

# CAPITULO 5

## BATERIAS

### RECARGABLES

#### Introducción

Si bien el sistema FV básico del Capítulo 2 muestra al control de carga a continuación de los paneles de generación, es importante familiarizarse primero con los tipos de baterías usados en los sistemas FVs, ya que los controles de carga deben ser elegidos considerando el tipo de acumulador que se usará en el sistema.

#### Tipos de baterías

Existen varios, pero el que ofrece el mejor balance **entre costo y performance** es la batería de Plomo-ácido y, en particular, la que tiene electrolito líquido. Este tipo, con más de 140 años de existencia, ha evolucionado y continúa evolucionando tecnológicamente.

Hoy día ya no es posible hablar de la “batería de Plomo-ácido” como si fuere un componente genérico que puede ser usado en distintas aplicaciones, ya que cada tipo representa un producto hecho para satisfacer un tipo específico de carga. Baterías diseñadas para ser usadas en automotores, o para suplir energía eléctrica durante períodos de interrupción del servicio eléctrico (*stand-by power*, en inglés), o para integrar el banco de acumulación de un sistema FV no son intercambiables.

En particular, el uso de baterías para automotores en el banco de reserva de un sistema FV presenta problemas que se traducen en mayores costos, como veremos en el Capítulo 6, al hablar de las baterías solares.

#### Conceptos básicos

Los conceptos dados a continuación se aplican para cualquier tipo de batería **recargable**, sea ésta una AA para su linterna o una que es capaz de soportar mil amperes por dos (2) segundos.

El mecanismo que permite la utilización de una batería recargable como una fuente portátil de energía eléctrica consiste en **una doble conversión de energía, llevada a cabo mediante el uso de un proceso electro-químico reversible**. La primera conversión, energía eléctrica en energía química, toma lugar durante el proceso de carga. La segunda, energía química en eléctrica, ocurre cuando la batería se conecta a la carga.

**Nota:** *Como en toda conversión de energía, los procesos de carga y descarga de una batería vienen acompañados de inevitables pérdidas de energía.*

#### Celda

El conjunto integrado por los electrodos y el electrolito constituyen una **celda** de acumulación. El voltaje de salida para esta celda depende, principalmente, de:

- ★ Los materiales usados para el electrolito y los electrodos.
- ★ El estado de carga de la celda.

La corriente máxima que la celda puede entregar a una carga fija, depende, entre otros parámetros, de:

- La capacidad de la batería.
- La superficie activa de los electrodos.
- La resistencia interna de la celda, la que depende, a su vez, del estado de carga de la celda y el diseño de la unidad.

### Baterías solares

Las baterías usadas en los sistemas FVs se demoninan **baterías solares**. Como estas baterías admiten un alto porcentaje de descarga, suelen llamarse, asimismo, **baterías de ciclo profundo**. Por ahora mencionaré algunas características genéricas de las mismas.

Los voltajes nominales más comunes son 6 y 12 V. Sin embargo se ofrecen modelos con voltajes de salida de 24 y 48 V para sistemas con cargas de alto consumo. Las baterías solares usan diferentes tipos de celdas, pero todas tienen un bajo valor para el voltaje de salida, el que oscila entre 1,2 y 2 V nominales. Esto significa que, como en el caso de las células FVs, las celdas deberán conectarse en serie para alcanzar el voltaje nominal de salida, y en paralelo para aumentar el valor de la máxima corriente de carga que podrán sostener en forma continua.

Las celdas se colocan dentro de **cajas**, las que están hechas con materiales plásticos resistentes al impacto y a la acción corrosiva de los electrolitos usados. Hay dos tipos de cajas: la **hermética** y la **abierta**.

Las primeras proporcionan un alto grado de seguridad, ya que el electrolito no puede derramarse, no importa cual es la posición del acumulador. Las baterías abiertas tienen tapones de ventilación, los que liberan los gases formados durante el proceso de carga. La caja de batería está diseñada para minimizar el derrame del electrolito a través de ellos, como veremos en este capítulo.

### Batería plomo-ácido

Abreviaré algo este nombre, usando el símbolo químico para el plomo (**Pb**), de manera que en adelante haré referencia a las baterías de Pb-ácido, las que se ofrecen en dos versiones:

- ❖ Con electrolito líquido (baterías abiertas).
- ❖ Con electrolito gelatinoso (baterías herméticas).

Como el costo de la segunda versión es el **doblo** de la primera, la batería de Pb-ácido con electrolito líquido es la más usada.

### Batería abierta

El electrolito de estas baterías consiste en una solución con 64% de ácido sulfúrico ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ) de **alto grado de pureza** y 36% de agua destilada ( $\text{H}_2\text{O}$ ).

El agua disocia (rompe) las moléculas del ácido creando iones de sulfuro ( $\text{SO}_4$ )<sup>2-</sup> y de hidrógeno (**H**)<sup>+</sup> El proceso de electrólisis del agua durante la carga genera iones de hidrógeno (**H**)<sup>+</sup> y oxígeno (**O**)<sup>2-</sup>.

Ambos electrodos están hechos de plomo, pero al terminarse el proceso de fabricación (carga de la batería) el electrodo positivo se cubre con un depósito de **dióxido de plomo** ( $\text{PbO}_2$ ).

**Batería Pb-ácido**

Las Figuras 5.1 a y b muestran, respectivamente, una celda de Pb-ácido cargada y descargada.

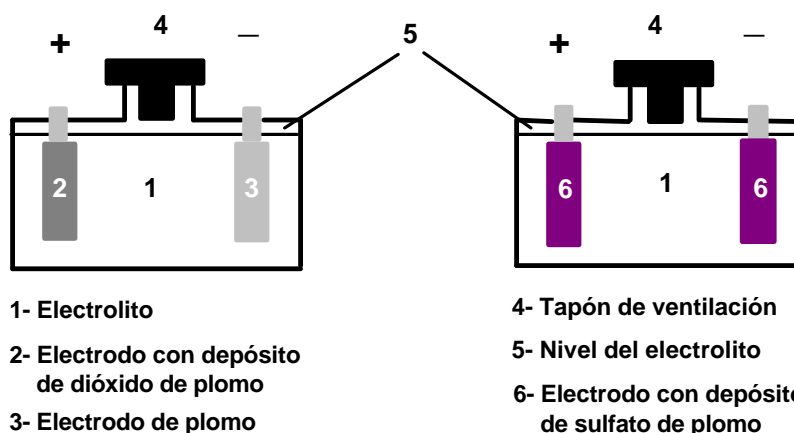


Fig. 5.1a- Batería Cargada

Fig. 5.1b- Batería Descargada

**Descarga**

El electrolito de una batería de Pb-ácido interviene en forma **activa** en el proceso electroquímico. Durante la descarga, el electrodo de plomo ( $\text{Pb}$ )<sup>2+</sup> reacciona con el ión sulfato ( $\text{SO}_4$ )<sup>2-</sup>, creando un depósito de sulfato de plomo  $\text{PbSO}_4$ . Esta reacción química se lleva a cabo con la cesión de dos **iones positivos**, lo que da al electrodo su polaridad negativa (**cátodo**).

Los iones de ( $\text{SO}_4$ )<sup>2-</sup> reaccionan con el dióxido de plomo ( $\text{PbO}_2$ ) del otro electrodo, formando sulfato de plomo ( $\text{PbSO}_4$ ). Esta reacción química se lleva a cabo con la cesión de dos **electrones**, lo que da a este electrodo su polaridad positiva (**ánodo**).

Los iones de hidrógeno del agua se combinan con el de oxígeno del  $\text{PbO}_2$ , formando **nuevas moléculas** de agua ( $\text{H}_2\text{O}$ ). Como en el caso de los semiconductores, se puede observar la creación de cargas libres de polaridad opuestas, las que posibilitan sostener una corriente de externa.

**Carga**

Al revertirse el proceso, el electrolito **pierde agua** y ambos electrodos vuelven a tener su composición química original.

**Nota:** *El cambio porcentual de la cantidad de agua en solución fuerza un cambio de **densidad** en el electrolito. Cuando la batería está cargada, la densidad **aumenta**, y cuando está descargada, **disminuye**. Estas variaciones de densidad permiten evaluar, con precisión, el estado de carga de las celdas.*

**Observaciones**

Teniendo en cuenta los detalles presentados hasta este momento, es importante recordar que:

- Como la proporción de agua en una batería cargada disminuye, **siempre** se debe observar el nivel del electrolito **después que la batería ha sido cargada**.
- Para restaurar el nivel correcto del electrolito **sólo debe agregarse agua destilada**.
- La remoción temporaria de los tapones de ventilación permite medir la densidad del electrolito.

### Batería para automotor

Es interesante observar los detalles de construcción de una batería de este tipo, con electrolito líquido, ya que muchos de ellos se repiten en otros tipos de baterías. La Figura 5.2 proporciona estos detalles.

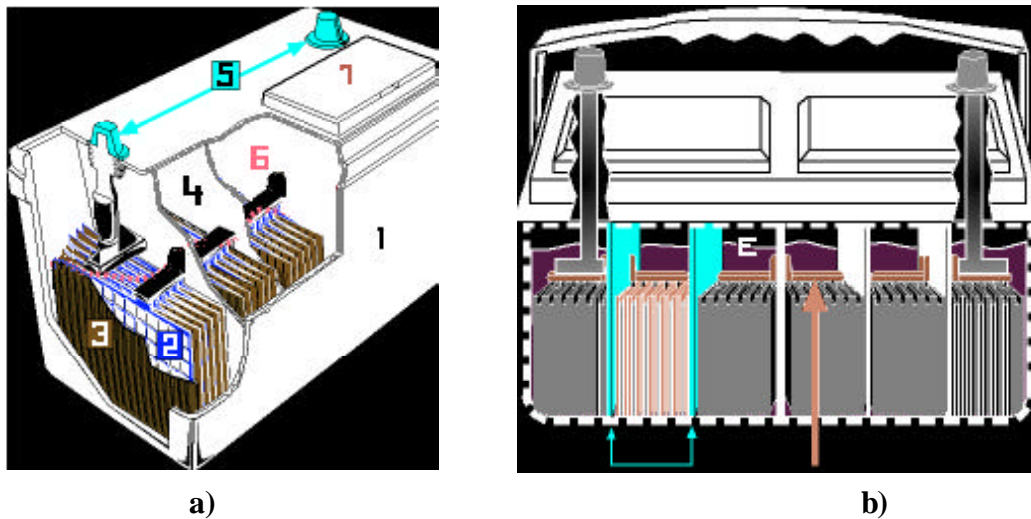


Figura 5.2- Batería Pb-ácido para automotor

### Detalles de construcción

Las celdas (2) están agrupadas en particiones (4) dentro de la caja (1), de manera que cada celda tiene una parte del electrolito. La Figura 5.2 (a y b) muestra el entrelazado de las placas positivas y negativas que componen una celda, con separadores intermedios porosos (3) los que dejan pasar las cargas, a la vez que evitan el cortocircuito entre placas adyacentes (polaridad opuesta). Este entrelazado permite aumentar la superficie activa de las celdas sin incrementar excesivamente el volumen de la caja.

La letra E (Fig 5.2b) marca el nivel superior del electrolito, el que se muestra en forma ondulante porque el automotor lo agita durante su marcha. El nivel correcto se alcanza cuando éste cubre la parte superior de las placas, dejando un espacio libre entre el electrolito y el tope de la caja, el que sirve para acumular, temporariamente, los gases liberados durante la carga.

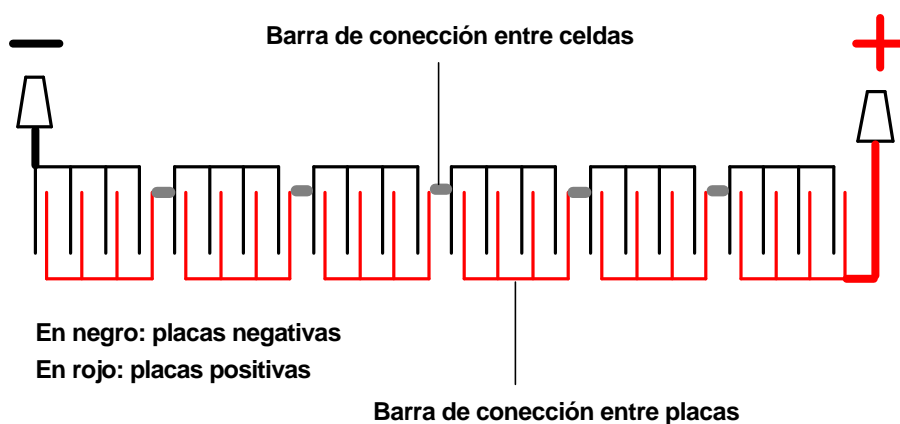
Los bornes de salida (5) son de plomo y levemente cónicos, para facilitar el desmontaje de los terminales de cables, los que están hechos con sólidas abrazaderas de plomo, que se sujetan al terminal de batería con tornillo y tuerca.

Como los vehículos al rodar agitan constantemente el electrolito, los tapones de ventilación se agrupan en dos recesos de la caja. Cada uno de ellos contiene tres tapones, los que están protegidos por una tapa que calza a presión (7). El moldeado de los agujeros para los tapones de ventilación se extiende dentro de la caja. Al alcanzarse el nivel correcto para el electrolito, la luz que entra se refleja con intensidad, ya que electrolito forma una superficie cóncava debido al efecto de capilaridad con los bordes moldeados.

### Coneccionado interno

Las placas de igual polaridad dentro de una celda están conectadas en paralelo por las barras de conexión (6). La barra de una polaridad, dentro de una celda, se conecta a la barra que une las placas de polaridad **opuesta** en la celda adyacente, estableciéndose una conexión serie entre ellas como se muestra en la Figura 5.3.

**Coneccionado interno  
(Cont.)**

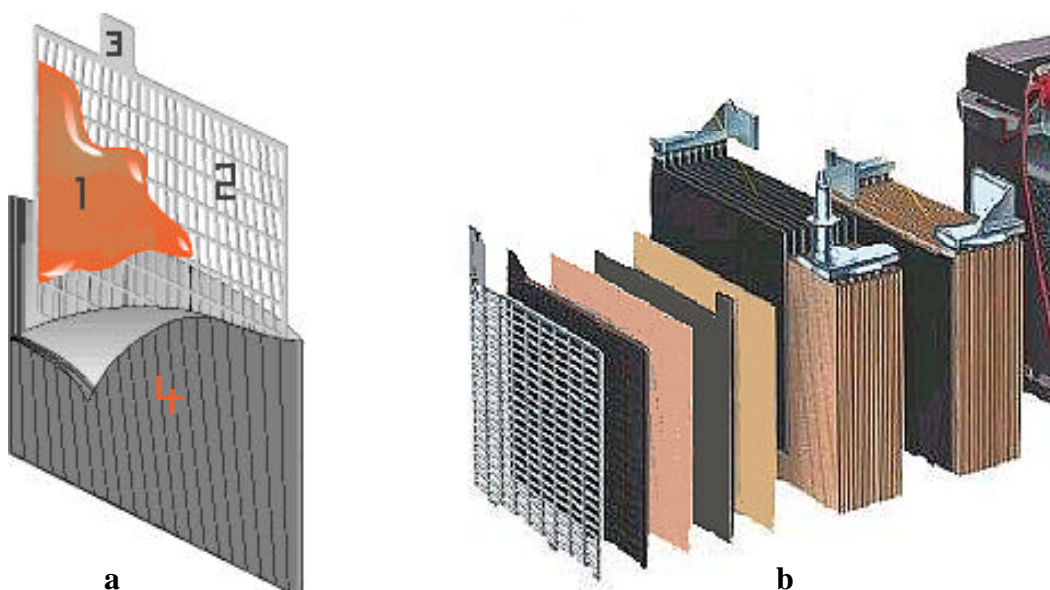


**Figura 5.3- Coneccionado interno**

Para un voltaje nominal de **12 V** de salida la caja contiene **seis (6)** celdas en serie.

**Placas**

Las Figuras 5.4 a y b muestran la estructura interna de una placa y su montaje. El material activo tiene una estructura esponjosa (1), la que se deposita sobre una rejilla de sostén de plomo (2). Las lengüetas (3) de cada rejilla sirven para conectar las placas de una polaridad a la barra correspondiente. La placa adjacente (diferente polaridad) del entrelazado tiene la lengüeta en el extremo opuesto, para poder separar las barras de diferente polaridad. El separador (4) envuelve a la placa como un sobre, proveyendo aislación en toda su superficie activa. Otros fabricantes usan un separador plano (Figura 5.4b).



**Figura 5.4- Detalle de construcción y montaje de las placas**

**Problemas típicos**

Las baterías de Pb-ácido con electrolito líquido presentan problemas cuando están en servicio activo o en almacenamiento. A continuación mencionaré los más comunes.

**Problemas típicos (Cont.) Bajas temperaturas- Congelamiento del electrolito**

La temperatura que alcanza el electrolito está determinada por la temperatura ambiente, ya que después de una hora la temperatura del electrolito alcanza un valor muy cercano al ambiental.

Si bien la corriente que circula por la batería crea una leve disipación de calor, debido a la resistencia interna, este valor es sumamente bajo como para superar la acción de una temperatura ambiente muy por debajo de los 25°C (77°F), que es el valor de temperatura **ideal** de trabajo para una batería de cualquier tipo.

Al bajar la temperatura del electrolito la actividad química disminuye y, consecuentemente, el número de cargas libres se reduce. En términos eléctricos esta menor actividad química se manifiesta en un aumento de la **resistencia interna** del acumulador (Apéndice I). Este aumento disminuye el voltaje de salida, y consecuentemente, la corriente en la carga.

Cuando la temperatura ambiente alcanza valores **por debajo de 0°C (32°F)**, el estado de carga de la batería (proporción de agua) determinará la posibilidad de **congelamiento** del electrolito. La Tabla VI-1 proporciona valores promedios para la temperatura de congelación del electrolito líquido en función del estado de carga.

**Tabla VI-1 Temperatura de congelación vs. estado de carga**

<b>Estado de carga (% del máximo)</b>	<b>Temperatura de congelación (°C)</b>
<b>100</b>	<b>- 58,0</b>
<b>75</b>	<b>- 34,4</b>
<b>50</b>	<b>- 20,0</b>
<b>25</b>	<b>- 15,0</b>
<b>Descargada</b>	<b>- 10,0</b>

**Nota:** *Para una batería en particular, el usuario deberá solicitar esta información del fabricante (o su representante).*

Al congelarse, el agua se expande. La fuerza de expansión distorsiona las placas, y hasta puede llegar a quebrar la caja. En ambos casos el daño es permanentemente y la batería debe ser descartada.

**Bajas temperaturas- Capacidad de almacenamiento**

La Tabla VI-2 muestra, en forma porcentual, los cambios en la capacidad de acumulación de una batería de Pb-ácido con electrolito líquido, cuando la temperatura del electrolito disminuye.

**Tabla VI-2 Capacidad de acumulación vs. temperatura**

<b>Temp. del electrolito (°C)</b>	<b>Capacidad %</b>
<b>30</b>	<b>105</b>
<b>25</b>	<b>100</b>
<b>16</b>	<b>90</b>
<b>4</b>	<b>77</b>

**Problemas típicos** **Altas temperaturas- Vida útil****(Cont.)**

Cuando la temperatura ambiente se eleva, la acción química se acelera, disminuyendo el valor de la resistencia interna. Algún lector puede concluir que las temperaturas ambientes elevadas son las ideales. La conclusión es **errónea**, pues la mayor actividad química se traduce en una **reducción** de la vida útil del acumulador, ya que se acelera el desgaste de la superficie activa de los electrodos.

La Tabla VI-3 muestra la reducción porcentual de la vida útil en relación al valor máximo a 25°C, si la temperatura de trabajo de la batería se mantiene a la temperatura especificada en la tabla.

**Tabla VI. 2- Reducción porcentual de la vida útil vs. temperatura**

<b>Temp. del electrolito (°C)</b>	<b>Reducción de la vida útil ( % )</b>
<b>25</b>	<b>0</b>
<b>30</b>	<b>30</b>
<b>35</b>	<b>50</b>
<b>40</b>	<b>65</b>
<b>45</b>	<b>77</b>
<b>50</b>	<b>87</b>
<b>55</b>	<b>95</b>

**Sulfatación**

Este es el mayor problema cuando se usan baterías de plomo-ácido con electrolito líquido. Hemos visto que la descarga forma un depósito de sulfato de plomo en ambas placas. Normalmente, este depósito está constituido por pequeños cristales, que se descomponen fácilmente durante el proceso de carga, **disolviéndose** en el electrolito.

Si el balance energético no puede ser alcanzado para la mayoría de los días en que el sistema permanece activo, el depósito de sulfato de plomo comienza a crecer en espesor. La corriente de carga no consigue desprenderlo totalmente, reduciéndose la superficie activa de las placas, lo que acorta rápidamente la vida útil del acumulador. A este mecanismo se lo denomina **sulfatación** de la batería.

**Notas:** *Este mecanismo toma lugar, asimismo, en baterías que permanecen en depósito por largo tiempo, sin ser recargadas.*

*La posibilidad de sulfatación de las placas se incrementa, si el sistemas FV está instalado en un lugar donde los períodos nublados son de larga duración.*

*El proceso de sulfatación se acelera cuando la temperatura del electrolito se eleva.*

Si el usuario de un sistema FV **ignora** la importancia de no sobre-descargar el banco de reserva durante períodos de baja irradiación solar, y no baja el consumo, la posibilidad de que las placas se sulfaten se incrementa substancialmente.

¿Existe un remedio para este problema? Hasta hace pocos años, se sugería el uso de una corriente entre 3 y 5 veces la de carga normal (**corriente de ecualización**), pero esta “solución”, trae aparejado problemas, ya que los depósitos cristalinos que se desprenden caen en pedazos al fondo de la batería, **sin disolverse** en el electrolito. Esto significa que una parte importante del material activo que interviene en el proceso químico se perderá con cada ecualización.

La corriente de equalización, siendo tan elevada, requiere el uso de un cargador auxiliar, complicando aún más el proceso de “recuperación”. Un procedimiento que da mejores resultados, pues actúa como *preventivo*, es el uso de un **desulfatador electrónico**, el que somete a los cristales a una **agitación mecánica**.

Para aquellos que no pueden pagar por este tipo de desulfatador, la única solución es un cuidadoso uso del banco de reserva complementado por un riguroso plan de mantenimiento.

### Desulfatadores electrónicos

Actualmente se ofrecen dos versiones. Una (Renew-IT Pulse Technology™) usa pulsos de alto voltaje, de muy corta duración, a fin de reducir a un mínimo la corriente de agitación. La otra versión (Atlantic Solar Products™, Inc.) emplea un oscilador de alta frecuencia para llevar a cabo la agitación mecánica.

La información técnica suministrada por las dos compañías indica que el modelo a pulsos consume más energía que el segundo, ya que fué originalmente diseñado para baterías de automotores, las que siempre están siendo cargadas. El segundo (Figura 5.5), tiene un consumo insignificante, comparado con el de la carga, y puede conectárselo, permanentemente, en paralelo con la salida. En este modelo las oscilaciones eléctricas ayudan a remover los depósitos durante el período normal de carga, de manera que su diseño parece ser más bien preventivo, aunque, con tiempo, puede recuperar una batería considerada descartable (descartada).



**Figura 5.5- Desulfatador electrónico**

**Nota:** Si Ud puede leer inglés o interpretar un circuito electrónico, visite la página de la revista Home Power ([www.homepower.com](http://www.homepower.com)). El número 77 (pág. 84) tiene un artículo escrito por Alastair Cooper describiendo un circuito de este tipo.

### Gasificación

Cuando una batería de Pb-ácido alcanza el 100% de su carga, su voltaje es muy cercano al del cargador. La diferencia de voltaje es mínima, disminuyendo la corriente de carga y, por ende, las reacciones químicas. Es entonces cuando los iones de oxígeno e hidrógeno formados por la electrólisis del agua no se combinan químicamente y escapan por los tapones de ventilación. Los de hidrógeno ( $\text{H}^+$ ) irán al electrodo negativo, y los de ( $\text{O}^{2-}$ ) al electrodo positivo. Este escape de gases produce un burbujeo en el electrolito, al que se conoce como **gasificación**.

Algo de gasificación es útil, pues contribuye a homogeneizar la solución electrolítica evitando la **estratificación** en capas con distintas densidades. Pero aún a bajos niveles, el oxígeno ataca los sostenes de plomo de las celdas, lo que puede ocasionar el derrumbe de una de las celdas. Este fenómeno, conocido como la “**muerte súbita**” de la batería, ocurre sin dar aviso previo.

Si el cargador tiene un voltaje elevado, la gasificación se incrementa y el burbujeo se hace tan intenso que los gases arrastran parte del electrolito *fuera de la caja*, a través de los tapones de respiración. El ácido sulfúrico que escapa daña los terminales de salida y disminuye la cantidad de ácido en solución.

### Autodescarga

Una batería que está cargada y permanece *inactiva*, independientemente de su tipo, pierde su carga con el tiempo. Este fenómeno es conocido como **autodescarga**. La rapidez de descarga depende de:

- ◆ El tipo de batería (Pb-ácido líquido o gelatinoso, Niquel-Cadmium, etc).
- ◆ La temperatura ambiente.

A las placas de las baterías de Pb-ácido para automotor se le agrega calcio (baterías de mantenimiento nulo) para reducir la pérdida de agua en el electrolito y la gasificación. La presencia del calcio retarda la autodescarga, lo que es importante si el vehículo permanece inactivo por un tiempo. Estas baterías, a temperaturas cercanas a los 25°C, tardan un año en perder el 50% de su carga.

A las placas de las baterías de Pb-ácido de **ciclo profundo** (baterías solares) se le agrega antimonio, lo que permite incrementar la cantidad de material activo en las mismas, y, por ende, su duración. El antimonio aumenta la autodescarga, tardando sólo unos meses en descargarse totalmente a una temperatura cercana a los 25°C. Cuando la temperatura ambiente se eleva, la autodescarga se acelera, como se mencionó anteriormente.

### Comentarios

Los problemas enumerados muestran la necesidad de:

- ☞ Ubicar las baterías en un lugar donde la temperatura ambiente se mantenga cercana a los 25°C durante todo el año.
- ☞ Mantener las baterías cargadas.
- ☞ Vigilar constantemente el estado de carga de una batería de Pb-ácido (electrolito líquido) que debe permanecer en depósito por largo tiempo.
- ☞ Alternar, cada semana, la batería en depósito con otra unidad en uso.
- ☞ No someter el banco de baterías a descargas excesivas.
- ☞ Mantener el balance entre carga y descarga.

🔔 ***La sulfatación destruye, según la información técnica proporcionada por la asociación de fabricantes de acumuladores de Pb-ácido de los EEUU, ocho (8) de cada diez (10) baterías de Pb-ácido en uso.***

### Voltaje vs Carga

Si bien el voltaje de batería no representa una medida absoluta del estado de carga de la misma, éste es el único indicador que nos queda cuando debemos evaluar el estado de carga de una batería hermética con electrolito ácido.

La medida de este valor debe tomarse con la batería descansada, es decir, no durante la carga, o cerca de haber terminado la misma. Como un proceso químico toma lugar en ambos casos, el voltaje experimenta variaciones.

La página siguiente proporciona una tabla que relaciona el voltaje de batería y la densidad del electrolito (25°C) con el porciento del estado de carga.

La tabla incluye valores para baterías de 6 y 12 V, los que guardan una relación de 2:1.

<b>ESTADO DE CARGA</b>	<b>DENSIDAD</b>	<b>VOLTAJE</b>	
		<b>12 V</b>	<b>6V</b>
100%	1,265	12,70	6,35
75%	1,225	12,40	6,20
50%	1,190	12,20	6,10
25%	1,155	12,00	6,00
DESCARGADA	1,120	11,90	**

\*\* 6,00 V o algo por debajo de ese valor