilizar agua destilada para el rellenado).

Rejilla. Sirve como soporte de la materia activa y en las baterías de Pb-a está formada por una aleación de plomo. El antimonio o el calcio se suelen utilizar como elementos de aleación para fortalecer la rejilla y definen las diferentes características de la batería (como el ciclado y el gaseo). Dependiendo de la forma de la rejilla se diferencian baterías tubulares y planas.

Placas. Consisten en una rejilla con material activo, a menudo también denominado electrodo. Generalmente, en cada célula hay un número de placas conectadas en paralelo a un bus situado en la parte superior de las placas, tanto positiva como negativa. La profundidad del ciclado de una batería depende del grosor de las placas. En las baterías de arranque se suelen utilizar muchas placas muy finas, dando lugar a una gran superficie de reacción para suministro de altas corrientes en poco tiempo, pero haciendo que no sean muy resistentes a descargas profundas y prolongadas. Por el contrario, las placas gruesas permiten descargas profundas sobre largos periodos manteniendo una buena adhesión de la materia activa a la rejilla (vida larga).

Separadores. Es un material poroso (gomas, plástico...) y aislante que separa las placas positiva y negativa evitando el cortocircuito de las mismas y permitiendo el flujo del electrolito y los iones entre ellas. En algunos casos suelen ser envolventes evitando el cortocircuito debido a la posible deposición de materia activa en el fondo del contenedor.

Elemento. Definido como un conjunto de placas positivas y negativas y separadores, montados juntos con buses que interconecta las placas positivas y las negativas.

Bornas. Son las conexiones eléctricas externas (positiva y negativa).

Tapones. Durante la carga de la batería se producen gases que salen al exterior por los tapones. Existen tapones que son autorecombinantes, disminuyendo la pérdida de agua en el gaseo.

Carcasa o contenedor. Hechos comúnmente de plástico o goma dura y contiene todos los elementos de la batería. Los contenedores transparentes facilitan el control visual del nivel del electrolito.

2.2.1.3 Baterías de Plomo-Ácido

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 periodos 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). Están diseñadas para la operación muy esporádica y raramente se descargan. Normalmente están en un continuo estado de carga de flotación.

Las principales características de los distintos tipos de baterías de Pb-ácido son:

Baterías de Pb-antimonio. Utilizan antimonio como elemento principal en la aleación con plomo en las rejillas. El uso de antimonio proporciona una mayor fortaleza mecánica a las rejillas y altos regímenes de descarga con muy buena profundidad de ciclado. También limitan la pérdida de material activo y tienen un mayor tiempo de vida que las baterías de Pb-calcio cuando operan a altas temperaturas. Por otro lado tienen una elevada auto descarga y requieren una frecuente adición de agua. La mayoría son de tipo abierto con tapones recombinantes para disminuir el mantenimiento.

Baterías de Pb-calcio. Utilizan calcio como elemento en la aleación de las rejillas. Poseen baja autodescarga y menor gaseo (menor mantenimiento) que las de Pb-antimonio. No obstante tienen peor aceptación de la carga después de descargas profundas y menor tiempo de vida bajo descargas repetitivas mayores del 25%. En general no toleran bien la sobrecarga, las descargas muy profundas y la operación a elevadas temperaturas.

Pueden ser de dos tipos: abiertas o selladas (también denominadas "sin mantenimiento" en el sentido de que no necesitan que se les añada agua, pero a la vez están limitadas por que si se les añade agua se reduce su tiempo de vida). Las selladas incorporan la cantidad suficiente de electrolito para su tiempo de vida sin adición de agua.

Baterías híbridas. Normalmente de tipo abierto, con capacidades en torno a los 200 Ah. El diseño más común utiliza placas positivas tubulares de calcio y placas negativas planas de antimonio, combinando las ventajas de ambos elementos. No obstante es necesario cuidar los posibles problemas de estratificación y sulfatación.

2.2.1.4 Baterías de electrolito inmobilizado

Son otro tipo de baterías de plomo-ácido, con la especial característica de tener el electrolito inmobilizado de algún modo. Estas baterías son muy sensibles a los métodos de carga, voltajes de regulación y operación bajo temperaturas extremas. Los dos tipos más comunes de este tipo de baterías son las baterías de gel y las AGM (Absorbed Glass Mat).

Las baterías de gel suelen utilizar rejillas de plomo-calcio. La adición de dióxido de silicio "gelifica" el electrolito. Estas baterías utilizan un mecanismo interno de recombinación para minimizar el escape de gases y por tanto reducción de las pérdidas de agua. Algunas poseen una pequeña cantidad de ácido fosfórico añadido al electrolito para mejorar la profundidad de descarga en el ciclado, minimizando la oxidación de la rejilla (corrosión) a bajos estados de carga.

En las baterías AGM el electrolito está en forma cristalina formando capas entre las placas y están especialmente diseñadas para minimizar la pérdida de agua en la sobrecarga.

2.2.1.5 Baterías de níquel-cadmio

Las principales características de las baterías de níquel-cadmio (Ni-Cd) son su larga vida, bajo mantenimiento, no le afectan las sobrecargas excesivas, y los voltajes de regulación



no son parámetros críticos. Sin embargo el precio de estas baterías es muy superior a las de plomo-ácido.

En una célula de una batería típica de Ni-Cd los electrodos positivos están hechos de hidróxido de níquel $\text{NiO}(\text{OH})$ y los electrodos negativos de cadmio (Cd), ambos inmersos en



una solución de hidróxido potásico (KOH). En el proceso de descarga el hidróxido de níquel cambia a $\text{Ni}(\text{OH})_2$ y el cadmio se transforma en hidróxido de cadmio $\text{Cd}(\text{OH})_2$. La concentración del electrolito no cambia durante la reacción.

Los dos principales tipos son las de placas "sintered" y de placas "pocked". En las primeras el electrolito está inmovilizado y presentan el llamado "efecto memoria" según el cual una batería que es descargada

repetidamente hasta sólo un porcentaje de su capacidad, eventualmente memorizará este ciclado y limitará descargas mayores dando como resultado una pérdida de su capacidad. El segundo tipo requiere adición periódica de agua pero no presenta el efecto memoria.

2.2.1.6 Características de operación

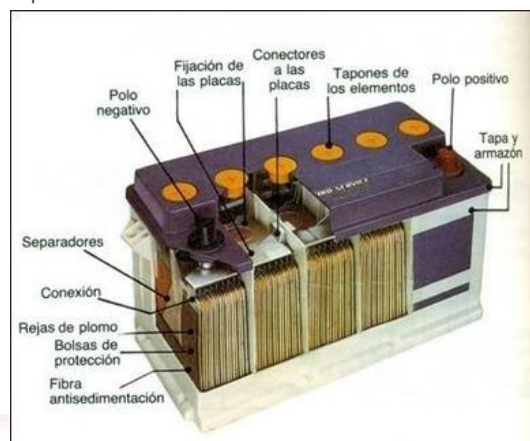
El régimen de carga o descarga define la intensidad de la corriente eléctrica utilizada en el proceso. Este régimen se expresa en forma normalizada en relación a la capacidad en amperios-hora. Por ejemplo, la descarga completa de una batería de 100 Ah, con una corriente de 20 A dura 5 h lo que indica un régimen de $I(C5)$. Los regímenes usuales en las aplicaciones fotovoltaicas suelen estar dentro del rango de corrientes que corresponden a descargas de 10 a 100 horas, $I(C10)$ a $I(C100)$.

Cuanto menor es la temperatura menor es la capacidad, pues mayor es la viscosidad del ácido y más lentos los procesos de difusión iónica. La resistividad del electrolito aumenta de forma significativa al disminuir la temperatura. Para temperaturas por debajo de 0°C , dependiendo del régimen y de la profundidad de descarga, el electrolito puede llegar a congelarse. Los efectos de la temperatura son tanto más acusados cuanto mayor es la intensidad de la descarga. En instalaciones situadas en zonas muy frías se utiliza ácido más concentrado, para asegurar que el electrolito no alcance el punto de congelación.

La *concentración del electrolito* es un factor que limita la capacidad, porque la intensidad de difusión se ve afectada tanto por la viscosidad del electrolito como por su concentración en los poros de las placas y fuera de ellos. El ácido sulfúrico sólo puede emplearse en un cierto rango de concentraciones. La reacción de auto descarga establece un límite superior, en torno a $1,28 \text{ g/cm}^3$ a temperaturas normales, y la conductividad eléctrica, el límite inferior, en torno a $1,06 \text{ g/cm}^3$.

Durante la carga, la corriente entra en la batería en la dirección opuesta a la de descarga restableciendo los materiales activos en las placas, lo que conlleva un aumento de la tensión, de la densidad del electrolito y del estado de carga. El desprendimiento de gases, usualmente llamado gaseo, depende de la tensión de sobrecarga, temperatura, tipo de aleación e impurezas. El consumo de agua resultante del gaseo da lugar a una disminución del nivel del electrolito y a un aumento de la concentración del mismo, por lo que es necesario un frecuente mantenimiento para reponer el agua consumida y

evitar que las placas se queden descubiertas, ya que en este caso se producen daños irreversibles. Eléctricamente, este fenómeno se traduce en un aumento de la resistencia interna como consecuencia de la mayor dificultad del proceso. Por otro lado una cantidad adecuada de sobrecarga promueve la homogeneización del electrolito debido a la agitación que producen las burbujas del gas y contrarresta la tendencia a la estratificación del electrolito. La elevación de la temperatura en la carga, combinada con elevados regímenes de corriente, tiene un efecto nocivo al fomentar la corrosión de la rejilla positiva que puede llevar al desprendimiento del material activo, y el excesivo gaseo puede arrastrar partículas de las placas, contribuyendo a la disminución de la vida útil de la batería. Para contrarrestar el fenómeno de la corrosión, en las zonas cálidas se utilizan densidades de electrolito bajas, entre 1,2 y 1,22 g/cm³ para baterías totalmente cargadas. La elevada movilidad iónica debido a la elevada temperatura de estas zonas compensa el efecto de esta baja densidad sobre la resistencia.



Como resultado del envejecimiento, la resistencia interna aumenta, por lo que la tensión máxima de carga debería ir aumentando para mantener el mismo régimen de carga o bien para un mismo voltaje tardaría más tiempo en cargarse.

Después de una descarga, la subsiguiente carga de una batería suele caracterizarse por una elevada tensión de carga y por un gaseo más o menos pronunciado. En condiciones especiales se utilizan otros dos tipos de carga: carga de mantenimiento y carga de igualación. La carga de mantenimiento sirve para conservar las baterías completamente cargadas, incluso cuando no están en operación, compensando las pérdidas por autodescarga. Una pequeña corriente es suministrada para mantener la batería a una "tensión de flotación", algo superior a la tensión de circuito abierto (del orden de 2,35 V por elemento). La carga de igualación se aplica cuando hay diferencias de tensión y de densidad del electrolito entre los vasos, esto es, del estado de carga entre las células o elementos que forman una batería. Consiste en una carga prolongada en un régimen de intensidad constante y moderado, como I(C20), que debe ser mantenido hasta que el voltaje y la densidad de todas las células se mantengan iguales y constantes.

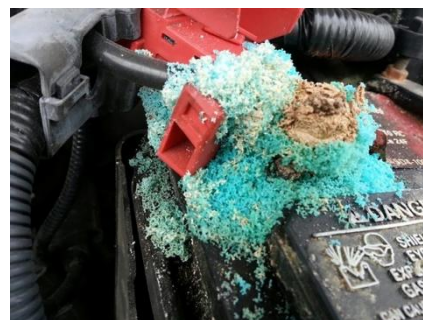
El rendimiento faradaico se define como la relación entre la carga (Ah) extraída de ella durante una descarga y la carga (Ah) requerida para restablecer el estado inicial de carga.

El rendimiento energético es la relación entre la energía (Wh) extraída de la batería durante la descarga y la energía (Wh) requerida para restablecer el estado inicial de carga.

Las baterías en los sistemas fotovoltaicos operan en ciclos de cargas y descargas, intercambiando energía con el resto del sistema.

Diariamente el ciclado se caracteriza por un cierto número de ciclos cuya profundidad o cantidad de carga extraída en cada ciclo relativa a la capacidad nominal de la batería,

depende de las condiciones de generación, que son función de la radiación y de la demanda de energía. Según la aplicación el ciclado puede ser superficial, profundidad de ciclado diario menor del 15%, o profundo, mayor del 80%. La vida útil es el periodo durante el cual la batería es capaz de operar bajo las condiciones determinadas por la aplicación, manteniendo la capacidad y el nivel de rendimiento requeridos. En general se recomienda mantener la profundidad de ciclado diaria entre el 15% y el 20% de la capacidad nominal, lo cual supondría más de 2.000 ciclos o una vida media de 10 años.



Los principales mecanismos del envejecimiento son:

Degradación de las placas positivas debido a la continua sucesión de ciclos de carga y descarga que causan una continua dilatación y contracción de los materiales de las placas positivas reduciendo la adhesión del material activo a la rejilla y provocando su desprendimiento.

Degradación de las placas negativas o sulfatación. Cuando una batería permanece mucho tiempo descargada o se ve sometida habitualmente a recargas insuficientes pierde irreversiblemente materia activa, debido a la recristalización de los finos cristales de sulfato de plomo formados durante la descarga, convirtiéndose en grandes cristales o costras, que presentan mayor dificultad en transformarse en la siguiente carga, dando lugar a un aumento de la resistencia interna, mayor generación de calor y disminución de la capacidad. Los procesos de sulfatación involucran el crecimiento de cristales de sulfato de plomo en la placa positiva, disminuyendo el área activa y la capacidad de la batería. A mayores descargas, mayor cantidad de material activo es convertido en sulfato de plomo. Durante la recarga, el sulfato de plomo es reconvertido en dióxido de plomo. Esta reconversión se inhibe si la batería permanece descargada durante periodos prolongados.

La sulfatación es un problema que suele presentarse con bastante frecuencia en las aplicaciones FV debido al dimensionado realizado para suministrar el consumo bajo condiciones promedio, donde la batería es utilizada como reserva energética en periodos de utilización excesiva de la carga o en bajos periodos de radiación. En consecuencia, la batería puede operar en algún periodo del año a estados de carga parciales, resultando en algún grado de sulfatación. Para minimizar la sulfatación, el generador FV se diseña generalmente para recargar la batería en un ciclo diario, durante el peor mes del año.



Estratificación. Consecuencia de la gravedad y de períodos largos de inactividad de la batería se establece un ρ gradiente de densidad entre la parte superior e