

CURSO

# Electricidad de edificios

Instalaciones de energía fotovoltaica  
en edificios

módulo **6**

unidad **2**

## Componentes de las instalaciones fotovoltaicas (I)



**GRUPO FONDO FORMACIÓN**

## ELECTRICIDAD DE EDIFICIOS

**EDITA:** Grupo Fondo Formación, A.I.E.

**DIRECCIÓN Y COORDINACIÓN:** Dirección de departamento de Programas. Fons Formació Zona Mediterrània SLL

**COLABORAN:**

Marta Listo Aparicio  
Marcos Alonso Santiago  
Alba Calderón Algaba  
Inmaculada Subirana Milian

**DEPÓSITO LEGAL:** SE-999-07

**Recomendada la impresión en Papel Reciclado**



**Copyright:** © 2007. Grupo Fondo Formación

Todos los derechos reservados.

Esta publicación tiene fines exclusivamente educativos.

Queda prohibida la venta de este material a terceros, así como la reproducción total o parcial de sus contenidos sin autorización expresa de los autores y del Copyright.

El uso del lenguaje que no discrimine ni marque diferencias entre mujeres y hombres forma parte del ideario del Grupo Fondo Formación. Por ello, en la redacción de este material didáctico se ha optado por el uso de términos genéricos, evitando el uso tradicional del lenguaje que emplea el masculino como genérico. En los casos en los que se emplea el masculino genérico clásico, se entenderá que hace referencia siempre a mujeres y hombres.

## Objetivos

- Conocer las partes y el funcionamiento de la célula fotovoltaica
- Entender el funcionamiento de un panel fotovoltaico, sus características y limitaciones
- Familiarizarse con las características y los procesos de carga y descarga de una batería de plomo-ácido
- Entender y conocer los regímenes de uso de una batería solar
- Tener criterio para poder seleccionar el modelo adecuado de batería

## Presentación

En esta unidad daremos a conocer todos los componentes necesarios para montar una instalación solar fotovoltaica, así como explicaremos el principio de funcionamiento de cada uno de ellos, dando también sus características, funciones y limitaciones.

- Contenidos
  - La célula fotovoltaica
  - El panel fotovoltaico
  - La batería de plomo-ácido
  - La batería solar

## 1. La célula fotovoltaica

La palabra fotovoltaico(a) está formada por la combinación de dos palabras de origen griego: **foto**, que significa luz, y **voltaico** que significa eléctrico. El nombre resume la acción de estas células: *transformar directamente la energía luminosa en energía eléctrica*.

### 1.1 Conductores aisladores y semiconductores

Para tener un conocimiento conceptual del fenómeno FV introduciremos el concepto de material semiconductor y juntura N-P.

Un material conductor, como el cobre o el aluminio, permite el fácil paso de una corriente eléctrica porque tiene un gran número de cargas libres dentro del mismo. Un material es un no conductor (aislador), como el vidrio o el plástico, porque no tiene cargas libres dentro de él.

El silicio es el material más usado en la fabricación de células solares. En su forma cristalina pura, es un semiconductor, con muy pocas cargas libres dentro de él. Su resistividad es muy elevada. Usando un proceso llamado de difusión se puede introducir pequeñas cantidades de otros elementos químicos, que permiten decrecer el valor inicial de la resistividad, creando, al mismo tiempo, zonas con diferentes tipos de carga. La célula FV utiliza dos tipos de materiales semiconductores, el tipo N y el tipo P.

#### Tipo n

Cuando la sustancia difusa cede fácilmente electrones, se crea una zona dentro del semiconductor que tiene un **exceso de cargas negativas** (electrones). Esto es lo que se conoce como semiconductor del tipo N (negativo).

#### Tipo p

Cuando la sustancia difusa atrapa electrones libres, los átomos que los pierden quedan cargados positivamente. En esta zona **predominan las cargas positivas**, obteniéndose un semiconductor del tipo P (positivo).

## Juntura n-p

El proceso de difusión es continuo, permitiendo la formación, en el mismo material, de dos zonas semiconductoras adyacentes, una del tipo N; la otra del tipo P. El espacio que separa ambas zonas es la juntura de transición.

### 1.2 Estado de equilibrio

La teoría muestra que las cargas mayoritarias en una zona se desplazan hacia la de baja densidad en la zona opuesta. El desplazamiento de las cargas negativas y positivas deja a la zona de la juntura totalmente libre de cargas. Las zonas adyacentes a la misma tienen concentraciones de carga minoritarias (cargas negativas en el lado P y cargas positivas en el lado N). La acumulación de estas cargas a ambos lados de la juntura crea una diferencia de voltaje que impide la continuación del desplazamiento inicial.

La **corriente de desplazamiento se anula**. Se dice entonces que la juntura N P ha alcanzado el estado de equilibrio, el que es ilustrado en la Fig. 1.

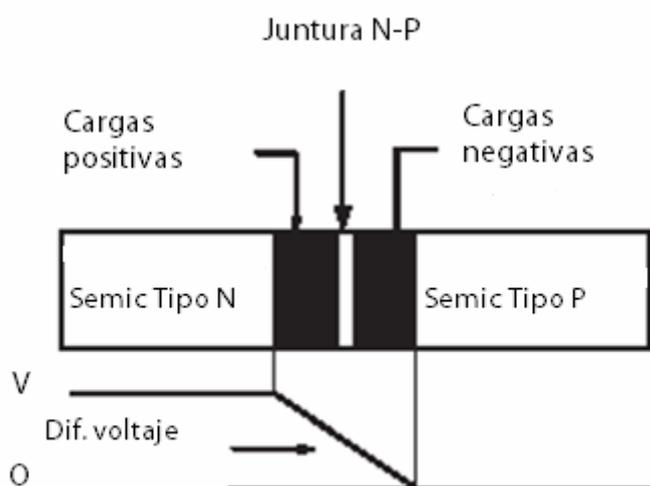


Fig. 1: Célula fotovoltaica con carga eléctrica.

### 1.3 El fenómeno fotovoltaico

Cuando la luz incide sobre un semiconductor de este tipo, el bombardeo de los fotones libera electrones de los átomos de silicio

creando dos cargas libres, una positiva y otra negativa. El equilibrio eléctrico de la juntura N-P se ve alterado por la presencia de estas nuevas cargas libres. Si al semiconductor se le conectan dos cables (uno por cada zona), se verifica la existencia de un voltaje entre los mismos.

Si los terminales de la célula FV son conectados a una carga eléctrica, circulará una corriente eléctrica en el circuito formado por la célula, los cables de conexión y la carga externa. La Figura 2 muestra este tipo de circuito. Sólo una parte del espectro luminoso puede llevar a cabo la acción descrita. El material utilizado para fabricar el semiconductor determina qué parte del espectro luminoso es la óptima para provocar este desequilibrio.

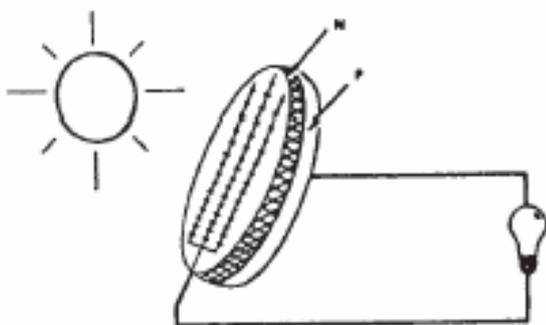


Fig. 2: Célula fotovoltaica con carga eléctrica

## 1.4 Voltaje y potencia de salida.

■ **El voltaje de una célula FV es de corriente continua (CC).** Por lo tanto, hay un lado que es positivo y otro negativo. Para células de silicio, este voltaje es alrededor de 0,5 V.

■ **Potencia de salida.** En un instante determinado, la potencia eléctrica proporcionada por la célula FV está dada por el producto de los valores instantáneos del voltaje y la corriente de salida. Este valor es afectado por el comportamiento intrínseco de un material semiconductor, como veremos en el capítulo próximo, por el nivel de irradiación luminosa, y el método de fabricación de la célula.

La intensidad luminosa depende, como vimos al tratar la insolación, de los factores meteorológicos, locación, inclinación de la célula respecto a la horizontal, y las variaciones estacionales en el lugar de utilización.

## 1.5 Materiales

Las células FVs que se ofrecen en el mercado actual utilizan dos tipos de materiales semiconductores. Uno tiene una estructura cristalina uniforme, el otro una estructura policristalina. El tipo cristalino requiere un elaborado proceso de manufactura, que consume enormes cantidades de energía eléctrica, incrementando substancialmente el costo del material semiconductor.

La versión policristalina se obtiene fundiendo el material semiconductor, el que es vertido en moldes rectangulares. Su estructura cristalina **no es uniforme**, de ahí el nombre de poli (muchos) y cristalino (cristales). Los dos tipos pueden ser identificados a simple vista, ya que la estructura cristalina provee de una superficie con brillo uniforme, mientras que la policristalina muestra zonas de brillo diferente.

### Material antirreflectante

De no ser tratada, la superficie del material semiconductor que está expuesta a la luz incidente tiende a reflejar una porción de la misma, disminuyendo la cantidad de energía luminosa que puede llegar al par semiconductor. Para evitar esta pérdida, el fabricante deposita una finísima capa de material antirreflectante.

### Material amorfo

Algunos paneles FVs no tienen células independientes conectadas entre sí, sino una estructura semiconductor que ha sido depositada, en forma continua, sobre una base metálica laminar. Este proceso permite la fabricación de un panel FV flexible, que puede adaptarse a superficies que no son completamente planas. La superficie activa de estos paneles no tiene una estructura cristalina, y por ello se la denomina amorfa (a = sin; morfos = forma).

La ausencia de una estructura cristalina aumenta la posibilidad de que una carga libre sea atrapada, lo que se traduce en una menor eficiencia de conversión. Recientemente la compañía United Solar Systems ha introducido un panel de este tipo bajo el nombre Uni-Solar.

Para compensar el bajo rendimiento de conversión, este panel apila tres capas de material amorfo. Cada una de ellas responde a un distinto rango de frecuencias dentro del espectro visible de la luz solar. El más profundo responde al rojo, el del medio al verde, y el de arriba al azul.

Como la eficiencia total sigue siendo más baja que la de un panel con células cristalinas o policristalinas, la superficie activa requerida para obtener una determinada potencia de salida es siempre mayor. Estos paneles adquieren rigidez mecánica mediante el uso de una estructura "sandwich" de protección.

## 1.6 Eficiencia de conversión

La eficiencia de conversión\* es la relación entre la energía eléctrica generada y la energía luminosa utilizada para obtenerla. Esta relación es dada en forma porcentual, como se muestra a continuación:

$$\eta \% = \frac{\text{Energía Generada}}{\text{Energía Incidente}} \times 100$$

El símbolo  $\eta$  es la letra griega nu, que es usualmente utilizada para expresar eficiencias. En la actualidad, células FVs producidas en escala industrial tienen una eficiencia de conversión que oscila entre un 9 y un 12 %. El valor teórico máximo para la eficiencia de una célula FV *que responde solamente a un rango reducido del espectro luminoso*, es de alrededor del 25 al 28%, dependiendo del material semiconductor.

### ejemplo

Para una energía incidente de 5000 J, si la eficiencia máxima de una célula es del 28% , la energía generada será de:

$$E_{\text{generada}} = 5000 \text{ J} \times 0,28 = \mathbf{1400 \text{ J}}$$

Las células FVs que utilizan semiconductores cristalinos tienen una eficiencia mayor a las que utilizan el semiconductor policristalino, debido a que las imperfecciones en la estructura de este último disminuyen el número de pares de carga que quedan libres para conducir la corriente. Las células FVs usadas en los satélites espaciales utilizan, exclusivamente, semiconductores cristalinos, ya que el costo no es un factor en consideración.

Cuando el uso espacial se convirtió en uso terrenal, los semiconductores policristalinos permitieron una reducción substancial del costo de las células FVs. Los procesos de fabricación que usan materiales semiconductores no cristalinos (policristalinos o amorfos) prometen ser la solución más económica en el futuro. La competencia entre

tecnologías genera nuevos métodos de fabricación a menores costos.

### ejemplo

Ahora vamos a calcular la eficiencia de conversión si tenemos 60 J de energía generada y 200 J de energía incidente:

Aplicamos la siguiente:

$$\eta \% = \frac{\text{Energía Generada}}{\text{Energía Incidente}} \cdot 100 = 30\% = \eta$$

## 1.7 Superficie

### Superficie activa

Esta es la parte del área total de la célula FV que interviene en el proceso de conversión. En la actualidad, es común que la conexión a uno de los materiales semiconductores sea hecha usando diminutos trazos metálicos en la parte frontal (área expuesta al sol).

Este proceso tiene como consecuencia una disminución del área activa de la célula. Algunas realizaciones experimentales tienen la conexión a las zonas N y P del semiconductor en la parte posterior de la célula. Este proceso de fabricación incrementa el área activa de la célula, sin aumentar la superficie de la misma.

### Forma geométrica

El método de fabricación determina, asimismo, la forma geométrica de la célula FV. Las primeras versiones eran circulares. Versiones más recientes tienen forma cuadrada, ya sea con vértices redondeados o a 90°. En el capítulo siguiente se explica porqué esta configuración geométrica es más conveniente.

## 2. El panel fotovoltaico

### 2.1 Definición

A partir de este apartado, cuando se haga referencia a una celda FV asumiremos que ésta usa el selenio como material semiconductor. Este es el supuesto más práctico, dado que el selenio es el material de mayor uso en el mercado actual. El máximo voltaje de salida de estas celdas es alrededor de 0,5V.

La superficie activa de las celdas está diseñada para sostener una corriente de alrededor de 3,5A. Como el mínimo voltaje usado en los sistemas FVs es de 12V nominales, para alcanzar este valor se deben conectar varias celdas en serie. **La estructura mecánica que contiene estas celdas se denomina panel fotovoltaico.**

### 2.2 Forma, ensamblado y contactos eléctricos

#### Forma geométrica

Cuando la forma geométrica de las celdas es un cuadrado, la superficie del panel será la mínima para un número dado de celdas, ya que el espacio entre ellas es prácticamente nulo. Esto permite la realización de un panel de menor tamaño, lo que abarata algo el costo del mismo y el de su transporte.

Un panel de menor tamaño minimiza la superficie requerida para satisfacer la carga del sistema, reduciendo la superficie expuesta al viento. Los paneles modernos tienen celdas cuadradas (o con esquinas redondeadas), los más antiguos tienen celdas circulares.

#### Ensamblado mecánico

Los detalles del ensamblado mecánico de un panel varían con cada fabricante. A pesar de ello existen puntos comunes para todas las realizaciones. Para proteger las celdas, éstas son firmemente adheridas a una superficie de sostén que, a su al mismo tiempo, pasa a formar una estructura "sándwich", con dos capas plásticas de protección, una en la parte superior (translúcida y con protección a los rayos ultra-violetas) y otra en la parte inferior.

El frente del panel (zona expuesta a la luz solar), tiene un vidrio templado (resistente al impacto) que protege a las celdas de los agentes meteorológicos (lluvia, granizo, nieve, polvo) y los golpes.

El vidrio usado tiene un bajo contenido de plomo, para no reducir la transmisión de la luz a través del mismo. La parte posterior tiene una capa dieléctrica (aisladora) y una cubierta de protección. Un marco de aluminio sirve para dar rigidez mecánica al conjunto, facilitando a su vez el montaje del panel al soporte.

El marco exterior es de aluminio para evitar su deterioro por oxidación. Varios agujeros, ubicados en distintas partes de su perímetro, hacen innecesario el uso de máquinas de perforar, evitando el riesgo de dañar, accidentalmente, el panel FV.

## Contactos eléctricos

En la parte trasera del panel se encuentran los contactos eléctricos. Las versiones más modernas tienen una caja de plástico, con tapa removible y agujeros laterales para la entrada y salida de los cables de conexión. Tanto la tapa como los agujeros laterales están diseñados para brindar protección ambiental y permitir un mejor anclaje mecánico para los cables de conexión. Dentro de la caja se hallan dos bornes de salida. El terminal positivo tiene el símbolo (+), o una marca de color rojo; el negativo tiene el símbolo (-), o una marca de color negro.

## 2.3 Voltaje y potencia de salida

### Voltaje de salida

El número de celdas en un panel, y por lo tanto su voltaje de salida, depende de la estructura cristalina del semiconductor usado. El fabricante, teniendo en cuenta este factor, así como el comportamiento anticipado para el caso más desfavorable, decide en el número mínimo que garantiza la carga efectiva del banco de baterías.

### Potencia de salida

La potencia máxima de salida de un panel FV es, sin duda alguna, la característica más importante del mismo. Salvo en casos de muy bajo consumo, la implementación de un sistema FV requiere el uso de paneles con potencias de salidas de 30 o más vatios. Paneles con potencias por debajo de 30 W no ofrecen una solución práctica, ya

que la diferencia en costo no es suficiente para justificar el mayor número de paneles requeridos. Numerosas compañías ofrecen paneles con una potencia de salida en exceso de 40 W, y recientemente, han aparecido paneles de 100 W.

## Curvas tensión-intensidad

Si los valores de potencia luminosa y la orientación del panel permanecen constantes, la corriente de salida de un panel F.V. **varía con el valor del voltaje en la carga y su temperatura de trabajo.** Esto se debe a las características intrínsecas de los materiales semiconductores. La Figura 3 muestra, en forma gráfica, la relación entre la corriente y el voltaje de salida para un panel FV (curva I-V), para cuatro temperaturas de trabajo, cuando el nivel de radiación permanece constante.

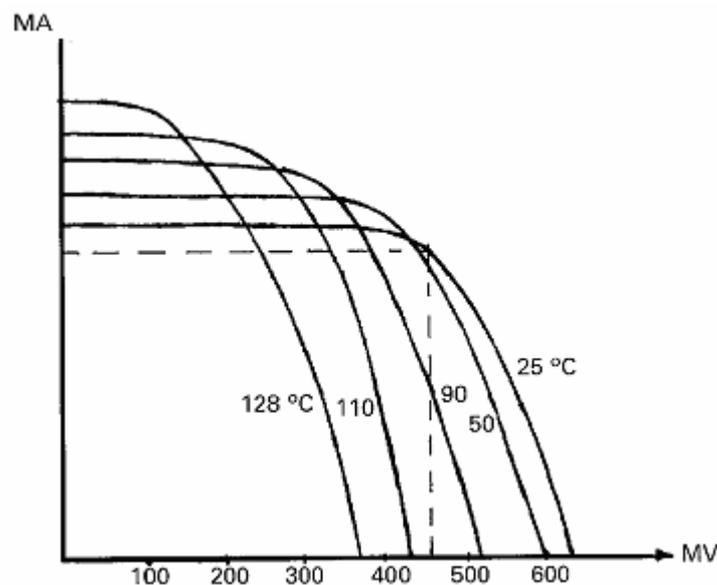


Fig. 3: Curvas características de variación con la temperatura, tensión e intensidad. Familia de características de tensión-intensidad de una célula solar en función de la temperatura.

## Zona de transición

Si bien se ha seleccionado un panel en particular para esta ilustración, los restantes tienen un comportamiento similar, ya que utilizan celdas de silicio. Puede observarse que el valor máximo para el voltaje de salida corresponde a un valor de corriente nulo (voltaje a circuito abierto), mientras que el valor máximo para la corriente corresponde a un voltaje de salida nulo (salida cortocircuitada).

Todas las curvas tienen una zona donde el valor de la corriente permanece prácticamente constante para valores crecientes del voltaje de salida, hasta que alcanzan una zona de transición. A partir de esta zona, pequeños aumentos en el voltaje de salida ocasionan bruscas disminuciones en el valor de la corriente de salida. El comienzo de la zona de transición se alcanza para menores valores del voltaje de salida cuando la temperatura de trabajo se incrementa.

### Máxima potencia de salida

Para cada condición de trabajo se puede calcular la potencia de salida del panel multiplicando los valores correspondientes al voltaje y la corriente para ese punto de la curva I-V. En particular, la potencia de salida es **nula** para dos puntos de trabajo: circuito abierto y cortocircuito, ya que la corriente o el voltaje de salida es nulo. Por lo tanto, si la salida de un panel es cortocircuitada, éste no sufre daño alguno. Entre estos dos valores nulos, la potencia de salida alcanza un valor máximo que varía con la temperatura.

El valor máximo que corresponde a una temperatura de trabajo de 25°C se denomina “**valor óptimo**” o “**valor pico**” (Wp) del panel. Para determinarlo, se usan los valores estandarizados: potencia luminosa de 1 Sol; espectro luminoso correspondiente a M1,5. Los valores de voltaje y corriente asociados con este máximo (Vp e Ip) son los dados en las hojas de especificaciones para cada panel.

La Figura 3 muestra, en línea de puntos, la ubicación de los valores de potencia máxima en función de la temperatura de trabajo. Estos están ubicados al comienzo de la zona de transición de la curva para la temperatura en consideración. El valor de la potencia de salida a 0°C es el mayor de todos ellos.

## 2.4 Temperatura de trabajo

### Efecto de la temperatura de trabajo

Tanto la corriente de cortocircuito como el voltaje a circuito abierto, se ven afectados por la temperatura de trabajo, pero el tipo de variación, así como su magnitud porcentual, son distintos para estos dos parámetros. Si tomamos como referencia los valores a 25°C, la corriente de cortocircuito **aumenta moderadamente** (+ 1,6% a 50°C; + 3,3% a 75°C), mientras que el voltaje a circuito abierto **disminuye sensiblemente** (- 9,5% a 50°C; - 16,7% a 75°C). Es por ello que los fabricantes tratan de ofrecer un voltaje de circuito abierto

elevado a 25°C, de manera que el incremento en la temperatura de trabajo no impida el proceso de carga de las baterías. Cuando la temperatura de trabajo es menor de 25°C, el voltaje de circuito abierto crece, y la corriente de cortocircuito disminuye.

## Temperatura de trabajo

El primer paso en el cálculo de la potencia de salida de un panel FV trabajando a una temperatura mayor que los 25°C, es determinar los valores de radiación solar y ambiental para la zona en que éste será usado. Asumiremos, como ejemplo, las siguientes condiciones: radiación solar: 80 mW/cm<sup>2</sup>; máxima temperatura de verano: 30°C; baja velocidad promedio del viento durante esa estación:  $k = 0,3$ . Reemplazando estos valores en la expresión (1) tendremos:

$$T_t = 30 + (0,3 \times 80) = 30 + 24 = 54^\circ\text{C}$$

Una vez conocido este valor, se determina el incremento en la temperatura de trabajo respecto a la de prueba (25°C). En nuestro ejemplo este valor es de 29°C. La expresión (2) da el valor de la potencia de salida de un panel trabajando a una temperatura  $T_t$ .

$$P_t = P_p - (P_p \times d \times DT) \quad (2)$$

Donde  $P_t$  es la potencia de salida a la temperatura de trabajo ( $T_t$ );  $P_p$  es la potencia pico del panel (a 25°C);  $d$  es el coeficiente de degradación (0,6%/°C) y  $DT$  es el incremento de temperatura por sobre los 25°C.

Asumiendo que  $P_p = 60\text{W}$ , reemplazando los valores dados para cada una de las variables se tiene:

$$P_t = 60 - (60 \times 0,006 \times 29) = 60 - 10,44 = 49,56 \text{ W}$$

Con un error de +0,08% podemos redondear este valor a 49,6W. Para temperaturas de trabajo más elevadas, como es común en las zonas desérticas, donde la radiación es elevada y los vientos son inexistentes durante el verano, la temperatura de trabajo del panel se elevará, incrementándose la pérdida de la potencia de salida.

 **ejemplo**

Vamos a calcular la potencia de salida del panel, cuando tenemos una potencia de pico de (50), un coeficiente de degradación de 0,6%/° C y un incremento de temperatura de 28.

Aplicamos la formula:

$$P_t = P_p - (P_p \times d \times DT) \quad (2)$$

$$P_t = 50 - (50 \times 0,006 \times 28) = 41,6 \text{ W}$$

## 2.5 Degradación

### Factor de degradación

Para la mayoría de los paneles FVs, cuando la temperatura de trabajo **aumenta**, el valor de la potencia de salida **disminuye**. En la práctica, debido a la disipación de calor dentro de las celdas del panel, salvo en climas muy fríos, la temperatura de trabajo excede los 25°C. Cuando esto ocurre, la potencia de salida nunca alcanza el valor pico especificado por el fabricante. El diseño de un sistema FV debe tener en cuenta esta degradación del panel, a fin de asegurar que los requerimientos eléctricos del sistema pueden ser satisfechos durante los días más calurosos del verano.

Para el período invernal, si el mínimo para la temperatura promedio es menor a los 25°C, no se considera ninguna degradación para la potencia de salida pico. La degradación puede ser calculada usando los valores dados por las curvas I-V a alta temperatura, pero este proceso es tedioso e impreciso, dada la pobre resolución de las curvas publicadas por los fabricantes. Por ello es mucho más conveniente usar factores de degradación dados en forma porcentual con relación a la potencia pico.

## 2.6 Evaluación de la potencia de salida.

### Evaluación de la potencia de salida

El personal técnico de la revista "HOME POWER" ha llevado a cabo una serie de evaluaciones, usando paneles con celdas de diferentes tipos, a temperaturas de trabajo no inferiores a los 50°C. La última evaluación es la más interesante por dos motivos: fue llevada a cabo después de un largo tiempo de uso de los paneles puestos a prueba y la temperatura de trabajo es la de verano. Ellos evaluaron nueve paneles con tres tipos diferentes de celdas: cristalina, policristalina y amorfa.

### Resultados

Los resultados muestran que la mayoría de los paneles, independientemente del tipo de celda, ofrecen un coeficiente de degradación que oscila entre 0,7 y 0,86%. Sin embargo es interesante destacar que tres paneles no siguen esta regla.

El ARCO Trilaminar Modelo M52L, con celdas cristalinas, exhibe un coeficiente de degradación de 0,05%, el Siemens M52L, también con celdas cristalinas, de 0,32%, y el Unisolar UPM880, del tipo amorfo, tiene un coeficiente de degradación negativo (más salida de poder que la nominal) de -0,066%. La temperatura de trabajo de todos los paneles osciló entre los 50 y 55°C. La mayoría de los paneles tenían 5 años de uso, y ninguno menos que un año. La potencia nominal ( $V_p \times I_p$ ) oscila entre los 22 y 105W.

Para nuestros cálculos, asumiremos un coeficiente de degradación para la potencia de salida del 0,6%/°C sobre los 25°C. Si se desconoce el coeficiente de degradación del panel que se ha elegido se debe tratar de obtener esa información del fabricante o usar el coeficiente dado anteriormente para calcular el sistema. La temperatura de trabajo que alcanza un panel FV obedece a una relación lineal dada por la expresión:

$$T_t = T_a + k R \quad (1)$$

donde  $T_t$  es la temperatura de trabajo del panel,  $T_a$  es la máxima temperatura ambiente,  $R$  es el valor de la radiación solar en  $mW/cm^2$ , y  $k$  es un coeficiente que varía entre 0,2 y 0,4  $^{\circ}C \cdot cm^2/mW$ , dependiendo de la velocidad promedio del viento. Cuando ésta es muy baja, o inexistente, el enfriamiento del panel es pobre o nulo, y  $k$  toma valores cercanos o iguales al máximo (0,4). Si la velocidad

promedia del viento produce un enfriamiento efectivo del panel, el valor de  $k$  será el mínimo (0,2).

El valor de  $R$  varía entre 80 y 100mW/cm<sup>2</sup>. Para localizaciones con alto valor de insolación diaria se usa el valor máximo. Si existen nubes pasajeras que reducen el valor de irradiación, el valor de  $R$  se reduce a 80mW/cm<sup>2</sup>. El producto  $kR$  representa el incremento de temperatura que sufre el panel sobre la máxima temperatura ambiente.

## 2.7 Información y parámetros

### Presentación de los datos técnicos

Para familiarizarse con la lectura de las especificaciones técnicas de un panel FV, usaremos las proporcionadas por las compañías Solarex, Kyocera y Siemens, para sus modelos MSX-60, LA361K51 y M55, respectivamente. Los tres paneles han sido elegidos por tener valores similares para la potencia pico de salida. Los datos técnicos para un panel FV contienen los siguientes tópicos: información genérica, eléctrica y mecánica.

### Información genérica

El tipo de celda, los detalles sobre el ensamblado mecánico, la eficiencia de conversión y el tipo de garantía dada por el fabricante, forman parte de la información genérica.

### Parámetros eléctricos

Los valores de potencia, voltaje y corriente pico, así como los valores del voltaje a circuito abierto y corriente de cortocircuito del panel forman parte de la información eléctrica. Esta es completada con notas aclaratorias al pie de página, cuya función es especificar las condiciones usadas durante la evaluación de un determinado parámetro.

Muchos fabricantes incorporan información sobre las curvas I-V para diferentes temperaturas de trabajo, así como para distintos niveles de radiación. Si esta información no satisface, se puede escribir al fabricante o distribuidor del producto, el cual permitirá obtener más información, o con mayor detalle.

Los valores dados para la potencia pico de salida son, comúnmente, valores típicos. Esto significa que algunos paneles pueden tener un

valor más alto o más bajo que el especificado. Observar que la compañía Solarex garantiza un valor mínimo para la potencia pico de sus paneles, mientras que la compañía Siemens garantiza que el valor medido en fábrica no varía más de +/-10% del especificado como el óptimo.

Algunos fabricantes incluyen un coeficiente de degradación para la potencia de salida, mientras que otros no lo proporcionan.

### Parámetros mecánicos

La información mecánica proporciona las dimensiones físicas del panel, que incluyen las perforaciones de montaje. Algunos fabricantes complementan esta información con notas de precaución de manejo.

## 3. La batería de plomo-ácido

La importancia de este componente dentro del sistema FV hace necesario el conocimiento a fondo de las limitaciones intrínsecas del mismo. Sólo así podrá lograrse la correcta instalación y uso del sistema, prolongando su vida útil y grado de fiabilidad.

### 3.1 Características

#### Doble conversión de la energía.

Comenzaremos con una pregunta básica: ¿cuál es el mecanismo que permite la utilización de una batería como una fuente portátil de energía eléctrica? La respuesta es: **una doble conversión de energía, llevada a cabo mediante el uso de un proceso electroquímico**. La primera conversión, energía eléctrica en energía química, tiene lugar durante el proceso de carga. La segunda, energía química en eléctrica, ocurre cuando la batería es descargada. Para que estas conversiones puedan llevarse a cabo se necesitan dos electrodos metálicos inmersos en un medio que los vincule, llamado **electrolito**.

#### Polaridad

Este conjunto forma una celda de acumulación, cuyo voltaje, en una batería de plomo ácido, excede levemente los 2V, dependiendo de

su estado de carga. En el proceso electrolítico cada uno de los electrodos toma una polaridad diferente. La batería tiene entonces un terminal negativo y otro positivo, los que están claramente identificados en la caja de plástico con los símbolos correspondientes (- y +).

## Batería comercial

La batería comercial, para poder ofrecer un voltaje de salida práctico, posee varias de estas celdas conectadas en serie. La figura 4 muestra la estructura interna y externa de una batería de Pb-ácido para automotor, donde se observa el conexionado en serie de las celdas, las que están físicamente separadas por particiones dentro de la caja que las contiene.

Cada celda está compuesta de varias placas positivas y negativas, que tienen separadores intermedios. Todas las placas de igual polaridad, dentro de una celda, están conectadas en paralelo. El uso de varias placas de igual polaridad permite aumentar la superficie activa de una celda.

### 3.2 Proceso de carga

El voltaje proporcionado por una batería de acumulación es de CC. Para cargarla se necesita un generador de CC, que deberá ser conectado con la polaridad correcta: positivo del generador al positivo de batería y negativo del generador al negativo de batería. Para poder forzar una corriente de carga, el voltaje deberá ser algo superior al de la batería.

La corriente de carga provoca reacciones químicas en los electrodos, que continúan mientras el generador sea capaz de mantener esa corriente, o el electrolito sea incapaz de mantener esas reacciones. **El proceso es reversible.** Si desconectamos el generador y conectamos una carga eléctrica a la batería, circulará una corriente a través de ésta, en dirección opuesta a la de carga, provocando reacciones químicas en los electrodos que vuelven el sistema a su condición inicial.

### Ciclo de carga-descarga

En principio el "ciclo" de carga-descarga puede ser repetido indefinidamente. En la práctica existen limitaciones para el máximo número de ellos, ya que los electrodos pierden parte del material con

cada descarga. La diferencia funcional entre diferentes tipos de baterías obedece al uso de diferentes electrolitos y electrodos metálicos. Debemos tener en cuenta que dentro de un mismo tipo de batería, la diferencia funcional es el resultado del método de fabricación.

## Pérdidas de conversión

Cuando un tipo de energía es convertido en otro la eficiencia del proceso nunca alcanza el 100%, ya que siempre existen pérdidas (calor). La doble conversión energética que tiene lugar dentro de una batería obedece a esta ley física. Habrá, por lo tanto, pérdidas de energía durante **el proceso de carga y el de descarga**.

## Batería Pb Ácido

El tipo de acumulador más usado en el presente, dado su bajo costo, es la batería de plomo y ácido sulfúrico con electrolito líquido. En ella, los dos electrodos están hechos de plomo y el electrolito es una solución de agua destilada y ácido sulfúrico. Abreviaremos su nombre, llamándola batería **Pb-ácido**, usando el símbolo químico para el plomo (Pb).

Cuando la batería está cargada, el electrodo positivo tiene un depósito de dióxido de plomo y el negativo es plomo. Al descargarse, la reacción química que tiene lugar hace que, tanto la placa positiva como la negativa, tengan un depósito de sulfato de plomo. La Figuras 4 ilustra estos dos estados.

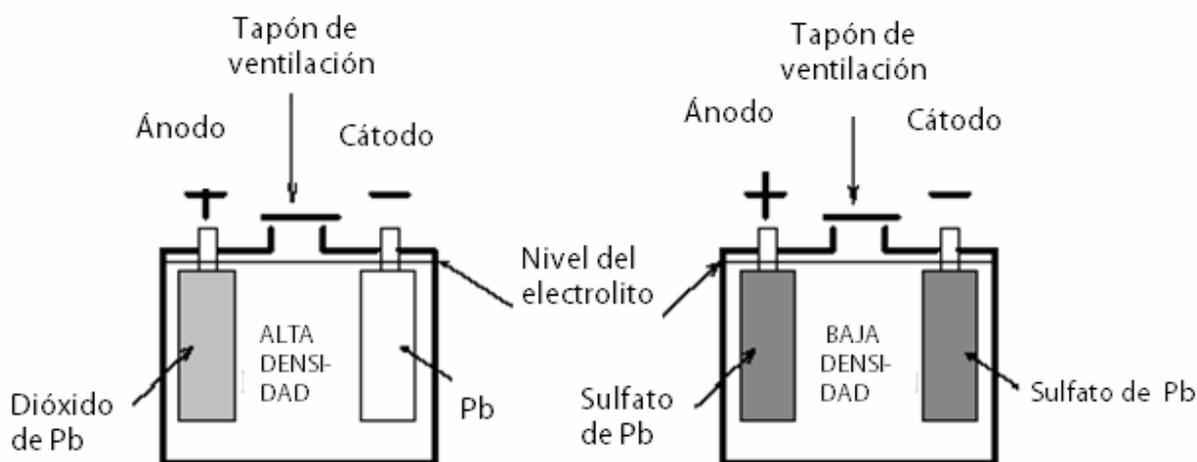


Fig. 4: Batería cargada y descargada respectivamente

Como el proceso químico libera gases (hidrógeno y oxígeno) se necesita que el conjunto tenga ventilación al exterior. El diseño de las tapas de ventilación permite la evacuación de estos gases, restringiendo al máximo la posibilidad de un derrame del electrolito.

## Densidad del electrolítico

En una batería de Pb-ácido el electrolito interviene en forma activa en el proceso electroquímico, variando la proporción de ácido en 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, como veremos en detalle al hablar del mantenimiento de los sistemas FVs.

## Potencia, amperaje y profundidad

Tres características definen una batería de acumulación: la cantidad de energía que puede almacenar, la máxima corriente que puede entregar (descarga) y la profundidad de descarga que puede sostener. La cantidad de energía que puede ser acumulada por una batería está dada por el número de watt-horas (Wh) de la misma. La capacidad (C) de una batería de sostener un régimen de descarga está dada por el número de amperios-horas (Ah).

Para una determinada batería, el número de Wh puede calcularse multiplicando el valor del voltaje nominal por el número de Ah, es decir:

$$\text{Wh} = \text{Voltaje nominal} \times \text{Ah}$$

El número de Ah de una batería es un valor que se deriva de un régimen de descarga especificado por el fabricante. Para un tipo especial de baterías, llamadas solares, el procedimiento de prueba ha sido estandarizado por la industria. Una batería, inicialmente cargada al 100%, es descargada, a corriente constante, hasta que la energía en la misma se reduce al 20% de su valor inicial.

El valor de esa corriente de descarga, multiplicado por la duración de la prueba (20 horas es un valor típico), es el valor en Ah de esa batería. Un ejemplo práctico servirá para reforzar este concepto. Si una batería solar tiene una capacidad (C) de 200 Ah para un tiempo

de descarga de 20 horas, el valor de la corriente durante la prueba es de 10A.

Existe la tentación de extender este concepto para corrientes de descarga **en exceso** del máximo determinado por el método de prueba (10A en nuestro ejemplo). La batería de nuestro ejemplo no puede entregar 200A durante una hora. El proceso electroquímico no puede ser acelerado sin que la batería incremente su resistencia interna en forma substancial. Este incremento disminuye el voltaje de salida, autolimitando la capacidad de sostener corrientes elevadas en la carga.

Si la corriente de descarga es menor que la especificada, digamos 5A, la relación Ah es válida. La batería de 200Ah de nuestro ejemplo puede sostener este valor de corriente por 40 horas.

### ejemplo

Para una batería de 200 amperios-hora (Ah), que acumula una energía de 100W-h, el voltaje nominal ( $V_N$ ) será de:

$$Wh = V_N \cdot Ah \Rightarrow V_N = Wh/Ah = 100W-h/200Ah = 0,5 V$$

## Corriente como valor fraccional

Los fabricantes de baterías expresan el valor de la corriente de carga (o descarga) como un valor fraccional de su capacidad en Ah. En nuestro ejemplo,  $C/20$  representa 10A y  $C/40$  representa un valor de 5A. Esta forma de dar el valor de la corriente de descarga (o carga) parece arbitraria, pero no lo es si recordamos que la capacidad en Ah de una batería, por definición, requiere un número específico de horas de descarga.

Si la batería solar de nuestro ejemplo tiene un voltaje nominal de 6V, la cantidad de energía que puede ser acumulada es de:

$$6V \times 200 Ah = 1.200 Wh (1,2 KWh)$$

## Profundidad de descarga

La profundidad de descarga (PD) representa la cantidad de energía que puede extraerse de una batería. Este valor está dado en forma

porcentual. Si la batería del ejemplo entrega 600 Wh, la PD es del 50%. Cuando se efectúa la prueba para determinar la capacidad en Ah de una batería solar la PD alcanza el 80%.

## 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. Las curvas de la figura 6 muestran estas variaciones de voltaje, tanto para el proceso de carga como para el de descarga.

Los valores están dados usando diferentes valores de corriente, para dos temperaturas de trabajo: 25°C y 1°C, respectivamente. Las curvas a 25°C reflejan el comportamiento de una batería trabajando en un ambiente con temperatura benigna. Las curvas a 1°C reflejan el comportamiento de la misma batería cuando la temperatura del electrolito es cercana al punto de congelación del agua.

Los valores dados por las curvas corresponden a una batería de 12V nominales. Si la batería es de 6V, estos valores deberán ser divididos por dos. Si el banco de baterías tiene un valor que es un múltiplo de 12V, los valores leídos deberán multiplicarse por el valor del múltiplo. 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**.

## Curvas de descarga

Las curvas de descarga muestran que a baja temperatura la caída de voltaje es mucho más severa que la que se observa, para la misma corriente, a 25°C. La baja temperatura retarda la reacción química, lo que se traduce en un brusco aumento de la resistencia interna de la batería, lo que provoca una mayor caída del voltaje. Estas curvas confirman la experiencia que el lector tiene con baterías para automotor durante el invierno. Se observa, asimismo, que si se mantiene constante la temperatura del electrolito, la caída de voltaje es siempre mayor (aumento de la resistencia interna) cuando la corriente de descarga aumenta. Este es el mecanismo autolimitante al que nos referimos con anterioridad.

 **ejemplo**

Vamos a calcular cuántos Wh tiene una batería con una tensión nominal de 24 V y 5Ah.

$$\text{Wh} = 24 \text{ V} \times 5 \text{ Ah} = 120 \text{ Wh}$$

### 3.3 Evaluación del estado de carga y congelación

#### Evaluación del estado de carga

El valor del voltaje a circuito abierto para una batería no representa una buena indicación del estado de carga o la vida útil de la misma. Para que esta medición tenga alguna significación, la lectura debe ser precedida por la carga de la misma, seguida de un período de inactividad de varias horas. El voltímetro a usarse deberá ser capaz de leer dos decimales con precisión.

La medición de la densidad del electrolito constituye una evaluación **más fiable**, pues se mide un grupo de celdas por separado. Diferencias substanciales en el valor de la densidad entre un grupo de celdas y los restantes da una indicación clara del envejecimiento de la misma. Un voltaje que es importante es el de "final de descarga" para la batería. Este valor está dado por el fabricante, pero es siempre cercano a los 10,5V, para una batería de Pb-ácido de 12V nominales, trabajando a una temperatura cercana a los 25°C.

#### Congelación del electrolítico

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, como indicamos anteriormente. Al bajar la temperatura del electrolito existe la posibilidad de que el agua se congele. Si esto ocurre, su volumen aumenta. La fuerza de esta expansión distorsiona los electrodos, 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. Una batería solar del

tipo Pb-ácido, totalmente descargada, se congela alrededor de los  $-10^{\circ}\text{C}$ . Si está totalmente cargada, el punto de congelación se alcanza alrededor de los  $-58^{\circ}\text{C}$ .

<b>Congelación de una batería ácido-plomo</b>	
<b>Estado de carga del electrolítico (%)</b>	<b>Temperatura de congelación (<math>^{\circ}\text{C}</math>)</b>
100%	-58,0
75%	-34,4
50%	-20,0
25%	-15,0

T

Tabla 1. Relación entre la carga y la temperatura de congelación de una batería ácido-plomo

### Temperatura elevada

Si las bajas temperaturas causan tantos problemas, se podría concluir que las temperaturas ambientales elevadas son las ideales. Pero esta 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 tabla dada a continuación.

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

Tabla 2. Relación entre la temperatura y la reducción de vida útil de una batería ácido-plomo

## Clasificación

Cuando una batería de plomo-ácido está próxima a alcanzar el 100% de su carga, la cantidad de agua en el electrolito ha sido severamente reducida. Los iones que ésta provee se hacen más escasos, disminuyendo la posibilidad para el ión de hidrógeno (electrodo negativo) y para el ión de oxígeno (electrodo positivo) de reaccionar químicamente, formando plomo y dióxido de plomo, respectivamente. Si la corriente de carga continua al mismo nivel, el exceso de gases escapa del electrolito produciendo un intenso burbujeo, el que se conoce como "gasificación".

Si el proceso de carga no es controlado, el exceso de oxígeno comienza a oxidar los sostenes de plomo de las celdas, pudiendo causar el derrumbe de los mismos. Este fenómeno es conocido como la "muerte súbita" de la batería, ya que ocurre sin dar aviso previo. Una gasificación excesiva arrastra parte del electrolito, el que es expulsado fuera de la batería, a través de los tapones de respiración. Este material contiene ácido sulfúrico, dañando los terminales de salida y disminuyendo la cantidad de ácido dentro de la batería.

El proceso de carga de una batería de Pb-ácido debe minimizar la gasificación del electrolito. Algo de gasificación es útil, pues contribuye a homogeneizar la solución electrolítica. Para una batería solar de Pb-ácido de 12V nominales, trabajando alrededor de los 25°C, un voltaje de carga de 14,28V proporciona un nivel tolerable de gasificación. Un voltaje más elevado provoca un nivel de gasificación excesivo.

## Sulfatación

Hemos visto que la descarga de las baterías de plomo ácido trae aparejado 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. Si por el contrario, la batería ha sido descargada repetidas veces por debajo del mínimo especificado, es pobremente cargada, o permanece descargada por largo tiempo, el tamaño de los cristales crece, y sólo una parte de ellos interviene en el proceso de carga. Esto se traduce en una disminución de la superficie activa del electrodo, disminuyendo la capacidad de almacenaje.

Este fenómeno se lo conoce con el nombre de **sulfatación** de la batería. En lugares donde los períodos nublados son de larga duración las baterías pueden permanecer en estado de baja carga, por largo tiempo, induciendo la sulfatación de las placas. Una carga a régimen de corriente elevado puede disolver esta formación cristalina (proceso de eculización).

## 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 la descarga depende de la temperatura ambiente y del tipo de batería. Al analizar los distintos tipos de baterías, se dan valores específicos de autodescarga para los modelos descritos.

### 3.4 Normas de seguridad

El proceso de carga en una batería de Pb-ácido genera dos tipos de gases: oxígeno e hidrógeno. Ambos son sumamente activos, de manera que las baterías deben estar en un lugar que tenga ventilación al exterior. En particular, una llama o chispa puede iniciar una reacción química entre el oxígeno y el hidrógeno, la que se lleva a cabo con una fuerte explosión. Por ello es importante no fumar o producir chispas eléctricas en el área donde se alojan las baterías.

El electrolito de estas baterías es altamente corrosivo, atacando metales y sustancias orgánicas. Al manejar baterías de Pb-ácido se recomienda el uso de guantes, botas y ropa protectora de goma. Si accidentalmente llegaras a entrar en contacto con el electrolito, deberías lavarte las manos con abundante agua, para evitar el ataque a la piel. Es **muy importante** tener a mano bicarbonato de soda. Es-

ta sustancia neutraliza al ácido sulfúrico y dado su bajo costo, puede usarse para neutralizar ácido derramado en el piso o en herramientas.

## Envejecimiento

Con el tiempo, todas las baterías pierden la capacidad de acumular carga, ya que con cada descarga se pierde algo del material activo. Sin embargo, la vida útil de las mismas puede ser prolongada si se las mantiene cargadas, no se sobrecargan ni descargan en exceso, permanecen en un lugar que no sufre temperaturas extremas, no son sometidas a cortocircuitos, y se reemplaza el agua destilada que pierden.

Nunca se debe agregar ácido al electrolito o productos "restauradores" milagrosos. Durante la carga, iones de hidrógeno y oxígeno intervienen en el proceso químico, disminuyendo la cantidad de agua. Cuando la temperatura ambiente es elevada, esta pérdida se acentúa.

Para restaurar el nivel del electrolito, se debe agregar sólo agua destilada, el nivel recomendado por el fabricante. No se debe sobrepasar ese nivel, ya que el electrolito y los gases generados necesitan espacio para expandirse.

## 4. La batería solar

El acumulador de Pb-ácido tiene numerosas aplicaciones. Nuestro interés se reducirá a dos de ellas: las baterías para automotores y las baterías para sistemas FVs (baterías solares). Como la diferencia en el costo de estas dos versiones es apreciable, existe siempre la tentación de usar la batería más económica (automotor) en un sistema FV. Para apreciar porqué una batería solar representa la solución más adecuada, puntualizaremos las diferencias entre las dos.

### 4.1 Regímenes de uso

El modelo de batería usado en los automotores está diseñado para sostener corrientes elevadas (200 a 350 A) por muy breves instantes (segundos) durante el arranque del motor. El resto del tiempo la batería está siendo cargada o permanece inactiva.

La batería de un sistema solar, por el contrario, debe ser capaz de sostener corrientes moderadas (una decena de amperes), durante

horas. Además, en muchas aplicaciones, deberá permanecer activa sin recibir carga alguna (servicio nocturno). Normalmente, los períodos de reposo son nulos, ya que está siendo cargada o descargada. Diferentes requerimientos de uso sólo pueden satisfacerse con diseños distintos.

### Batería para automotor

Las placas de una batería de Pb-ácido para automotor están hechas con plomo esponjoso. Esta técnica de fabricación hace posible el obtener un máximo de superficie activa con un mínimo de peso. La reducción en la cantidad de plomo contribuye, en forma substancial, a abaratar su costo. El incremento de la superficie activa disminuye la densidad de corriente (A/cm<sup>2</sup>), permitiendo alcanzar niveles muy altos para la corriente de carga, por breves instantes.

Las baterías de automotor llamadas de "mantenimiento nulo" tienen electrodos con aleación de calcio lo que contribuye a minimizar la gasificación durante la carga. Esto hace que se reduzca la pérdida de agua en el electrolito. El agregado de esta aleación disminuye, asimismo, las pérdidas por autodescarga, permitiendo la retención de la carga durante largos períodos de inactividad.

## 4.2 Electrodo

Los electrodos de una batería solar tienen una aleación de antimonio, la que permite adherir una mayor cantidad de material activo. Vimos en el capítulo anterior que el envejecimiento de una batería se produce por la pérdida de éste cuando la batería es descargada. Celdas con mayor cantidad de material activo tienen una más larga duración y profundidad de descarga.

El incremento del material activo aumenta el costo y el peso de la batería. Una batería solar de 6 V, con volumen muy similar a la de 12 V en un automotor, pesa más de 30 Kgs. La presencia del antimonio incrementa las pérdidas por autodescarga. Si una batería solar permanece en almacenamiento, debe ser cargada con frecuencia. Como la presencia del antimonio incrementa la gasificación, la corriente de carga en un sistema FV debe tener un régimen variable.

## 4.3 Profundidad de descarga y máximo número de ciclos

Dos características identifican a una batería solar: la mayor profundidad de descarga (PD) y un alto valor para el ciclaje. La batería de

automotor está diseñada para soportar una leve PD. Para ilustrar este aspecto, asumiremos que en invierno la corriente de arranque alcanza 350A y dura 3 segundos.

Durante el arranque la batería habrá entregado 0,29Ah (350 x 3/3.600). Como la capacidad típica de estas baterías es de 80Ah, los 0,29Ah representan una PD de sólo 0,36%. Tomaría tres arranques consecutivos para que la PD llegase al 1%. La batería solar permite una PD máxima del 80%, cientos de veces, a niveles de corriente moderados. Es por ello que a estas baterías se las denomina de ciclo profundo (BCP).

### Máximo número de ciclos

Se considera que una BCP ha completado todos los ciclos de carga y descarga cuando, al ser cargada nuevamente, la máxima energía que puede almacenar se reduce al 80% de su valor inicial. El número de ciclos de carga/descarga depende de la PD. Cuando ésta disminuye, el número de ciclos aumenta. Para una dada PD, la batería más robusta proporciona el mayor número de ciclos. La tabla muestra estas características para dos baterías solares de Pb-ácido con electrolito líquido. El número de Ah y el peso de cada modelo (en Kgs), forman parte de la tabla, para ilustrar las diferencias.

<b>Batería 1</b> <b>217Ah; 30Kg</b>		<b>Batería 2</b> <b>350Ah; 65Kg</b>	
<b>%PD</b>	<b>Nº de ciclos</b>	<b>%PD</b>	<b>Nº de ciclos</b>
80	543	80	693
50	757	50	1068
30	1100	30	2050
20	1800	20	3050

Tabla 3. Diferencias entre baterías

## Autodescarga

Hemos dicho que el agregado de antimonio incrementa la autodescarga de las baterías solares. Cuando la temperatura ambiente es de 50°C la batería se descargará totalmente en un mes (25%/semana). Cuando la temperatura ambiente es cercana a los 25°C la autodescarga se reduce a un 6%/semana (4 meses para una descarga total). Estas cifras muestran que si una batería de este tipo permanece en depósito por largo tiempo, deberá ser recargada con frecuencia. Las baterías de automotor con aleación de calcio (baterías de mantenimiento nulo) tardan un año en perder el 50% de su carga, a 25°C.

## 4.4 Eficiencia y energía almacenada

### Eficiencia

La doble conversión de energía que toma lugar en una batería resulta en una eficiencia total ( $\eta_b$ ) que está dada por la expresión:

$$\eta_b = \eta_c \times \eta_d$$

Donde  $\eta_c$  es el valor de la eficiencia de carga y  $\eta_d$  el de descarga. Ambos valores varían con la temperatura del electrolito y el estado de carga de la batería, ya que la resistencia interna de la misma genera estas pérdidas. Las pérdidas durante el proceso de carga fuerzan un incremento en la capacidad de generación del sistema, a fin de restablecer el balance energético del mismo. El valor de  $\eta_d$  está implícitamente considerado al determinarse el valor en Ah por el método de descarga continua.

### Energía almacenada

La capacidad de almacenamiento de una batería de Pb-ácido varía con la temperatura del electrolito, la que, en la práctica, está determinada por la temperatura ambiente del lugar donde ésta será instalada. La tabla muestra esta interdependencia.

Variación de la capacidad con la temperatura		
Temperatura (°C)	Capacidad (%)	Eficiencia
30	105	1,05
25	100	1,00
16	90	0,90
4	77	0,77
-7	63	0,63
-18	49	0,49

Tabla 4. Relación de la variación de la capacidad con la temperatura.

No debemos olvidar que el aumento en la eficiencia total obtenido a 30°C está relacionado con una **drástica reducción** de la vida útil de la batería, como se indicó en el punto anterior. Cuando se usan baterías de Pb-ácido es importante mantener la temperatura del electrolito cercana a los 25°C, ya que a esta temperatura se alcanza el balance óptimo entre la eficiencia y la vida útil de este componente.

## 4.5 Modelos y características

Las versiones con mayor aceptación son las de 6 y 12V nominales. Baterías de 6V, con una capacidad de unos 200Ah, son utilizadas en sistemas de mediana capacidad de reserva, donde pasan a formar parte de un banco de baterías con conexión serie o serie-paralelo, a fin de satisfacer los valores de voltaje y corriente del sistema. Esta versión ofrece el mejor compromiso entre peso (facilidad de manejo) y número de Ah de reserva. Como los sistemas FVs de bajo consumo son sistemas de 12V nominales, los requerimientos de reserva pueden ser satisfechos con la versión de 12V, la que tiene una capacidad de unos 100Ah.

Baterías de más de 250Ah resultan convenientes cuando se trabaja con sistemas de alto consumo. Se fabrican asimismo baterías de ciclo profundo con capacidad de reserva mucho más grandes. Un

modelo de 24 V, diseñado para ser usado en un sistema comunal (varias casas conectadas a un sistema FV) tiene una capacidad de 1.493Ah y pesa 1.200 Kgs.

### **Baterías solares gelatinosas (VRLA)**

Existe una batería solar de Pb-ácido donde el electrolito no es líquido sino gelatinoso (*Gel battery*, en inglés). Su costo es alrededor de tres veces mayor que el de la versión con electrolito líquido, pero tiene características técnicas que la hacen muy útiles en aplicaciones especializadas. La literatura técnica suele identificar a este tipo de baterías con la abreviatura VRLA, que corresponde a la abreviación de cuatro palabras inglesas cuyo significado es: "Pb-ácido regulada por válvula". Como esta batería no requiere ventilación al exterior durante el proceso de carga, la caja exterior es hermética.

La válvula constituye un dispositivo de seguridad en caso de cortocircuito o sobrecarga. Esta hermeticidad evita el derrame del electrolito, lo que disminuye el riesgo en su manejo, y la convierte en la solución ideal para instalaciones marinas (boyas o embarcaciones). Como no requieren mantenimiento (agregado de agua), se las usa en instalaciones donde la supervisión es infrecuente o nula, como es el caso en sistemas FVs de iluminación de carteles de propaganda en carreteras, repetidores de comunicaciones, o en sistema FVs portátiles ("listos para ser usados").

El tipo de electrolito usado en esta batería permite su uso a bajas temperaturas con mayor eficiencia que las de electrolito líquido. La autodescarga semanal es de 1,1%, a 25°C y aumenta a un 3% cuando la temperatura se eleva a 40°C. Pueden obtenerse en versiones de 6 y 12V, con capacidades entre 6 y 180Ah (20hrs). Uno de los fabricantes es EXIDE, quien las ofrece bajo el nombre comercial "Dry-fit". A continuación se dan las especificaciones para dos de estas baterías.

<b>Modelo</b>	<b>Bajo consumo</b>	<b>Consumo intermedio</b>
<b>Capacidad(Ah/20)</b>	110Ah	180Ah
<b>Voltaje (Ah/20)</b>	12V	6V
<b>Ciclaje (PD=30%)</b>	2000 ciclos	4000 ciclos
<b>Peso (Kgs)</b>	37	31
<b>Voltage min. (Bat.descargada)</b>	10,5 V	5,25V

Tabla 5. Relación entre dos modelos de baterías

### Batería de Níquel-Cadmio (Ni-Cd)

No podemos concluir este capítulo sin mencionar este tipo de batería de ciclo profundo. Debido a su alto costo inicial (6 a 8 veces el de una batería equivalente de Pb-ácido), este diseño no ha podido suplantar al tipo Pb-ácido con electrolito líquido. Sin embargo, el costo operacional (largo plazo) es mucho menor que el de una batería de igual capacidad del tipo Pb-ácido debido a su larga vida útil y bajo mantenimiento.

Existen dos métodos de fabricación para estas baterías, pero el recomendado para una batería solar es el llamado de "bolsillos en la placa" (*pocket plate*, en inglés).

Este tipo de batería usa placas de acero inoxidable, que poseen depresiones donde se coloca el material activo. El electrolito de estas baterías es una solución de agua e hidróxido de potasio, el que requiere una capa de aceite protector, para evitar su oxidación por el oxígeno del ambiente. En términos genéricos, una batería de Ni-Cd que usa este método de fabricación tolera más abuso que su equivalente de Pb-ácido.

Sus características más salientes son: pueden soportar, sin daño, cargas y descargas excesivas, así como una mayor profundidad de descarga (cerca del 100%). Tienen una mayor eficiencia con baja temperatura ambiente y soportan, sin problemas. Una alta combinación de temperatura y humedad ambiente. Esta última característica la convierte en la solución ideal para climas tropicales.

Otras ventajas asociadas con este tipo de batería es la ausencia de problemas similares al de la "sulfatación" de las placas o la congelación del electrolito. Una batería de Ni-Cd puede trabajar con bajo estado de carga sin deteriorarse. La autodescarga es inicialmente elevada, pero disminuye con el tiempo, permitiendo largos períodos de almacenamiento con una retención considerable de la carga inicial. La vida útil es más de dos veces la de una BCP de Pb-ácido. Uno de los fabricantes de baterías solares de Ni-Cd (SAFT-NIFE) las garantiza por 20 años.

### Posibles desventajas de la batería de Ni-Cd

Dado que ningún componente es perfecto, enumeraremos a continuación alguna de las características de la batería de Ni-Cd que pueden ser consideradas como inconvenientes en un sistema FV. Una de ellas es su característica de descarga. Como la resistencia interna de esta batería es diez veces menor que la de Pb-ácido, el voltaje de salida permanece prácticamente constante hasta el momento en que su capacidad de almacenaje de energía se ve agotada. Es entonces cuando éste cae de forma vertiginosa. Esta característica no permite al usuario tener un "aviso previo", como en el caso de las baterías de Pb-ácido, donde la resistencia interna se incrementa con el tiempo, bajando su voltaje de salida en forma continua.

Si se quiere medir el voltaje de salida, se requiere el uso de un voltímetro que tenga la suficiente resolución y precisión para que la lectura contenga dos decimales significativos, ya que los cambios, como se ha dicho, son muy pequeños.

El electrolito de una batería de Ni-Cd tiene un rol pasivo. Sólo actúa como transportador de cargas. No existe variación alguna en la densidad del mismo entre carga y descarga, impidiendo el uso de un densímetro. El instrumento más recomendable es un medidor de energía, como el que mide el número de Wh. El voltaje de una celda es cercano a 1,4V cuando la batería está cargada, y disminuye a 1,1V cuando está descargada.

Para obtener voltajes cercanos a los 12V (o múltiplos de éste) se necesitan más celdas por batería. Si se usan estas baterías en un sistema FV, el control de carga deberá ser elegido de manera que sea

compatible con este tipo de baterías. Un medidor de estado de carga diseñado para baterías de Pb-ácido no puede ser utilizado para monitorear este tipo de acumulador.

## ? autoevaluación

1. ¿Alrededor de qué voltaje necesita una célula fotovoltaica?

2. ¿Cuál es el voltaje que utiliza cada una de las celdas de una batería?

3. Si el estado de carga de una batería es del 100%, ¿cuál es la temperatura de congelamiento del electrolítico?



## respuestas autoevaluación

**1. ¿Alrededor de qué voltaje necesita una célula fotovoltaica?**

De 0,5 V

**2. ¿Cuál es el voltaje que utiliza entonces cada una de las celdas de una batería?**

Alrededor de 2V.

**3. Si el estado de carga de una batería es del 100%, ¿cuál es la temperatura de congelamiento del electrolítico?**

- 58 °C.

## Glosario de términos

---

**Cortocircuito:** Circuito que se produce accidentalmente por contacto entre dos conductores y suele ocasionar una descarga.

**CC:** Corriente continua.

**CA:** Corriente alterna.

**Amperaje:** Cantidad de amperios que actúan en un aparato o sistema eléctrico.



**GRUPO FONDO FORMACIÓN**

*FONS  FORMACIÓ*

*FONDO  FORMACION*  
*enskadi*



**Fondo de Formación y  
Gestión Empresarial, SAL**



Fundación Andaluza Fondo de Formación y Empleo  
**CONSEJERÍA DE EMPLEO**



**FUNDACIÓN METAL**  
ASTURIAS



FUNDACIÓN GALEGA DO METAL  
**FORMEGA**  
FORMACIÓN - CUALIFICACIÓN - EMPREGO

*FONDO  FORMACION*  
**Fondo Formación Centro, S.L.L.**