

---

# **Componentes de un sistema solar fotovoltaico**

---

**unidad  
didáctica3**



## **1. El panel fotovoltaico**

---

Los **módulos o paneles solares** son los elementos fundamentales de cualquier sistema solar fotovoltaico, y su misión es captar la energía solar incidente para generar una corriente eléctrica. Las células solares constituyen un producto intermedio de la industria fotovoltaica ya que proporcionan valores de tensión y corriente muy pequeños, en comparación a los requeridos normalmente por los aparatos convencionales. Son extremadamente frágiles, eléctricamente no aisladas y carecen de soporte mecánico; por eso, una vez fabricadas, deben ser ensambladas de la manera adecuada para constituir una estructura única, rígida y hermética: el **panel fotovoltaico**.

En el conjunto del panel FV, las celdas o células solares deben ser iguales. Están conectadas eléctricamente entre sí, en serie y/o en paralelo, de forma que la tensión y corriente suministrada por el panel se incrementa hasta ajustarse al valor deseado. La mayor parte de los paneles solares se construyen asociando primero células en serie hasta conseguir el nivel de tensión deseado, y luego asociando en paralelo varias asociaciones serie de células para alcanzar el nivel de corriente deseado.

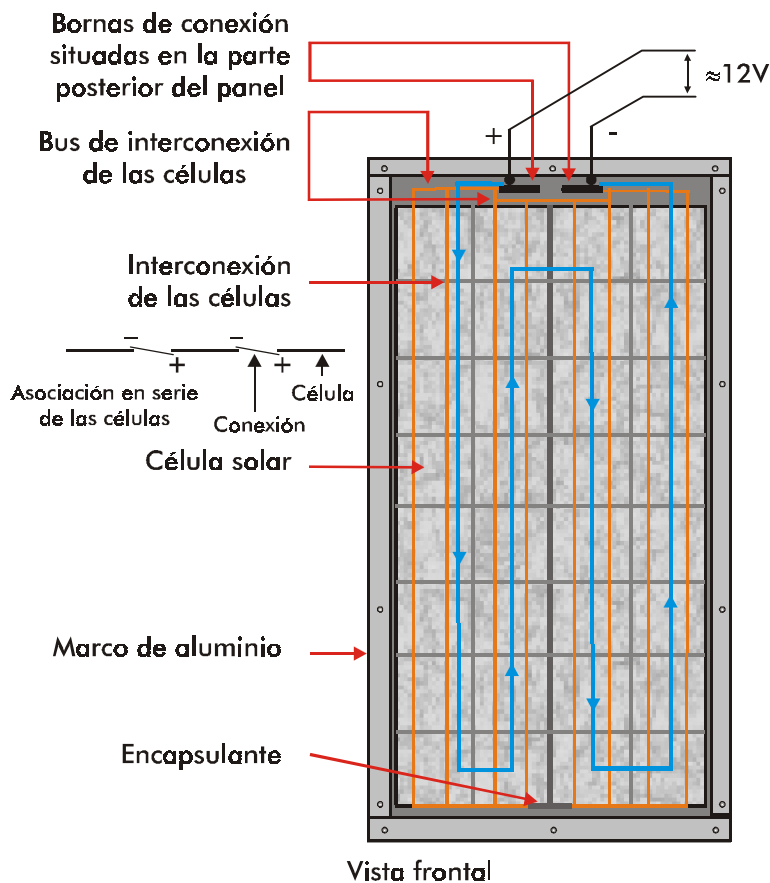
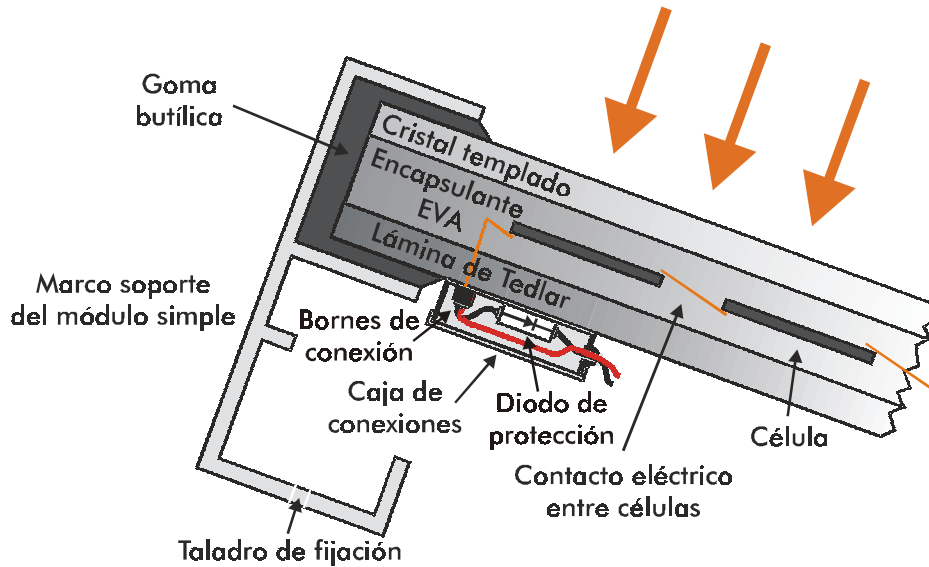
### **1.1. Estructura de los paneles solares**

Cada fabricante adopta una empaquetadura diferente al construir el panel FV. Sin embargo, ciertas características son comunes a todos ellos, como el uso de una estructura de "sándwich", donde ambos lados de las células quedan mecánicamente protegidos.

## Energía solar fotovoltaica

### Componentes de un sistema solar fotovoltaico

Los paneles solares están formados por los siguientes elementos: cubierta frontal, material encapsulante, células o celdas solares y sus conexiones eléctricas, cubierta posterior, y marco metálico. Otros elementos que pueden llegar a formar parte del sistema son mecanismos de seguimiento y sensores.



La **cubierta frontal** sirve para proteger las células contra las inclemencias del tiempo o contra impactos. Es de vidrio templado de 3-4 mm de espesor, y al que se le ha dado una textura que minimiza la reflexión de la luz y favorece la transmisión hacia el material semiconductor; transparente y con un bajo contenido en sales de hierro, que alcanza transmisiones de hasta el 91%. También los hay de materiales orgánicos y plásticos de alta resistencia.

El **material encapsulante** se encuentra entre el vidrio y las células; también las recubre por la parte posterior. Como material encapsulante se emplea un copolímero denominado **EVA** (etileno-vinil-acetato). Se trata de un material que tiene un índice de refracción próximo al del vidrio, lo que evita las pérdidas que se producirían al pasar la radiación de la cubierta al aire entre ésta y la célula. Actúa de protección, no solamente impidiendo la entrada de agua, polvo y la concentración de humedad, sino además es un material que tiene cierta plasticidad, lo que le permite absorber las tensiones producidas por golpes y las dilataciones diferenciales que puedan producirse. No se degrada fácilmente, sólo cuando se le somete a elevadas temperaturas y niveles de iluminación elevados, aunque se está investigando la utilización de aditivos que eviten este proceso. Los paneles que usan láminas plásticas en la superficie colectora suelen perder hasta un 20% del valor inicial de transmisividad después de muchos años de uso (aprox. 20), mientras que los que usan vidrio templado pierden sólo un 5%, ya que este material resiste mejor la acción deteriorante de los rayos ultravioletas.

La **cubierta posterior** sirve de protección y cerramiento al módulo, fundamentalmente contra los agentes atmosféricos, ejerciendo una barrera infranqueable contra la humedad. Está formada por varias capas de un aislante eléctrico llamado Tedlar que, al ser opacas y de color blanco, reflejan la luz que ha logrado pasar por las células, haciendo que vuelva a la parte frontal, donde puede ser reflejada e incidir de nuevo en las células. También existen módulos con una capa de Tedlar y un segundo vidrio. En otros casos la cubierta posterior puede ser metálica (aluminio), con lo que mejora la disipación de calor al exterior, lo cual es un factor muy importante para determinar la potencia de salida de un panel FV.

El **marco metálico** es la parte que le da rigidez y permite que se pueda montar formando estructuras. Es de aluminio anodizado, acero inoxidable, o similar, con los taladros necesarios para anclaje en la estructura soporte, evitando tener que

manipularlo posteriormente ya que nunca se debe taladrar un marco porque las vibraciones producidas pueden hacer que el cristal estalle. El marco lleva acoplada una toma de tierra, como se especifica en el REBT.

A lo largo del perímetro del marco se coloca una junta selladora de neopreno, goma butílica, silicona, o cualquier otro material sellante, que contribuye a evitar la presencia de agua (humedad) dentro del panel, evitando que las conexiones internas se oxiden (mayor resistencia óhmica) o causen la apertura del contacto al semiconductor.

En la parte posterior del módulo se sitúan las **cajas de conexiones eléctricas**. Deben ser a la vez accesibles y estancas, con un grado de protección adecuado, cableado protegido contra la humedad y los fenómenos atmosféricos, dado que se encuentran a la intemperie, y es fundamental que quede asegurada la conexión con otros módulos o con el conductor exterior: a las cajas de conexiones llegan los terminales positivo y negativo de la serie de celdas. En las *borneras* de las cajas se conectan los cables que vinculan el módulo al sistema. Los cables que se utilizan en las instalaciones fotovoltaicas son de sección superior a los utilizados en las instalaciones convencionales, debido a la utilización de bajas tensiones continuas y a requerimientos de potencia de cierta consideración.

La caja de conexiones contiene también unos **diodos de by-pass** (diodos de paso) que protegen individualmente a cada panel de posibles daños ocasionados por sombras parciales, impidiendo que las células sombreadas actúen como receptores. Deben ser utilizados en disposiciones en las que los módulos están conectados en serie, colocándose paralelamente a los mismos. El diodo se conecta con polaridad opuesta a las células, de manera que si éstas trabajan correctamente no pasa por él ninguna corriente. Si una tira en serie está sombreada de manera que invierta su polaridad, la polaridad del diodo cambiará, con lo que ofrece un camino más fácil para el paso de la corriente generada por el resto de los grupos de células.

La mayoría de los fabricantes incorporan diodos de paso en unas tomas intermedias en las cajas de conexiones de sus módulos.

Además, los diodos de paso que se introducen en las ramas en serie de un sistema generador FV, deben tener la capacidad de soportar valores de corriente y

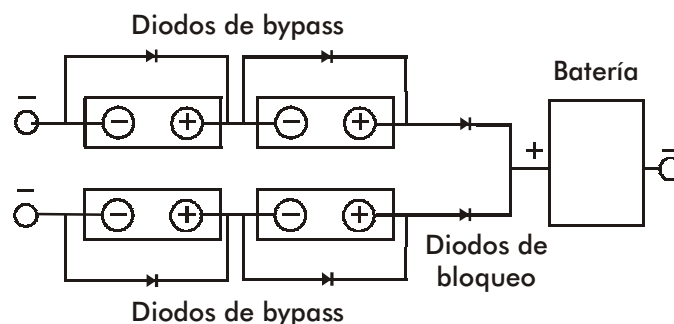
voltaje que ocasionalmente pudieran circular por ellos sin elevar su temperatura excesivamente ni deteriorarse. Como norma general se colocan diodos que soporten una corriente igual al doble de la corriente en cortocircuito sobre la rama en que están colocados. Como normalmente esta corriente suele ser de 3 a 7 A, dependiendo del tamaño y calidad del módulo, habrán de soportar los diodos corrientes entre 6 y 14 A. Para el caso del voltaje también se toma el doble del voltaje en circuito abierto de todo el campo fotovoltaico.

Generalmente no son necesarios en sistemas que funcionan a 24 V o menos.

Se usa también otra serie de diodos, los **diodos de bloqueo**, que se colocan a la salida de cada grupo de módulos fotovoltaicos y que evitan que se disipe la electricidad de los módulos o de la batería en caso de defecto eléctrico (la batería, si no se toman precauciones, puede descargarse a través del módulo), ya que estos diodos solo dejan pasar la corriente en un solo sentido y se oponen a la circulación en sentido contrario. Impiden también que la batería se descargue a través de los paneles fotovoltaicos por la noche. También evitan que el flujo de corriente se invierta entre bloques de paneles conectados en *paralelo*, cuando en uno o varios de ellos se produce una sombra, "aislando" las ramas defectuosas.

Los diodos deben ser capaces de soportar la corriente de cortocircuito y el voltaje en circuito abierto del campo completo. Como norma se toma que puedan soportar dos veces  $I_{CC}$  y  $V_{CA}$  del campo fotovoltaico.

Mientras que los diodos de bloqueo evitan que un grupo de paneles en *serie* absorba flujo de corriente de otro grupo conectado a él en paralelo, los diodos de by-pass impiden que cada módulo individualmente absorba corriente de otro de los módulos del grupo, si en uno o más módulos del mismo se produce una sombra.



## 1.2. Conexión de los módulos

Como las células individuales tienen valores de tensión de unos 0,5 V y una corriente de unos dos amperios. Para obtener potencias utilizables para aparatos de mediana potencia, hay que unir un cierto número de células y obtener así la tensión y la corriente requeridas para su funcionamiento. Conectando en serie 36 de estas células, se obtienen 18 V, tensión suficiente para hacer funcionar equipos a 12 V, incluso con iluminaciones mucho menores de 1 kW/m<sup>2</sup>. Una placa fotovoltaica contiene entre 20 y 40 células solares; que como hemos dicho, se conectan entre sí en serie y/o paralelo para obtener el voltaje deseado (12 V, 14 V, etc.).

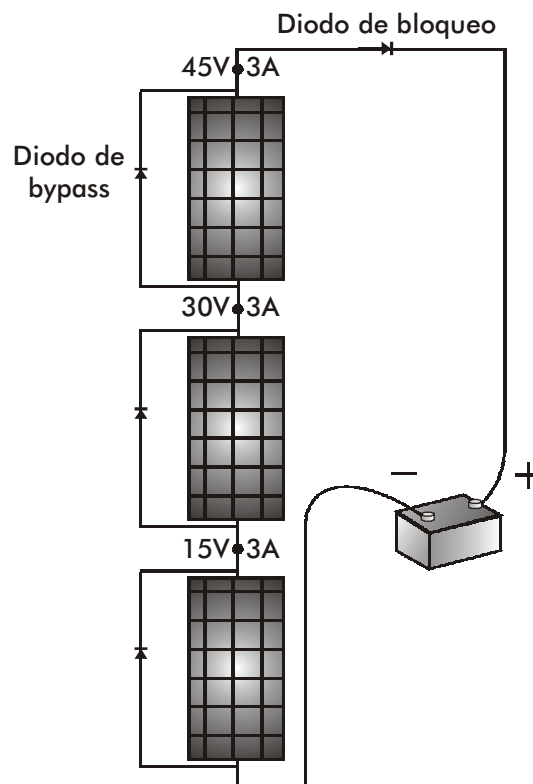
Normalmente, los paneles utilizados, están diseñados para trabajar en combinación con baterías de tensiones múltiplo de 12 V, como veremos en la sección dedicada al acumulador. Esto es así porque la industria de baterías precedió a la de los sistemas FVs, de manera que la adopción de 12 V para el voltaje de salida del panel era una opción práctica. Por otra parte, este valor no requiere la conexión de un número excesivo de células en serie. En principio, se necesitaría conectar un mínimo de 24 células en serie para alcanzar un voltaje nominal de salida de 12 V.

Un conjunto de módulos conectados entre ellos junto con el cableado, y (en su caso) los soportes de la instalación constituyen un **generador fotovoltaico**. La conexión de módulos fotovoltaicos sigue las reglas básicas de la electricidad. Los módulos se pueden conectar en serie o en paralelo, con la combinación más adecuada para obtener la corriente y el voltaje necesario para una determinada aplicación. Todos los paneles conectados deben tener las mismas características eléctricas.

### 1.2.1. Conexión en serie

Este tipo de conexión se basa en conectar el terminal positivo de un módulo con el negativo del siguiente, y así sucesivamente hasta completar la serie. Los terminales del grupo generador estarán en el terminal positivo del último módulo conectado y el negativo del primero. Cuando los paneles se conectan en serie la tensión resultante es la suma de la de todos los paneles, mientras que la intensidad será

la proporcionada por uno solo de ellos. Si falla uno de los paneles conectados en serie, puede hacer que el conjunto deje de funcionar. Para evitar que esto suceda, los diodos de bloqueo "puentean" ese módulo, haciendo que la corriente siga su camino. Normalmente se conectan módulos en serie para conseguir voltajes de 24 ó 48 V, en instalaciones autónomas de electrificación, y superiores, 96 a 144 V, en instalaciones conectadas a la red o de alimentación para bombeos directos. Hay que recordar que el voltaje de un módulo fotovoltaico, cuando funciona en el punto de máxima potencia, puede llegar a ser 1,4 veces el voltaje nominal.



### 1.2.2. Conexión en paralelo

Este tipo de conexión consiste en conectar por un lado los terminales positivos de todos los paneles, y por otro, todos los terminales negativos. La salida del grupo generador la forman el terminal positivo común y el terminal negativo, también común.

Cuando los módulos se conectan en paralelo, la tensión coincidirá con la que proporcione un solo módulo, pero la intensidad será la suma de las intensidades

## Energía solar fotovoltaica

### Componentes de un sistema solar fotovoltaico

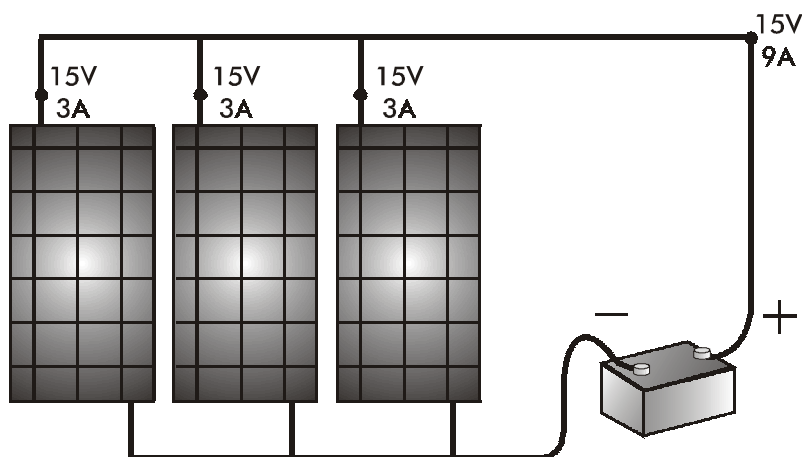
---

de todos los módulos, de manera que el aumento de potencia se basa en mantener la potencia que puede dar un módulo y la suma de intensidades que proporcionen los módulos conectados. Normalmente se hacen conexiones en paralelo para conseguir intensidades de 20 ó 25 A, en instalaciones autónomas de electrificación y/o bombeo, y superiores en instalaciones de conexión a la red de elevada potencia.

Hay que recordar que el aumento de intensidad produce un aumento de pérdidas por efecto Joule (calentamiento de los conductores) de forma cuadrática, ya que

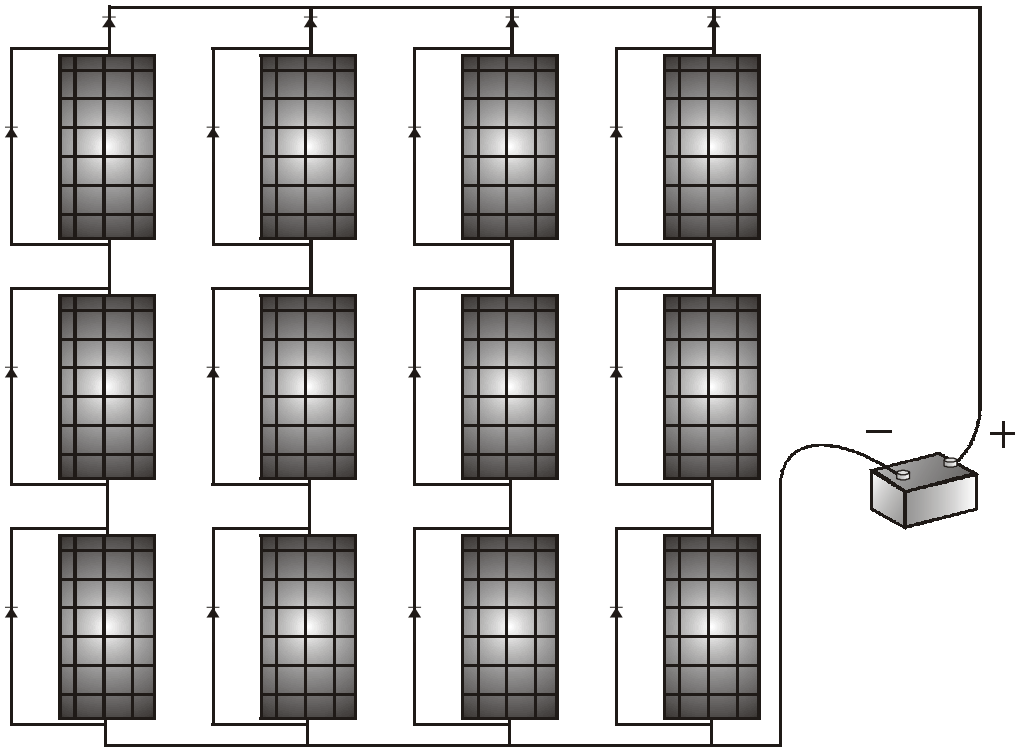
$$P = R \cdot I^2$$

Lo que obliga a utilizar conductores de mayor sección para que puedan soportar intensidades elevadas, aunque siempre teniendo en cuenta que no superen las establecidas en el REBT para cada sección de conductor.



### 1.2.3. Conexión mixta

Para satisfacer diferentes necesidades de tensión y voltaje, los módulos pueden combinarse en agrupaciones serie-paralelo.



### Encontrar la configuración correcta

A menudo, nos encontramos ante el dilema de a qué voltaje hay que diseñar una instalación (12, 24 ó 48 V). Aunque esta pregunta no tiene una respuesta clara y contundente, podría enfocarse desde dos puntos de vista diferentes:

- Desde el punto de vista del rendimiento: es decir, el que procura minimizar las pérdidas de energía por calentamiento de los conductores y/o de los equipos de regulación. Según este criterio, tendríamos que diseñar las instalaciones a 48 V, ya que cuanto mayor voltaje se tenga, menor es la intensidad para un valor de potencia constante. El problema de trabajar a esta tensión es que el sistema de baterías que debe emplearse encarece la instalación.
- Desde el punto de vista económico: es decir, el que procura el mínimo coste de la instalación. Según este criterio, siempre se montarían instalaciones de 12 V, con lo que se necesitaría una batería pequeña, pero a costa de tener elevadas intensidades de paso en los conductores y controladores, a medida que aumenta la potencia de la instalación.

Una vez analizados estos planteamientos, parece apropiado encontrar algún parámetro que nos permita relacionar la economía y el rendimiento. Normalmente este parámetro es la intensidad que se calcula que puede producir el generador fotovoltaico (el conjunto de módulos instalados).

$$I_T = I_{CC} \cdot N_p$$

donde

$I_T$  = intensidad máxima que se espera recibir en el generador solar.

$I_{CC}$  = intensidad de cortocircuito de un panel.

$N_p$  = número de grupos o módulos en paralelo.

Como hay que escoger entre rendimiento y economía, siempre que sea posible se trabajará con conductores estandarizados y con reguladores de baja intensidad, para lo cual se trabajará con el voltaje más bajo posible, siempre y cuando la intensidad máxima no supere demasiado los 50 A. A partir de este valor, habría que aumentar el voltaje (de 12 a 24 V o de 24 a 48 V) con tal de mantener la intensidad en niveles bajos. A partir de los 48 V, las condiciones de diseño varían, ya que un aumento de voltaje ha de estar justificado debido a los peligros y problemas legales que conlleva.

## 1.3. Características de los paneles

### 1.3.1. Parámetros eléctricos que definen un módulo fotovoltaico

Los parámetros que definen el comportamiento fotovoltaico del módulo son los siguientes:

- **Intensidad de cortocircuito** ( $I_{CC}$  o  $I_{SC}$ ): se mide la corriente entre los bornes de un panel, cuando éstos se cortocircuitan ( $V = 0$ ). La intensidad de cortocircuito de un módulo es igual a la de una de sus células multiplicada por el número de filas conectadas en paralelo. Es la máxima intensidad que se puede obtener de un panel. Experimentalmente se puede medir con un

amperímetro (impedancia muy pequeña) conectado a la salida de los bornes del módulo FV. El valor varía de forma proporcional en función de la radiación solar a la cual la célula o el módulo están expuestas.

- **Tensión nominal** ( $V_N$ ): es el valor de la tensión a la cual trabaja el panel.
- **Tensión a circuito abierto** ( $V_{CA}$  o  $V_{OC}$ ): es el máximo voltaje, que se mediría entre los bornes de un panel si se dejaran los terminales en circuito abierto ( $I = 0$ ). Esta medida se toma conectando un voltímetro entre los bornes del módulo cuando no hay carga conectada entre sus extremos. El valor de la medida puede ser mayor que el voltaje nominal del módulo, por lo que hay que seleccionar una escala de téster superior a los 12 ó 24 V. La tensión de circuito abierto de un módulo es la de cada una de sus células por el número de células conectadas en serie.
- **Intensidad de potencia máxima** ( $I_{Pmáx}$ ): es el valor de la corriente que puede suministrar el panel cuando trabaja a máxima potencia.
- **Tensión de potencia máxima** ( $V_{Pmáx}$ ): es el valor de la tensión cuando la potencia también es máxima, cuando el panel está suministrando la máxima intensidad de corriente.
- **Potencia máxima** ( $P_M$ ): es el máximo valor obtenido al multiplicar la intensidad  $I_{Pmáx}$  (Intensidad cuando la potencia es máxima o corriente en el punto de máxima potencia) y  $V_{Pmáx}$  (Tensión cuando la potencia también es máxima o tensión en el punto de máxima potencia). También se le llama **Potencia de pico** del módulo o panel (Wp).

### 1.3.2. Curva V-I

Todo generador tiene una curva típica para la potencia de salida en función de la corriente de carga, y los paneles fotovoltaicos no son una excepción. La curva V-I de un panel FV proporciona, indirectamente, la relación mencionada, ya que asocia los valores de V e I para diferentes cargas. Si se conecta una cierta carga eléctrica al panel, el punto de trabajo vendrá determinado por la corriente I y la tensión V existentes en el circuito. Estos habrán de ser menores que los  $I_{CC}$  y  $V_{CA}$  definidos anteriormente.

## Energía solar fotovoltaica

### Componentes de un sistema solar fotovoltaico

---

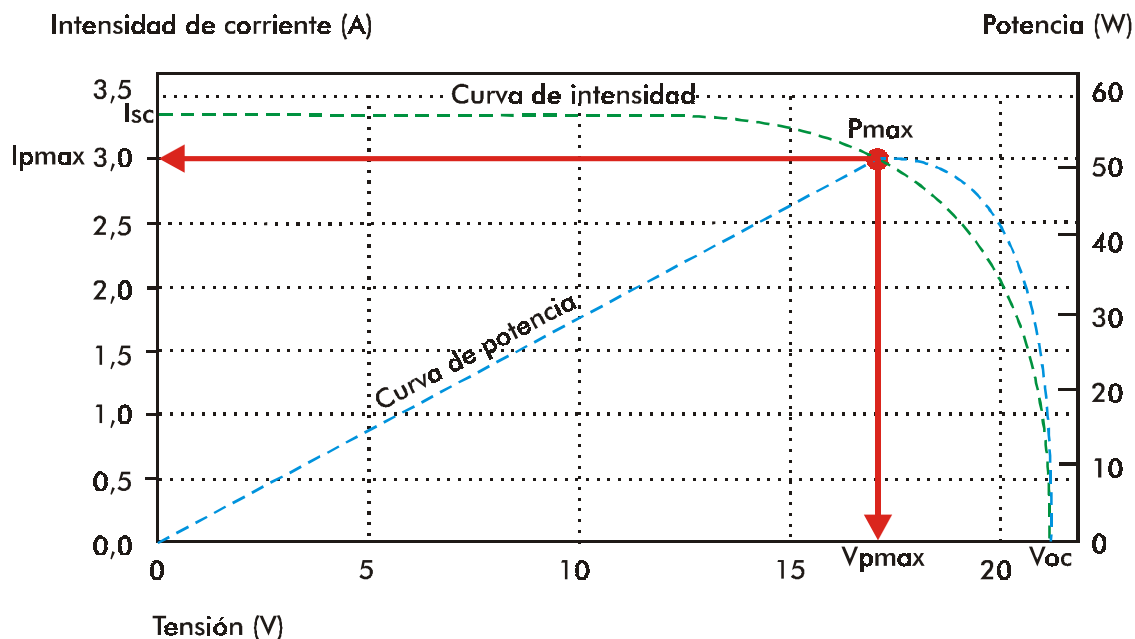
La potencia (P) que el panel entrega a la carga está determinada por  $P = I \cdot V$ .

La potencia disponible en un panel fotovoltaico en un punto cualquiera de la curva se expresa en vatios.

El cortocircuito se produce en un punto de la curva donde el voltaje es cero. En el punto de cortocircuito, la potencia de salida es cero, ya que el voltaje es cero.

El circuito abierto se produce cuando la corriente es cero. En el punto de circuito abierto la potencia de salida también es cero, pero ahora es porque la corriente es cero.

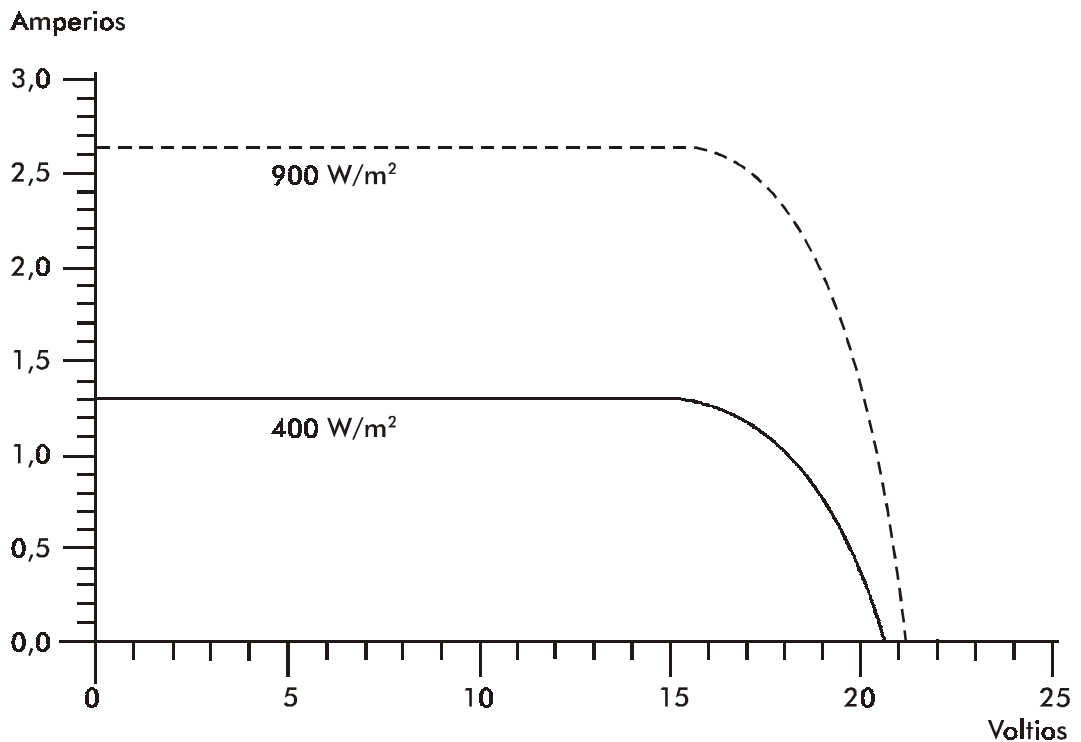
La intensidad, en amperios, se representa en el eje vertical (eje Y) y la tensión, en voltios, en el horizontal (eje X).



Las características del panel, están definidas para las condiciones estándar de media (CEM: 1 kW/m<sup>2</sup>, 25 °C, A.M. 1,5).

### Curva V-I en función de la irradiancia

El comportamiento eléctrico de un módulo varía además con la **irradiancia solar**. La corriente proporcionada por un módulo fotovoltaico es directamente proporcional a la energía solar recibida. La intensidad aumenta con la radiación, permaneciendo el voltaje más o menos constante, por lo tanto, habrá aumento de potencia.



### Curva V-I en función de la temperatura

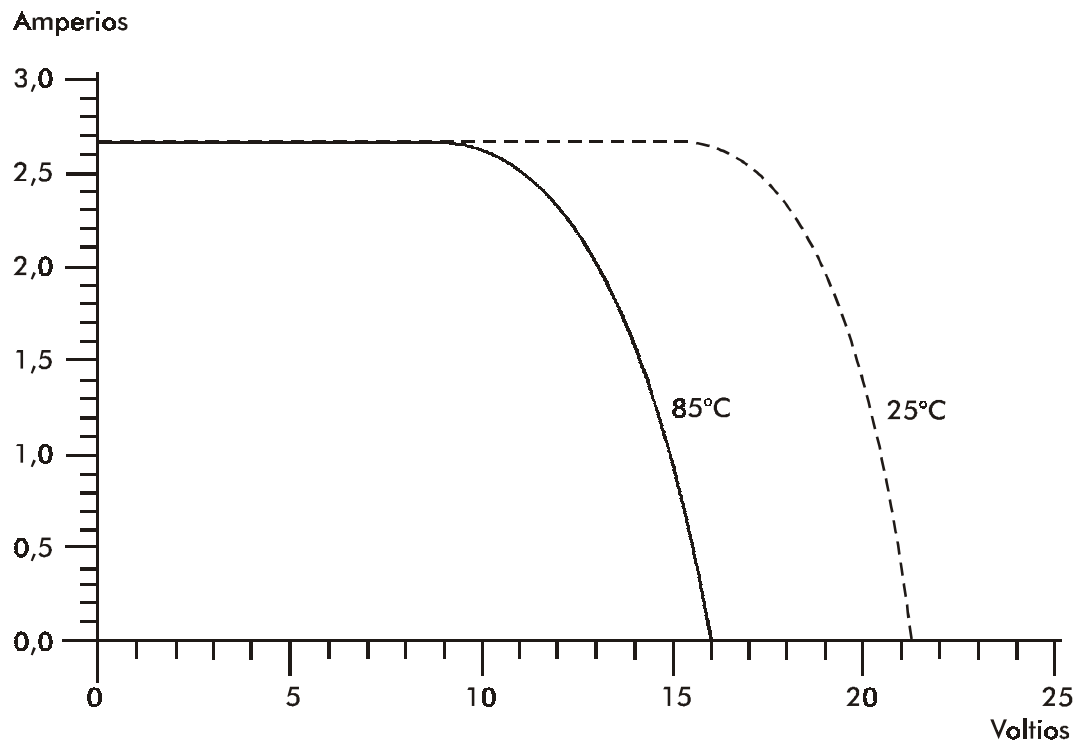
La exposición al sol de las células provoca su calentamiento, lo que lleva aparejados cambios en la producción de electricidad; así, la tensión generada varía de forma inversamente proporcional a la temperatura de las células, sin que esto provoque cambios en la corriente de salida. Altas temperaturas en el módulo reducen el voltaje de 0,04 a 0,1 voltios por cada grado centígrado que sube la temperatura. Por esta razón, los paneles FV no deberían ser instalados directamente sobre una superficie, sino que debe permitirse al aire circular por detrás de

## Energía solar fotovoltaica

### Componentes de un sistema solar fotovoltaico

---

cada módulo para que su temperatura no suba. Es necesario un espacio de unos 10 cm para proporcionar una ventilación adecuada. La temperatura de las células es superior a la temperatura ambiente, por el calentamiento a la que la somete la radiación solar.



La radiación y la temperatura ambiente experimentan además otro tipo de variación debidos a factores diurnos y estacionarios.

## **2. Baterías**

---

Las **baterías** (o **acumuladores**), sirven para acumular la energía que los paneles generan diariamente, y así poderla usar en horas donde la energía consumida es superior a la generada, como sucede de noche. Otra importante función de las baterías es la de proveer una intensidad de corriente superior a la que el dispositivo fotovoltaico puede entregar. Tal es el caso de un motor, que en el momento del arranque puede demandar una corriente de 4 a 6 veces su corriente nominal durante unos pocos segundos. Además, el acumulador proporciona un voltaje estable y constante independiente de las condiciones de incidencia luminosa, que puede ser lo más adecuado para el funcionamiento de los aparatos eléctricos.



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

- Aceptar todas las corrientes de carga que suministre el panel solar.
- Mantenimiento nulo o mínimo.
- Fácil transporte e instalación.

- Baja autodescarga.
- Rendimiento elevado.
- Larga vida.

Una batería está constituida por uno o varios elementos electroquímicos capaces de transformar una energía potencial química en energía eléctrica. Cuando las reacciones químicas que se producen son irreversibles, la batería puede usarse sólo una vez y recibe el nombre de *primaria* (por ejemplo, las pilas). Si las reacciones químicas son reversibles y se puede recargar el elemento convirtiendo la energía eléctrica en química, la batería es denominada *secundaria* (por ejemplo, las baterías propiamente dichas).

Las baterías se componen esencialmente de dos electrodos sumergidos en un electrolito donde se producen las reacciones químicas en los procesos de carga o descarga.

## 2.1. Tipos de baterías

Se encuentran diferentes tipos de baterías en el mercado, pero fundamentalmente se pueden hacer dos grandes grupos: las de níquel-cadmio (Ni-Cd) y las de plomo-ácido. Las primeras presentan unas cualidades excepcionales, pero debido a su elevado precio se usan con menos frecuencia.

Por el contrario, las baterías de plomo-ácido en sus diferentes versiones son las más usadas para las aplicaciones solares, adaptándose a cualquier corriente de carga, teniendo un precio razonable.

### 2.1.1. Baterías de plomo-ácido

Este tipo de baterías se aplican ampliamente en los sistemas de generación fotovoltaicos. Más del 90% del mercado corresponde a este tipo de baterías, que en general, y siempre que pueda realizarse un mantenimiento, son las que mejor se adaptan a los sistemas de generación fotovoltaica. Están compuestas por dos

electrodos inmersos en un electrolito de ácido sulfúrico diluido en agua. El electrolito puede estar en el recipiente en forma de líquido o de gel. Los dos electrodos son uno de dióxido de plomo (ánodo) y otro de plomo metálico (cátodo). Existen varios tipos, siendo las de plomo-antimonio (Pb-Sb) y plomo-calcio (Pb-Ca) las más comunes.

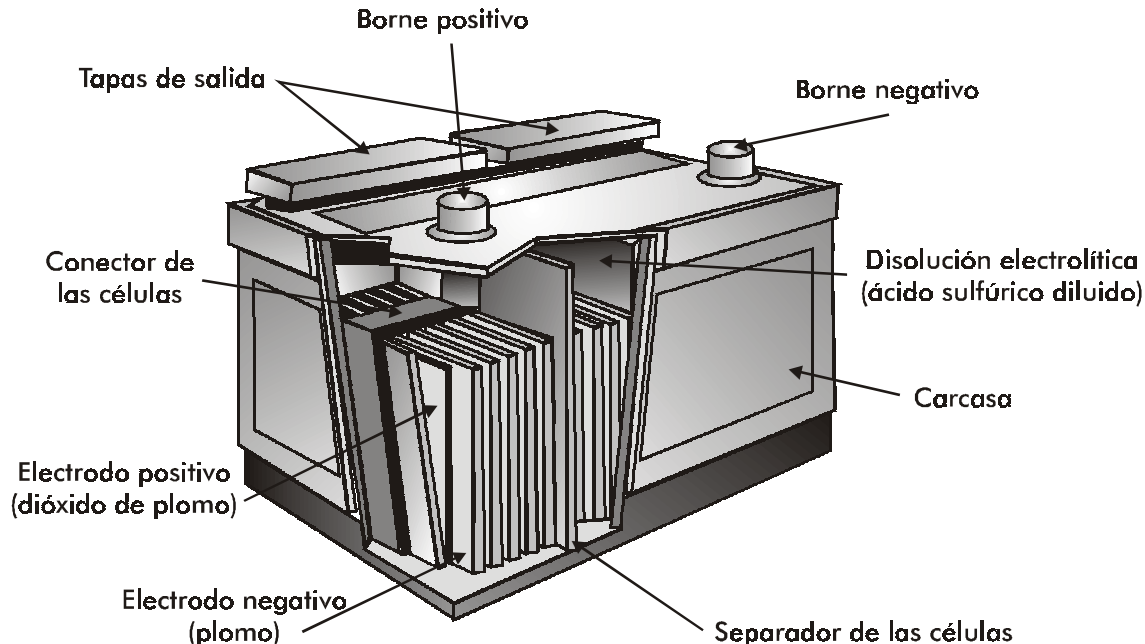
Los electrodos de la batería de Pb-Sb, se construyen con una aleación de plomo y antimonio, este último es necesario para dar la adecuada consistencia al material y garantizar la adherencia a la matriz de acero en que se deposita. Ahora bien, el antimonio también es responsable de las pérdidas de agua, la corrosión de los terminales y pérdidas de capacidad de almacenamiento. Las baterías de Pb-Sb que más se usan son las de tipo abierto (que requiere un alto consumo de agua) y tubulares, tienen mejores propiedades a bajos niveles de descarga (soporta grandes descargas) y se deterioran menos con los ciclos de carga y descarga. Este tipo de baterías, siempre atendiendo a las condiciones de uso, tienen una vida media de diez o quince años. Aunque admite descargas moderadamente altas, el número de ciclos de carga y descarga y por lo tanto la vida útil será mayor cuanto menor sea la profundidad de descarga a la que se vea regularmente sometido. Las baterías estacionarias de Pb-Sb suelen suministrarse en celdas o elementos de un par de voltios de tensión. Uniendo en serie 6 ó 12 de estos elementos mediante atornillado se consiguen baterías de 12 ó 24 voltios.

En las baterías de Pb-Ca, esta aleación permite la fabricación de baterías herméticas y sin mantenimiento. Presenta además la ventaja de tener una baja autodescarga. No admite gran número de ciclos por debajo del 15% de la capacidad y en ningún caso aguanta profundidades de descarga superiores al 40%. Se venden en estructuras compactas tipo "monoblocs" y su reducido tamaño permite un transporte cómodo lo que unido a su precio relativamente moderado hace que sea bastante utilizada en pequeñas instalaciones. Se pueden usar cuando no se anticipan descargas profundas.

### Composición de una batería solar de Pb-ácido

En términos simples la batería de plomo-ácido se compone de los siguientes elementos:

- Placa positiva construida con óxido de plomo ( $\text{PbO}_2$ ).
- Placa negativa formada por plomo esponjoso.
- Separadores, que tiene como fin separar las placas evitando el contacto eléctrico.
- Electrolito, formado por ácido sulfúrico diluido en agua.
- Carcasa, construida de material plástico (polietileno o propileno, normalmente) y que está encargada de contener los anteriores elementos.
- Terminales de conexión.



Las placas positiva y negativa están construidas con pasta de plomo. La cantidad de esta pasta determina la capacidad de la batería así como la profundidad de descarga a la que puede ser sometida. Estas placas están inmersas en una solución de ácido sulfúrico (electrolito) y son sometidas a una carga de "formación" por parte del fabricante. Durante el proceso de carga, la pasta sobre la rejilla de las placas positivas (ánodo) se transforma en óxido de plomo ( $\text{PbO}_2$ ). La pasta de las placas negativas (cátodo) se transforma en plomo esponjoso. Ambos materiales son altamente porosos, permitiendo que la solución de ácido sulfúrico penetre libremente en las placas.

En la descarga, se forma sulfato de plomo en los dos electrodos, el ácido sulfúrico necesario para la formación de esta sal se toma del electrolito:

- El electrodo de plomo ( $\text{Pb}^{2+}$ ) reacciona con el ión sulfato ( $\text{SO}_4^{2-}$ ), 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 ( $\text{SO}_4^{2-}$ ) 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.

Cada vez que se descarga la batería, esta pasta, al irse desprendiendo, pierde volumen. Por este motivo, si la batería se va a someter a descargas profundas, las placas deben de ser gruesas y construidas con pasta de plomo de alta densidad. Esto último puede paliarse en parte utilizando más cantidad de electrolito, teniendo cuidado de que no exista evaporación de agua que provocaría concentraciones mayores de ácido que podrían dañar la batería.

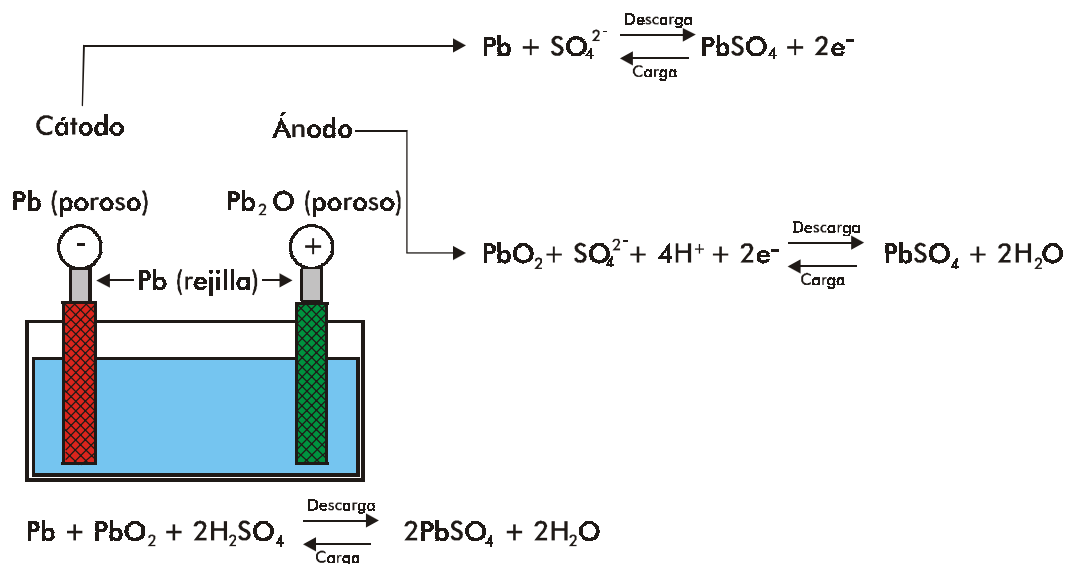
## Energía solar fotovoltaica

### Componentes de un sistema solar fotovoltaico

---

Las placas se alternan en la batería, con separadores entre ellas. Los separadores están fabricados de un material poroso que permite el flujo del electrolito. Son eléctricamente no conductores. Pueden ser mezclas de silicona y plásticos o gomas. Pueden ser hojas individuales o "sobres". Los sobres son manguitos, abiertos por arriba, que se colocan únicamente sobre las placas positivas.

Un grupo de placas positivas y negativas, con separadores, constituyen un "elemento". Un elemento en un contenedor inmerso en un electrolito constituye una "celda" o vaso de batería. Placas más grandes, o mayor número de ellas, suponen una mayor cantidad de amperios-hora (Ah) que la batería puede suministrar.



Independientemente del tamaño de las placas, una celda suministrará sólo una tensión nominal de 2 voltios (para plomo-ácido). Una batería está constituida por varias celdas o elementos conectados en serie, interna o externamente, para incrementar el voltaje a unos valores normales a las aplicaciones eléctricas. Por ello, una batería de 6 V se compone de tres celdas, y una de 12 V de seis.

Las placas positivas por un lado, y las negativas por otro, se interconectan mediante terminales externos en la parte superior de la batería.

## Acumuladores de gel

A diferencia de las baterías de plomo-ácido, en las que se produce una pérdida de agua durante el ciclo de carga, en las baterías de gel se recombina el oxígeno liberado por las placas positivas con el hidrógeno, a través del electrolito, y por reacción electroquímica se convierte en agua. De esta manera se hace innecesaria la adición de agua durante toda la vida de la batería.

Las baterías de gel están formadas por:

- **Placas positivas:** constituidas por una serie de tubos de poliéster, material resistente al ácido y de alta porosidad, que sirven de soporte a una gran cantidad de materia activa formada por óxido de plomo de esmerada elaboración.
- **Placas negativas:** son del tipo empastado, formadas por una rejilla de aleación de plomo que sirve de soporte eficaz a la materia activa por su especial diseño. Su rendimiento es equivalente al de las placas positivas a las que acompaña.
- **Separadores:** son de plástico microporoso inalterable a la acción del ácido sulfúrico y de una elevada porosidad.
- **Terminales:** por su diseño deben de eliminar toda posibilidad de corrosión y garantizar la absoluta estanqueidad entre el interior y exterior del elemento.
- **Recipiente y tapa:** de plástico de alta resistencia a impactos e inalterables al ácido. Deberían incorporar **válvulas de seguridad** para facilitar la salida de gases al exterior en caso de sobrepresión producida por una carga incorrecta.
- **Electrolito:** constituido por una solución de ácido sulfúrico que se presenta en forma de gel debido a la adición de una sílice especial.

### 2.1.2. Baterías de níquel-cadmio

Las baterías de níquel-cadmio (Ni-Cd) o alcalinas, tienen una estructura física similar a las de plomo-ácido. Las placas son de acero inoxidable, con depresiones donde se coloca el material activo, y en lugar de plomo, se utiliza hidróxido de níquel para las placas positivas y óxido de cadmio para las negativas. El electrolito es hidróxido de potasio, que forma parte del proceso químico como conductor, y que suele ser una disolución acuosa al 20%. Se requiere una fina capa de aceite en la superficie superior para evitar su oxidación por el oxígeno del ambiente.

Durante la descarga el oxígeno pasa de la placa positiva a la negativa, dando lugar a óxido de cadmio. Es durante la carga cuando el oxígeno vuelve a pasar de la placa negativa a la positiva.



El electrolito juega un papel de mero conductor, motivo por el que apenas sufre, todo lo contrario que en las baterías de plomo, no siendo peligroso, ya que no es ácido y además no produce el típico fenómeno de la *sulfatación*.

Las materias activas se encuentran en las placas en forma de polvo, contenidas en bolsas de fleje de acero perforado. Las placas positivas y negativas están separadas de tal forma, que las burbujas de gas que se desprenden al final de la descarga ascienden libremente a lo largo de la placa ejerciendo una libre circulación del electrolito, lo que evita la formación de puentes entre las placas, que son la causa de su cortocircuito.

Las baterías de níquel-cadmio están diseñadas específicamente para aplicaciones fotovoltaicas. El voltaje nominal de un elemento de batería de Ni-Cd es de 1,2 V, en lugar de los 2 V de los elementos de batería de plomo-ácido.

Las baterías de Ni-Cd aguantan procesos de congelación y descongelación sin ningún efecto sobre su comportamiento. Las altas temperaturas tienen menos

incidencia que en las de plomo-ácido. Los valores de autodescarga oscilan entre 3 y 6% al mes.

Les afectan menos las sobrecargas. Pueden descargarse totalmente sin sufrir daños. Su capacidad para aceptar un ciclo de carga es independiente de la temperatura.

El coste de una batería de Ni-Cd es mucho más elevado que el de una de plomo-ácido; no obstante tiene un mantenimiento más bajo y una vida más larga, por lo que, en ciertas aplicaciones, su costo por ciclo de vida útil puede resultar más bajo. Esto las hace aconsejables para lugares aislados o de acceso peligroso.

Las baterías de Ni-Cd no pueden probarse con la misma fiabilidad que las de plomo-ácido. Por tanto, si es necesario controlar el estado de carga, las baterías de Ni-Cd no son la mejor opción.

El Ni-Cd presenta el llamado "efecto memoria": la batería "recuerda" la profundidad de descarga y reduce su capacidad efectiva. Esto se debe a que el compuesto químico que se forma en una placa cargada tiende a cristalizar, por lo que si se le deja el tiempo suficiente queda inutilizada, perdiéndose capacidad. Este proceso no es irreversible pero sí de difícil reversión.

## **2.2. Especificaciones eléctricas**

Las especificaciones eléctricas de una batería indican sus condiciones de trabajo. Las principales son: **tensión, capacidad y profundidad de descarga**.

### **2.2.1. Tensión**

La unidad de construcción básica de una batería de plomo-ácido es la celda de 2 V. Dentro de la celda, la tensión real de la batería depende de su estado de carga: si está cargando, descargando o en circuito abierto. En general, la tensión de una celda varía entre 1,75 V y 2,5 V, siendo el promedio los 2 V, tensión que se suele

llamar nominal de la celda. Cuando las celdas de 2 V se conectan en **serie** (positivo con negativo) las tensiones de las celdas se suman, obteniéndose de esta manera, baterías de 4, 6, 12 V, etc.

Si las baterías están conectadas en **paralelo** (positivo con positivo o negativo con negativo) las tensiones no cambian, pero se sumaran sus capacidades de corriente. Solo se deben conectar en paralelo baterías de igual tensión y capacidad.

### 2.2.2. Capacidad

Es la cantidad de energía que puede suministrar la batería en unas de terminadas condiciones de trabajo. Se expresa en amperios-hora (Ah). La capacidad de almacenaje de energía de una batería depende de la velocidad de descarga. Teóricamente una batería de 200 Ah puede suministrar 200 A durante una hora, o 50 A durante 4 horas, etc. Pero existen factores que pueden hacer variar la capacidad de la batería. En general si la batería se descarga a un nivel más lento, su capacidad aumentará ligeramente, si el ritmo es más rápido la capacidad se reducirá. Cuanto mayor es el tiempo de descarga, mayor es la cantidad de energía que la batería entrega. Un tiempo de descarga típico en sistemas fotovoltaicos es 100 h. También al igual que para módulos solares puede definirse el voltaje de circuito abierto y el voltaje en carga. Las baterías tienen un voltaje nominal que suele ser de 2, 6, 12, 24 V, aunque siempre varíe durante los distintos procesos de operación. Es importante el voltaje de carga, que es la tensión necesaria para vencer la resistencia que opone el acumulador a ser cargado.

La capacidad se ve influenciada por la temperatura de la batería y la de su ambiente. Si una batería se cataloga a una temperatura de 25 grados, temperaturas más bajas reducen su capacidad significativamente, y las temperaturas más altas provocarían un ligero aumento de su capacidad, pero esto último puede incrementar la pérdida de agua, disminuyendo así el número de ciclos de vida de la batería.

### **2.2.3. Profundidad de descarga**

Es la cantidad, expresada en tanto por ciento, que representa el cociente entre la carga extraída y la capacidad nominal de la batería, o sea, lo que se ha descargado de una batería en proceso de descarga. Pueden ser descargas superficiales (20%) o descargas profundas, que llegan al 80%. Para aplicaciones fotovoltaicas se fabrican baterías que soportan descargas de hasta un 80% de capacidad, sin dañarse.

La profundidad de descarga afecta a la vida de las baterías de forma que cuanto mayor es la descarga, menor es el número de ciclos de carga que la batería puede tener. Para la mayoría de los tipos de baterías, un acumulador que queda totalmente descargado, puede quedar dañado seriamente y perder gran parte de su capacidad de carga.

Por lo general, las baterías son la parte más delicada de un sistema solar fotovoltaico y la primera en ser reemplazada. Las baterías deben permanecer en un lugar fresco, bien ventilado y fuera del alcance de los niños y personas inexpertas, ya que son peligrosas.

Los fabricantes suelen indicar los ciclos de vida de las baterías, que es el número de veces que es posible cargar completamente la batería durante su vida útil.

## **2.3. Consideraciones finales sobre las baterías**

Es relación a las baterías deben tenerse en cuenta los siguientes aspectos:

- Instalar las baterías en lugares ventilados, evitando la presencia de llamas cerca de las mismas.
- Ajustar el nivel del electrolito hasta la altura recomendada por el fabricante, utilizando siempre agua destilada, nunca agua del grifo y teniendo especial precaución para no tocarlo ni derramarlo.

## Energía solar fotovoltaica

### Componentes de un sistema solar fotovoltaico

---

- Una vez conectadas las baterías, las bornas deben cubrirse con vaselina.
- No utilizar las baterías del sistema fotovoltaico para arrancar vehículos.
- No debe utilizarse conjuntamente baterías de distintos tipos cuando no estén preparadas para ello.
- Con el fin de prevenir posibles cortocircuitos debe respetarse la polaridad, las herramientas deben estar adecuadamente protegidas y las baterías o los terminales deben estar cubiertos para prevenir cortocircuitos accidentales por caída de objetos.
- Las baterías deben estar colocadas por encima del nivel del suelo.



### **3. Reguladores de carga**

---

Teniendo en cuenta que la energía solar es variable y estacional, es de suma importancia disponer de un elemento que permita controlar la relación que establecen batería y sistema generador FV. Supongamos que el consumo es fijo durante todos los días del año. Cuando se calcula el número de módulos solares necesarios, se hace tomando como base la radiación invernal para asegurar el correcto funcionamiento del sistema, ya que esa es la peor época.

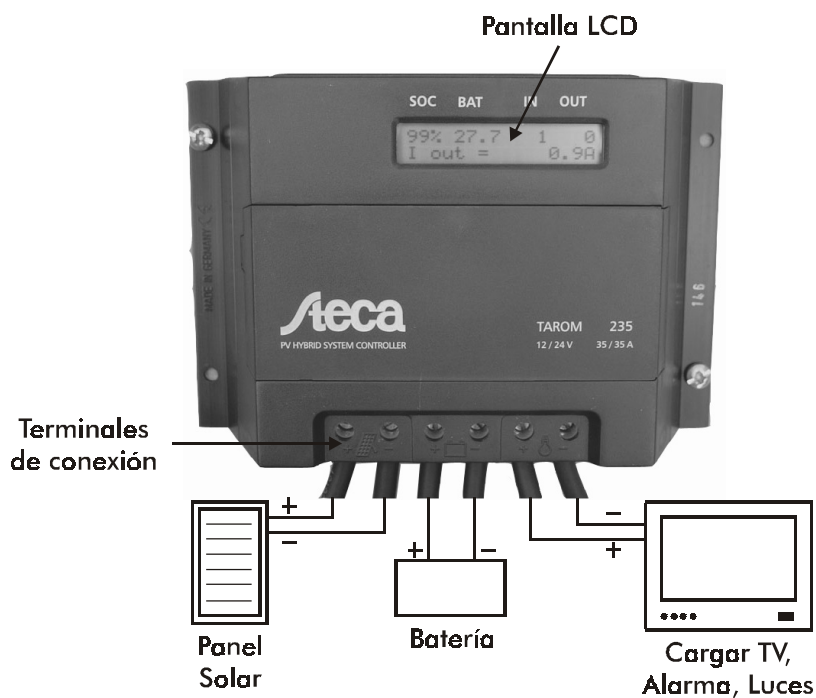
Pero cuando llega el verano, el valor de la radiación puede duplicarse, por lo que la producción será el doble de la calculada para el invierno, mientras el consumo es el mismo. Si no existiera un sistema regulador, se produciría un exceso de corriente que sería capaz de hacer hervir el electrolito con la consiguiente pérdida de agua y deterioro del grupo acumulador, al no estar limitada la tensión.

El **regulador o controlador de carga**, es el equipo que se encarga de gestionar el consumo directo de las placas, las baterías, y la carga de éstas evitando sobrecargas o descargas profundas, alargando así su vida útil. También genera alarmas en función del estado de dicha carga. Los reguladores se instalan entre el sistema generador y las baterías, tomando de éstas la energía para su funcionamiento.

Existe una amplia gama de reguladores, los más simples son más económicos y los más complejos disponen de más funciones, como la visualización de datos por pantalla LCD o la conexión a sistemas informáticos. Los reguladores actuales introducen microcontroladores que analizan el estado de carga de las baterías, su temperatura o la tensión, y aplican esa información a la unidad de control del regulador para modificar las condiciones de carga. Su programación elaborada permite un control capaz de adaptarse a las distintas situaciones de forma automática, permitiendo la modificación manual de sus parámetros de funcionamiento para instalaciones especiales. Incluso los hay que memorizan datos que permiten conocer cual ha sido la evolución de la instalación durante un tiempo determinado.

## Energía solar fotovoltaica

### Componentes de un sistema solar fotovoltaico



Regulador de carga de las baterías, con indicador de Amperios de carga.

- Estos reguladores de carga son parte esencial de una instalación fotovoltaica.
- Cargan la batería correctamente hasta un máximo predefinido.
- Indican los Amperios que se están cargando.
- En caso de que la batería se esté descargando suena una alarma.
- Indican si la tensión de la Batería es correcta.

Las prestaciones más habituales de los reguladores de carga que se usan en instalaciones solares autónomas (que son las que tienen acumuladores), son las siguientes:

- **Protección contra sobrecarga del acumulador:** esta es la función básica del acumulador, ya que así se evita que la batería se caliente, que pierda agua del electrolito y que las placas se oxiden.
- **Alarma por batería baja:** consiste en indicadores sonoros y/o luminosos que indican que el acumulador está siendo descargado. A partir de este momento, el usuario tiene la posibilidad de reducir su consumo, evitando una descarga muy perjudicial y excesiva del acumulador.
- **Desconexión por baja batería:** esta función hace que el regulador corte el suministro de corriente eléctrica para consumo si el nivel de carga del acumulador es demasiado bajo y, por tanto, existe peligro de una descarga profunda, lo que originaría problemas de sulfatación.

Existen dos tipos de reguladores de carga, los **lineales** y los **conmutados**.

## 3.1. Reguladores lineales

Dependiendo de cómo se instala el elemento activo de regulación, los reguladores lineales se clasifican en **reguladores serie** y **reguladores paralelo**. En ambos casos el elemento regulador es por resistencia variable en la que se disipa la energía sobrante que produce el panel. El elemento regulador está constituido generalmente por transistores unipolares tipo MOS o MOS-FET. Los reguladores lineales se emplean en sistemas de pequeña potencia.

### 3.1.1. Reguladores en serie

Los **reguladores en serie** realizan la función de desconectar el panel de las baterías cuando se logra el estado de plena carga. Es equivalente a un interruptor conectado en serie que proporciona una vía de baja resistencia, del orden de  $m\Omega$ ,

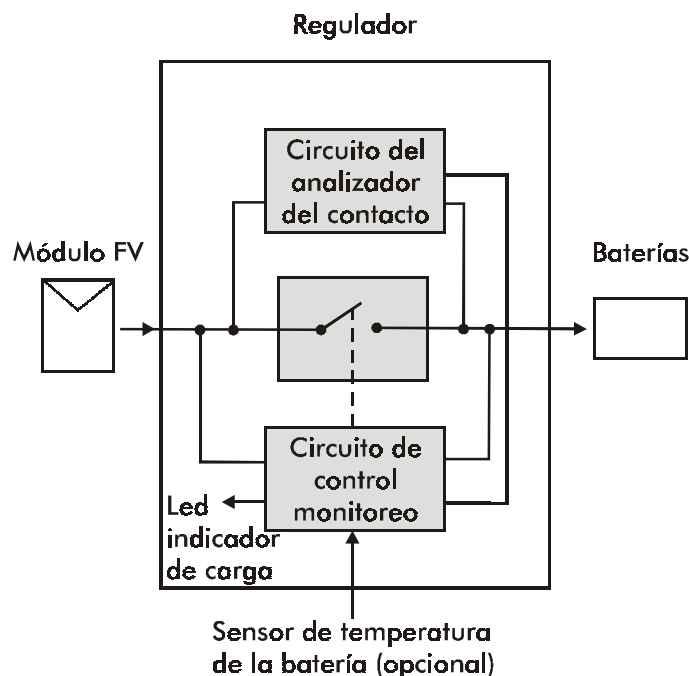
## Energía solar fotovoltaica

### Componentes de un sistema solar fotovoltaico

---

desde el grupo de paneles solares al sistema de baterías durante la carga, y un circuito abierto entre ambos (grupo de paneles y baterías) cuando las baterías se encuentran plenamente cargadas.

Como elemento regulador se emplea un dispositivo semiconductor (normalmente transistores de potencia bipolares) capaz de conducir la corriente deseada en la carga, de soportar la diferencia de tensión entre la entrada y la salida, y que está provisto de un sistema térmico capaz ceder al ambiente el calor generado por efecto Joule, por la pérdida de potencia, sin alcanzar una temperatura peligrosa para la estructura.

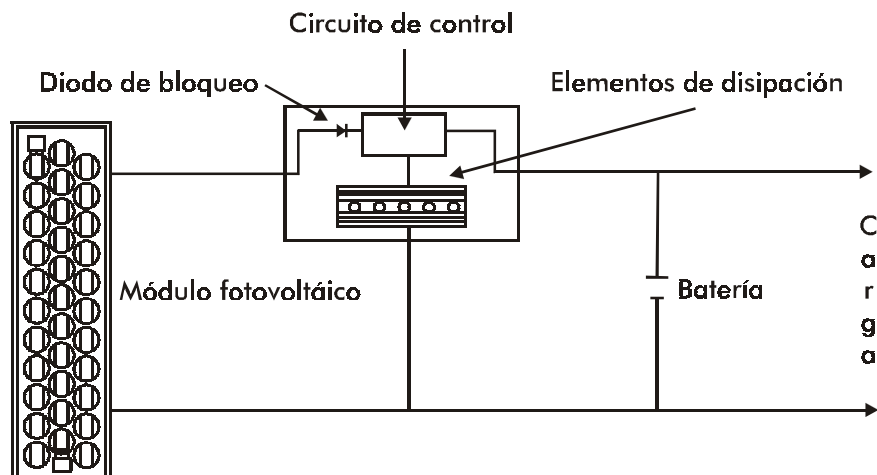


Este elemento es gobernado por un circuito de control que, comparando constantemente la tensión de las baterías con una tensión de referencia, entrega al regulador una señal para permitir o impedir el paso de corriente.

En los reguladores en serie, la energía sobrante, disipada intencionadamente en forma de calor, aumenta en proporción directa con la carga a que es sometida la fuente.

### 3.1.2. Reguladores en paralelo o shunt

Los **reguladores tipo paralelo**, colocados en paralelo con el grupo solar y el sistema de baterías, detectan la tensión en bornes de la batería y cuando el potencial alcanza un valor establecido de antemano crean una vía de baja resistencia para el grupo solar, derivando con ello la corriente y apartándola de las baterías. Un diodo en serie, interpuesto entre el regulador y la batería, impide que la corriente de la batería retorne a través del regulador al sistema generador FV. Los reguladores tipo paralelo han de disipar toda la corriente de salida del panel cuando el sistema de baterías alcanza el estado de plena carga. Esto resulta una tarea razonable cuando los sistemas eléctricos solares son pequeños, pero con los grandes sistemas se requieren disipadores de grandes dimensiones o disipadores menores múltiples, lo que conduce a problemas de fiabilidad y de costo elevado.



Luego puede decirse, que estos reguladores son rentables aplicándolos cuando la potencia de los módulos no sea excesivamente grande, ya que su precio puede equipararse entonces a reguladores tipo serie con mayores prestaciones y capaces de manejar una mayor corriente procedente del grupo fotovoltaico.

Otra característica de los reguladores en paralelo es que impide que las variaciones de la corriente de carga aparezcan en la fuente primaria lo que proporciona una facultad de aislamiento.

Este tipo de reguladores, está hoy día en desuso, ya que el avance en los microprocesadores y la electrónica en general ha facilitado el diseño de equipos más compactos y con más prestaciones que las que ofrecían aquéllos, con un coste mucho más reducido y la posibilidad de alojarlos en cajas estancas, cosa que no se podía hacer en el caso de los reguladores shunt, puesto que disipan calor y en consecuencia debe dejarse una salida para su evacuación.

En los reguladores en paralelo, la energía disipada en el regulador disminuye cuando aumenta la carga. Además el regulador en paralelo presenta frente al regulador en serie un elemento más que también disipa calor, la resistencia  $R$ , por la que circulan las corrientes del regulador y de la carga. Esto provoca que para una entrada y salida determinadas y una carga idéntica, la fuente primaria del regulador en paralelo entrega una potencia constante que, independientemente de que se disipe en el elemento regulador o en la carga, es siempre mayor a la que es entregada a un regulador en serie en las mismas condiciones si se exceptúa el caso de carga máxima con entrada mínima, en que ambas fuentes disipan la misma potencia. En definitiva, el regulador en paralelo tiene un rendimiento inferior a su equivalente en serie.

## 3.2. Reguladores conmutados

Los **reguladores conmutados** actúan desconectando la batería del generador mediante un interruptor conectado en serie con el panel. Como interruptor puede usarse un dispositivo electromecánico tipo relé o también transistores. Estos dispositivos pueden controlar el valor de la tensión a su salida para que sea el más adecuado al estado de carga de la batería. Deben tener en cuenta la variación con la temperatura de la tensión correspondiente a una carga completa.

## 4. Convertidores e inversores

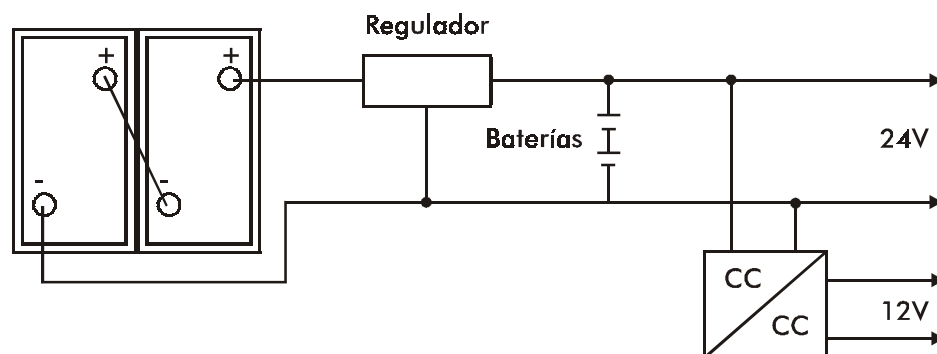
---

Los **convertidores e inversores** son elementos que permiten adaptar las características de la corriente generada por un sistema FV a la demanda total o parcial de las aplicaciones.

### 4.1. Convertidores

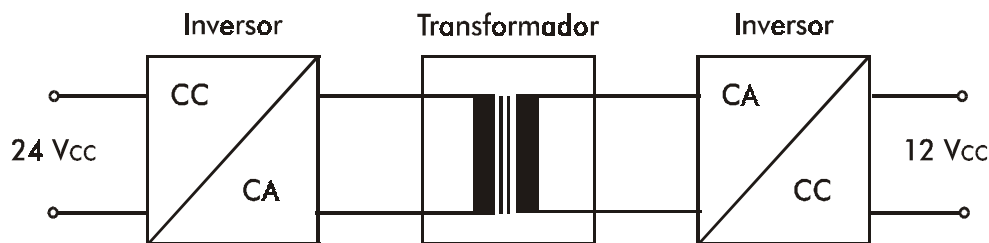
En determinadas aplicaciones que trabajan en corriente continua, no es posible hacer coincidir las tensiones proporcionadas por el acumulador con la demanda por todos los elementos de consumo. En estos casos la mejor solución es un **convertidor** de tensión continua-continua (CC/CC).

Mediante el uso de convertidores CC/CC, la descarga de batería se consigue, para el equipo que usa el convertidor, a una tensión totalmente estable que favorecerá el perfecto funcionamiento de éste, sobre todo si se trata de algún equipo electrónico de precisión.



Colocación de un convertidor CC/CC dentro de una instalación fotovoltaica

En un convertidor CC/CC la corriente continua es transformada a corriente alterna mediante el uso de un inversor, y una vez que este cambio está realizado, se eleva o reduce el voltaje mediante un transformador hasta el valor adecuado, para volver a convertirla a corriente continua. De esta forma se consigue la tensión adecuada, con la ventaja del aislamiento galvánico que produce el transformador. Todos estos procesos conllevan una cierta pérdida de rendimiento que debe ser tenida en cuenta para evitar que los cálculos en el consumo no resulten suficientes. El dato del rendimiento deberá figurar en las especificaciones del fabricante.



Esquema de un convertidor CC/CC

Existe otro tipo de aparato que cumple la misión de disminuir la tensión de línea a otra más pequeña. Recibe el nombre de **estabilizador**. Estos equipos electrónicos presentan una buena fiabilidad, tensión estable de salida y bajo precio respecto a los convertidores.

CC/CC descritos anteriormente, pero presentan el inconveniente de que el consumo en amperios del receptor es el mismo que el que se produce en la fuente primaria, y por lo tanto, el consumo real es elevado.

## 4.2. Inversores

Los **inversores** son convertidores CC/CA que permiten transformar la corriente continua de 12, 24 ó 48 V que producen los paneles y almacena la batería, en corriente alterna de 125 ó 220 V, como la que normalmente se utiliza en los lugares donde llega la red eléctrica tradicional. Esto permite usar los aparatos

eléctricos convencionales diseñados para funcionar con este tipo de corriente, en vez de otros (difíciles de encontrar y más caros debido a la escasa distribución que tienen) que funcionen en CC. Además, si el sistema FV está conectado a una red pública de distribución de energía eléctrica, también debe suministrarle corriente alterna.

Algunos paneles, los llamados módulos de CA, llevan el inversor integrado en su parte posterior.

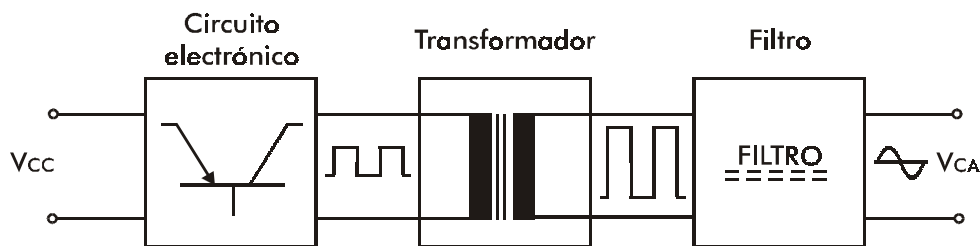


Un convertidor CC/CA consta de un circuito electrónico realizado con transistores o tiristores (dispositivos electrónicos que actúan a modo de interruptores), que corta la corriente continua, alternándola y creando una onda de forma cuadrada. Este tipo de onda puede ser utilizada, después de haberla hecho pasar por un transformador que la eleve de tensión, teniendo entonces los denominados convertidores de onda cuadrada, o bien puede ser filtrada, y obtener una forma de onda sinusoidal igual a la de la red eléctrica.

Existen otros tipos de convertidores más sofisticados, entre ellos los que en vez de crear una onda cuadrada crean una especie de escaleras que siguen la forma de la sinusoide, siendo entonces mucho más fácil llegar a la onda sinusoidal mediante un filtro menos complicado que el utilizado en el caso de una onda cuadrada. Para muchas aplicaciones solares es suficiente utilizar convertidores de onda cuadrada, pues las cargas no son especialmente sofisticadas (luces incandescentes,

pequeños motores, etc.) y presentan habitualmente un rendimiento más elevado, ya que al no existir filtro las pérdidas son más pequeñas.

Como contrapartida a esta transformación que realizan los convertidores, se produce una pérdida de energía en los mismos, que en determinadas circunstancias de trabajo tienen un rendimiento bastante pequeño.



Esquema de un convertidor CC/CA

#### 4.2.1. Tipos de inversores

Se puede distinguir entre:

- Inversores de conmutación natural.
- Inversores de conmutación forzada.
  - De salida escalonada.
  - De modulación de anchura de impulsos (PWM).

Los ***inversores de conmutación natural*** se aplican a sistemas conectados a la red eléctrica, y mediante la conmutación se controla el flujo de energía en el sentido deseado. También son conocidos como "inversores conmutados por la red". Actualmente están siendo desplazados por los inversores de conmutación forzada tipo PWM, conforme se desarrollan los transistores de tipo IGBT (transistor bipolar de puerta aislada), que virtualmente no causan pérdidas de conmutación, para mayores niveles de tensión y corriente.

En los **inversores de conmutación forzada** o autoconmutados, ésta (o sea, la conmutación forzada) se refiere a que la apertura y cierre son forzados por el sistema de control. Pueden emplearse en sistemas FV aislados.

Pueden ser de **salida escalonada** (onda cuadrada) o de modulación **por anchura de pulsos** (PWM), con los que se pueden conseguir salidas prácticamente senoidales y por tanto con poco contenido de armónicos.

En el pasado los dispositivos de interrupción más populares eran transistores bipolares para potencia baja y media, y tiristores para alta potencia. Los transistores no son tolerantes a cargas de corrientes y por lo tanto pueden ser fiables. Por otra parte los tiristores introducen grandes pérdidas que no benefician la eficiencia del inversor.

Los inversores de salida escalonada contienen armónicos que producen pérdidas de potencia y reducen su rendimiento por debajo del 80%, sobre todo si trabajan alejados de la carga nominal.

Los inversores de anchura de pulsos (o inversores de onda senoidal modificada) sintetizan la onda con una cantidad mayor de pulsos por medio ciclo. El ancho de la onda es modificado para que ésta se acerque lo más posible a una onda senoidal. Esto reduce en gran medida el contenido de los armónicos, siendo menor que en la onda cuadrada. Con los inversores tipo PWM se consiguen rendimientos por encima del 90%, incluso con bajos niveles de carga.

#### **4.2.2. Parámetros característicos**

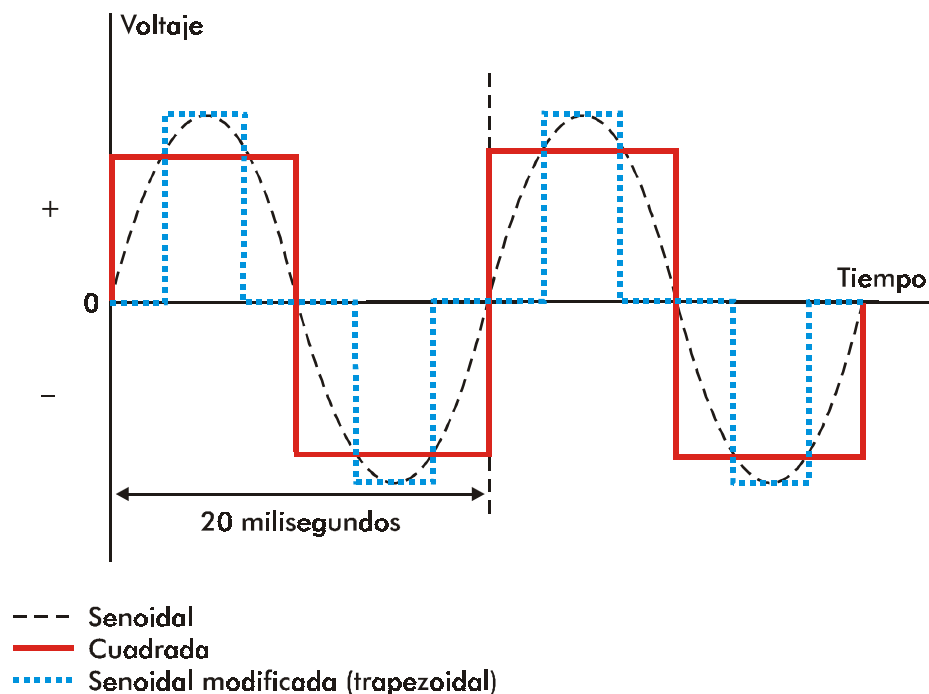
Las principales características que definen un inversor son:

- Las **tensiones nominales de entrada y salida del inversor**, que se deben adaptar a la del sistema. El inversor debe ser capaz de transformar distintas tensiones, ya que la tensión de entrada no corresponde a un valor fijo. La tensión de salida no será superior a un 5% de la tensión nominal de salida en inversores de onda senoidal ni a un 10% en los inversores de onda cuadrada.

- La **potencia nominal de salida**, que corresponde al régimen en funcionamiento continuo del circuito de salida del inversor. Oscila entre 100 y 5.0000 W. A veces, como durante la puesta en marcha de determinados elementos de consumo, la potencia de salida es superior a la nominal durante un tiempo determinado (potencia de sobrecarga o pico). El inversor deberá soportar las siguientes sobrecargas:
  - 160% de la potencia nominal durante 1 minuto.
  - 140% de la potencia nominal durante 3 minutos.
  - 120% de la potencia nominal durante 10 minutos.
- La **eficiencia**, próxima al 85%. Es la relación entre la potencia eléctrica que el inversor entrega y la que él consume del generador o las baterías. La eficiencia de un inversor no es constante y depende del régimen de carga al que esté sometido. Para regímenes de carga próximos a la potencia nominal, la eficiencia es mayor que para regímenes de carga bajos.
- La **capacidad de sobrecarga y de protección térmica** es la capacidad de suministrar una potencia superior a la nominal y el tiempo que esta situación puede mantenerse. Es muy útil en instalaciones donde hay motores, ya que en el momento de arrancar puede multiplicarse la potencia necesaria para el funcionamiento nominal, aunque no más de unos segundos. En el momento de poner en marcha cualquier motor (máquina, bomba o compresor), éste consume un pico de corriente que puede llegar a ser de cinco veces la intensidad nominal y que, por regla general, es de aproximadamente tres veces.
- **Forma de onda que tiene la señal a la salida del inversor**. La conversión de CC en CA puede realizarse de diversas formas. La mejor, depende de cuanto ha de parecerse a la onda senoidal ideal para realizar un funcionamiento adecuado de la carga de corriente alterna. Hay diversas posibilidades:
  - *Inversores de onda cuadrada*. La mayoría de los inversores funcionan haciendo pasar la corriente continua a través de un transformador, primero en una dirección y luego en otra. El dispositivo de conmutación que cambia la dirección de la corriente debe actuar con rapidez. A

medida que la corriente pasa a través de la cara primaria del transformador, la polaridad cambia 100 veces cada segundo. Como consecuencia, la corriente que sale del secundario del transformador va alternándose, en una frecuencia de 50 ciclos completos por segundo. La dirección del flujo de corriente a través de la cara primaria del transformador se cambia muy bruscamente, de manera que la forma de onda del secundario es "cuadrada".

Los inversores de onda cuadrada son más baratos, pero normalmente son también los menos eficientes. Producen demasiados armónicos que generan interferencias (ruidos), sobre todo en aparatos de radio y telefonía. La principal aplicación que tienen es la alimentación de circuitos de iluminación y de cargas resistivas. Si se desea corriente alterna únicamente para alimentar un televisor, un ordenador (PC) o un aparato eléctrico pequeño, se puede utilizar este tipo de inversor. La potencia de éste dependerá de la potencia nominal del aparato en cuestión (para un TV de 19" es suficiente un inversor de 200 W).



- *Inversores de onda senoidal modificada (trapezoidal)*, utilizan técnicas de modulación de ancho de impulso (PWM). El ancho de la onda es modificado para acercar la forma de onda lo más posible a una onda senoidal, pero, a menudo, está más próxima a la onda cuadrada que a la senoidal. El contenido de armónicos es menor que en la onda cuadrada. Soportan bien las sobrecargas y pueden generar interferencias y ruidos en las telecomunicaciones.

Aunque son más caros, son los más habituales a causa de que ofrecen una mejor relación calidad/precio. Los inversores de onda senoidal modificada además de producir un tipo de onda de salida adecuada para la conexión de iluminación, televisión o variadores de frecuencia, tienen un rendimiento muy elevado (superior al 95%), con lo que apenas se producen pérdidas en la conversión CC/CA. Gracias a esto es posible disponer de CA a 220 V y 50 Hz para toda la instalación, tanto para electrodomésticos, motores de inducción y naturalmente para toda la iluminación de la vivienda.

- *Inversores de onda senoidal pura*. Con una electrónica más elaborada se puede conseguir una onda senoidal pura. Hasta hace poco tiempo estos inversores eran grandes y caros, además de ser poco eficientes (a veces sólo un 40% de eficiencia). Últimamente se han desarrollado nuevos inversores senoidales con una eficiencia del 90% o más, dependiendo de la potencia. La incorporación de microprocesadores de última generación permite aumentar las prestaciones de los inversores con servicios de valor añadido como telecontrol, cómputo de energía consumida, selección de batería, etc. Son más estables, no soportan demasiadas sobrecargas y normalmente no generan interferencias ni incompatibilidades. Sin embargo su coste es mayor que el de los inversores menos sofisticados.

Puesto que sólo los motores grandes de inducción y los más sofisticados aparatos o cargas requieren una forma de onda senoidal pura, normalmente es preferible utilizar inversores menos caros y más eficientes. Dentro de poco tiempo el coste de los inversores senoidales se acercará al de los otros, popularizándose su instalación.

### **4.2.3. Características**

Los inversores que se usen en instalaciones FV autónomas deben cumplir una serie de requisitos:

- Deberán tener una eficiencia alta, pues en caso contrario se habrá de aumentar innecesariamente el número de paneles para alimentar la carga. No todos los inversores existentes en el mercado cumplen estas características. Sin embargo, es cada vez más sencillo ver equipos específicamente diseñados para cubrir plenamente estas aplicaciones.
- Estar adecuadamente protegidos contra cortocircuitos y sobrecargas.
- Incorporar rearme y desconexión automáticas cuando no se esté empleando ningún equipo de corriente alterna.
- Admitir demandas instantáneas de potencia mayores del 200% de su potencia máxima.
- Cumplir con los requisitos, que para instalaciones de 220 V, CA establece el REBT.

En cualquier caso la definición del inversor a utilizar debe realizarse en función de las características de la carga. En función de esta última se podrá acudir a equipos más o menos complejos.

## 5. Cables

---

En las instalaciones FV aisladas, se dan voltajes relativamente bajos y corrientes relativamente altas, por tanto, incluso pequeñas caídas de tensión tienden a ser importantes y pueden producir efectos negativos sobre:

- La corriente entregada por el generador fotovoltaico (un aumento de la tensión de operación hace que el punto de operación se mueva hacia la región de baja corriente de la curva I-V del generador fotovoltaico).
- La regulación de la carga de la batería (debido a las diferencias entre los voltajes reales de la batería y los valores del voltaje en los terminales del regulador de carga).
- La vida útil de las lámparas fluorescentes (bajo voltaje de operación).

Por estos cables circulará la corriente total del sistema, incluyendo las pérdidas. En las instalaciones fotovoltaicas se utilizan secciones de cableado superiores a las utilizadas en instalaciones convencionales debido a la utilización de bajas tensiones continuas (12, 24 y 48 V) y requerimientos de potencia de cierta consideración, aunque los conductores a emplear tendrán la sección adecuada para reducir las caídas de tensión y los calentamientos según se establece en el REBT.

Estos cables están expuestos a condiciones ambientales extremas (calor, frío, humedad, rayos ultravioletas, etc.), y, en algunos casos, al ataque de roedores.

Los positivos y negativos de la instalación se conducirán separados, protegidos y señalizados (códigos de colores, etiquetas, etc.) de acuerdo a la normativa vigente.

Para realizar las conexiones deben utilizarse cajas de conexiones estancas y con grado de protección IP adecuado. El cableado debe estar protegido contra la humedad, la radiación ultravioleta y otros fenómenos atmosféricos, dado que la instalación se encuentra a la intemperie.

Los conductores necesarios deben tener la sección adecuada para reducir las caídas de tensión y los calentamientos. Además, esta sección deberá ser suficiente para que soporten la intensidad máxima admisible en cada uno de los tramos.

Las intensidades máximas admisibles, se regirán en su totalidad por lo indicado en la Norma UNE 20460-5-523.

## 6. Protecciones

---

Los elementos que se utilicen como protección (fusibles, magnetotérmicos e interruptores en general y diodos) deben ser adecuados para los valores de tensión y corriente de una instalación fotovoltaica.

Los fusibles se utilizan para evitar sobreintensidades accidentales. Cada aparato suele llevar su propio fusible (irán preferentemente instalados en las líneas de polaridad positiva).

Los magnetotérmicos limitan la intensidad en el circuito de consumo y son como los que se instalan habitualmente en las viviendas, y saltarán si se conecta algún equipo de excesiva potencia. Es recomendable incluir un magnetotérmico en la salida del acumulador y del inversor.



Los diodos son dispositivos de protección para evitar que los módulos actúen como receptores en determinadas ocasiones.

Los diodos de bloqueo evitan que se disipe la potencia de los módulos o de la batería en situaciones de defecto eléctrico. Se colocan a la salida de cada grupo de módulos fotovoltaicos.

Los diodos de paso evitan los efectos del sombreado parcial al impedir que las células sombreadas actúen como receptores. Vienen incluidos por el propio fabricante en la caja de conexiones del módulo.

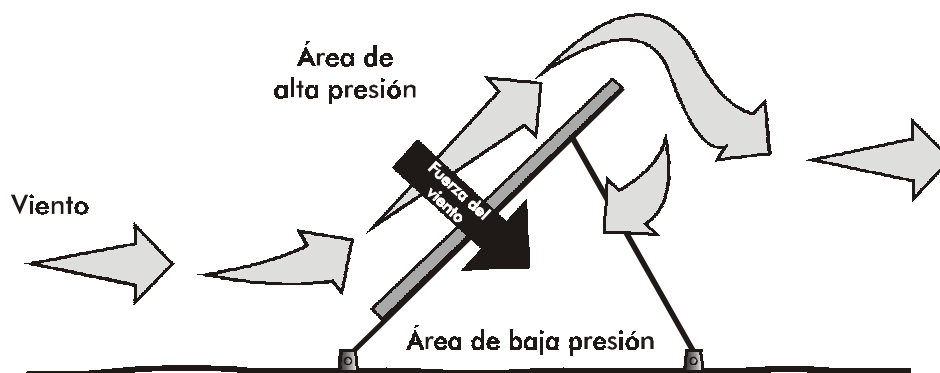
## **7. Soportes**

---

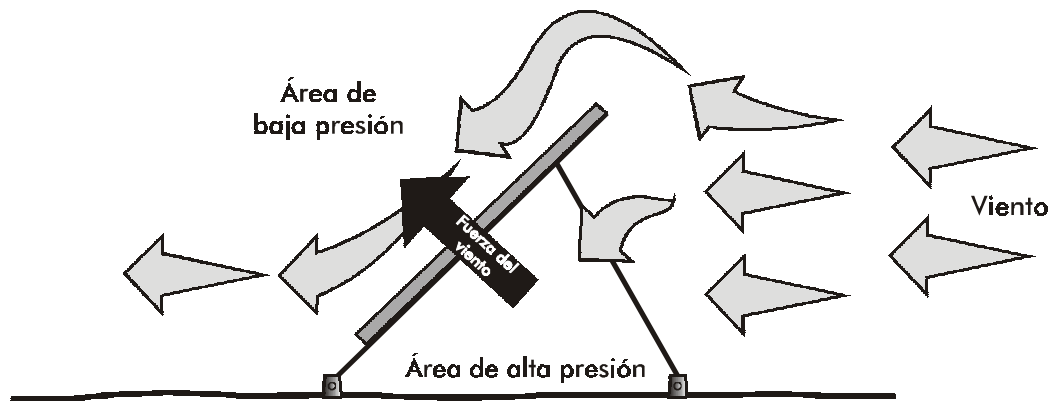
El bastidor que sujeta el panel, la estructura soporte del mismo, y el sistema de sujeción son tan importantes como el propio panel, pues un fallo de estos elementos conlleva la inmediata paralización de la instalación.

A menudo, cuando se proyecta una instalación solar fotovoltaica, toda la atención se centra en el cálculo de los módulos, y se descuida el diseño y/o selección de los elementos que se encargan de soportar o de fijar estos módulos a tierra, al tejado, o a la fachada de un edificio.

Hay que recordar que los módulos fotovoltaicos pesan poco, pero en cambio, ofrecen una gran superficie que oponer al viento y que puede generar esfuerzos. Por tanto, puede suceder que durante una racha de éste, los paneles salgan proyectados desde su ubicación.



Efecto del viento frontal sobre los paneles



Efecto del viento trasero sobre los paneles

Especial atención deberá presentarse a los puntos de apoyo de la estructura. En el supuesto de que ésta sea de tipo mástil es conveniente arriostrarla. Si la base donde descansa es de hormigón, es conveniente reforzarlo en sus extremos mediante tirantes de acero (vientos). En cuanto a los anclajes o empotramientos de la estructura, es común el uso de bloques de hormigón y tornillos roscados.

Tanto la estructura como los soportes habrán de ser preferiblemente de aluminio anodizado, acero inoxidable o hierro galvanizado y la tornillería (tornillos, tuercas arandelas, etc.), de acero inoxidable. El aluminio anodizado es de poco peso y gran resistencia. El acero inoxidable es apropiado para ambientes muy corrosivos, siendo de mayor calidad y período de vida aunque presenta un elevado costo. Las estructuras de hierro galvanizado ofrecen una buena protección frente a los agentes corrosivos externos con la ventaja de que el zinc es compatible químicamente con el mortero de cal y de cemento, una vez que estos están secos. Las estructuras de soporte deben ser capaces de resistir, como mínimo, 10 años de exposición a la intemperie sin corrosión o fatiga apreciables. Las estructuras galvanizadas suelen montarse mediante tornillos. Cuando los tornillos unen metales diferentes, deben incorporarse arandelas de plástico para evitar corrosiones galvánicas.

El REBT especifica que las estructuras de soporte deben conectarse a tierra.

Muchas veces los fabricantes de paneles suministran los elementos necesarios, sueltos o en kits. Otras veces es el propio proyectista o el instalador quien, haciendo uso de perfiles normalizados que se encuentran en el mercado, construye una estructura adecuada para el panel.

## 7.1. Tipos de soportes

Los paneles FVs necesitan ser colocados sobre soportes rígidos, lo que permite mantener el ángulo de inclinación óptimo, aún cuando soplen vientos fuertes o caigan nevadas. Existen tres tipos:

- Soporte fijo.
- Soporte ajustable.
- Soporte automático.

Para elegir el más adecuado debe tenerse en cuenta el costo máximo para el sistema y el incremento porcentual de energía que se obtendría usando alguno de los otros tipos.

La latitud del lugar determina el grado de variación entre la posición del sol al amanecer y cuando alcanza el cenit. Si esta variación es extrema y el bloque generador tiene una gran cantidad de paneles, el diseño debe incorporar el soporte automático. Si, por el contrario, la potencia a generar está por debajo de los 300 a 360 W, un panel ajustable será la solución más económica. Si la variación en la altura del sol es mínima, un panel fijo será suficiente.

Los **soportes fijos** son usados en lugares donde la latitud permite elegir un ángulo de inclinación fijo (latitud más 15°) cuyo valor incrementa las horas de generación durante el invierno, cuando el consumo nocturno aumenta, y disminuye la eficiencia de la insolación durante el verano, cuando los días son más largos.

Las diferencias de diseño y costo entre un soporte fijo y otro **ajustable** son mínimas, y por ello estos últimos son los más usados. En caso de que se utilicen sistemas de seguimiento manual (2 a 3 posiciones por día moviéndose de este a

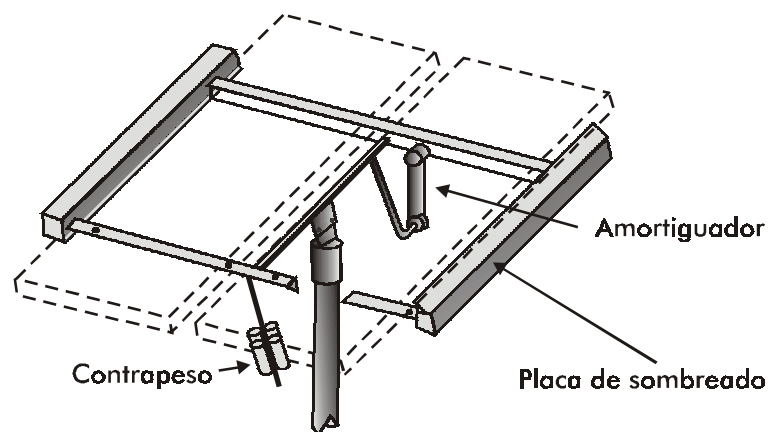
oeste), todos sus componentes deberán satisfacer los requisitos especificados anteriormente para las estructuras de soporte.

Los **soportes automáticos** permiten seguir la trayectoria del sol, durante todo el año, desde el amanecer al atardecer. Existen dos tipos:

- Seguidor automático pasivo (un eje de rotación).
- Seguidor automático activo (uno o dos ejes de rotación).

El **seguidor automático pasivo** recibe este nombre porque su único movimiento, de este a oeste (movimiento azimutal) no consume energía eléctrica. El desplazamiento azimutal se consigue usando el calor del sol, que, como veremos a continuación, altera la distribución del peso entre los lados que miran al este y oeste. Posee dos tanques, uno en el lado este; el otro en el oeste, que están comunicados entre sí. Estos tanques están llenos de una sustancia de bajo punto de ebullición (freón), y tienen placas metálicas que exponen un lado al sol, mientras que, simultáneamente, sombrean al opuesto.

El lado sombreado (frío) conserva al freón en forma líquida. El lado que recibe el calor del sol lo vaporiza. Estos gases se desplazan al lado contrario, donde se condensan, provocando un aumento de peso. El desequilibrio inicia el movimiento azimutal.



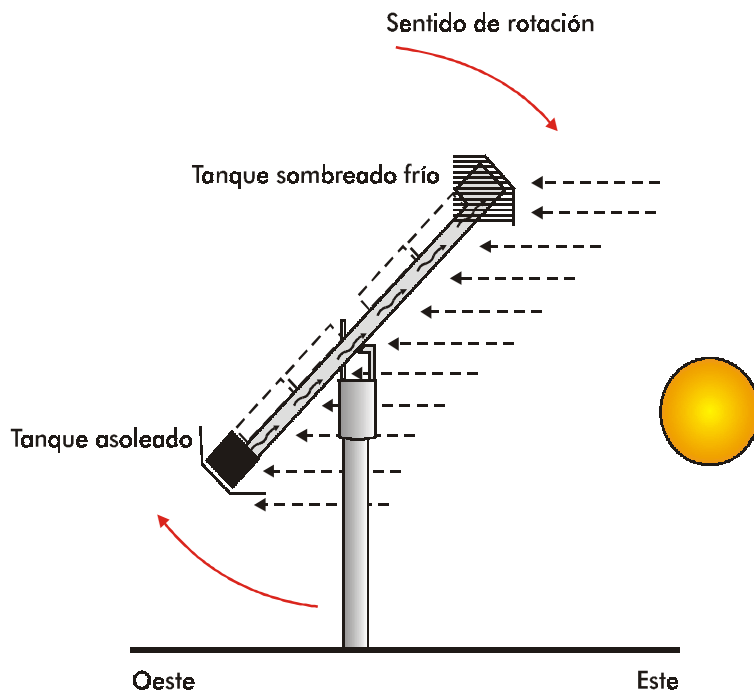
Seguidor automático pasivo

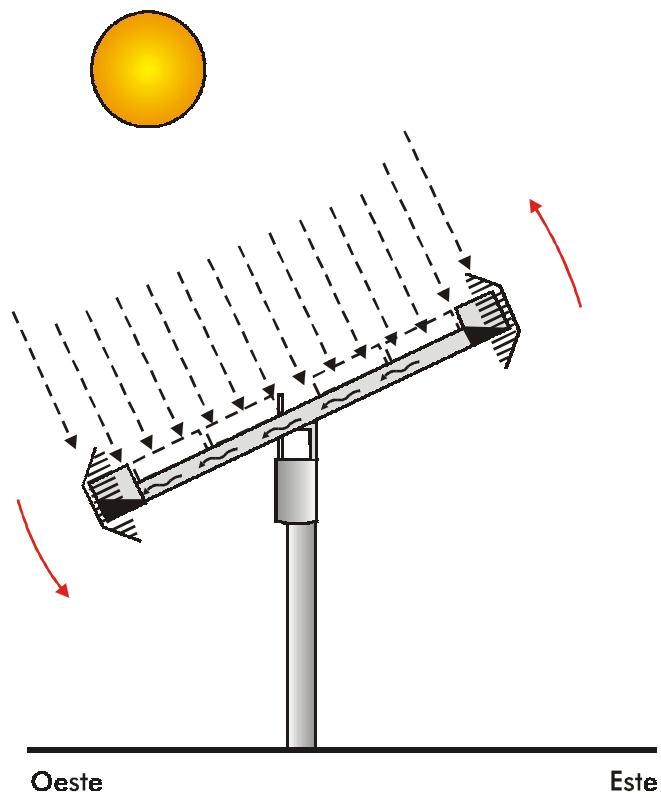
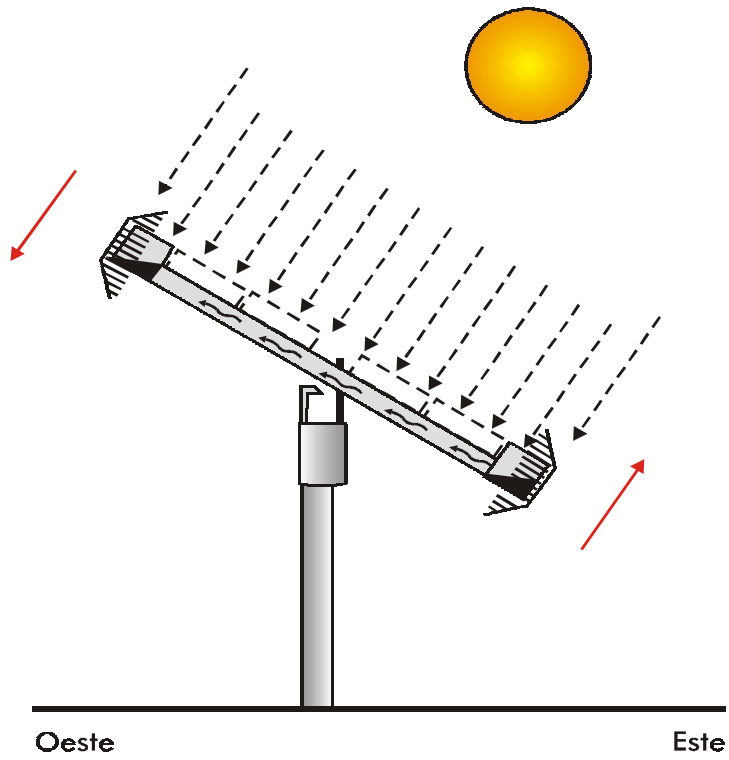
## Energía solar fotovoltaica

### Componentes de un sistema solar fotovoltaico

---

Al comienzo del día, el seguidor tiene la posición que corresponde a la de la noche anterior, y necesita ser "despertado" por el sol saliente para exponer los paneles hacia esa dirección. A partir de ese momento el calor del sol y el sombreado de los tanques permiten que el seguidor siga el movimiento azimutal con relativa precisión. El tiempo de despertado se alarga en climas fríos y para la versión diseñada para vientos fuertes. Estas unidades tienen amortiguadores para minimizar la acción del viento. El ángulo de inclinación se ajusta manualmente.

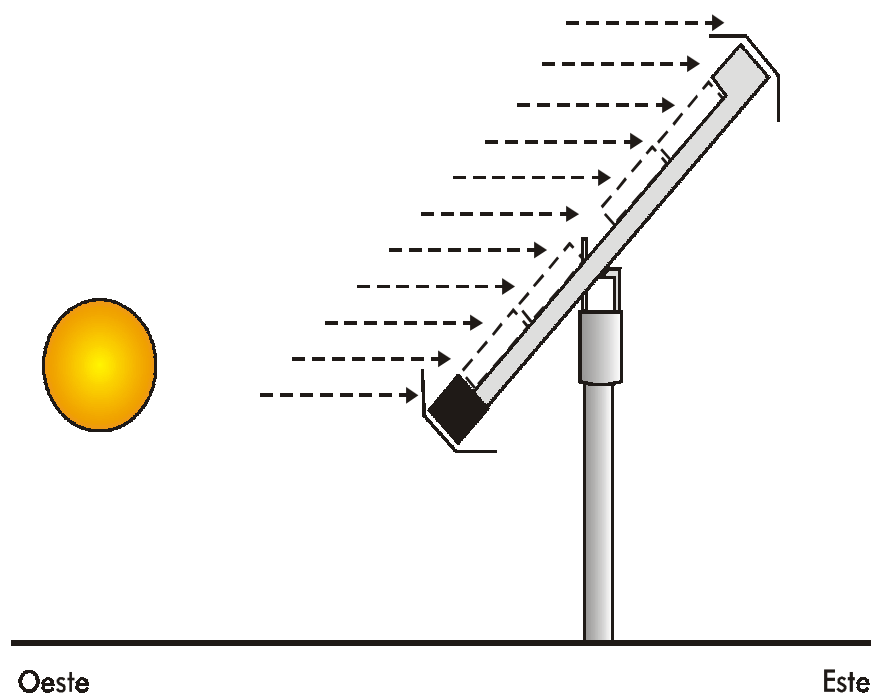




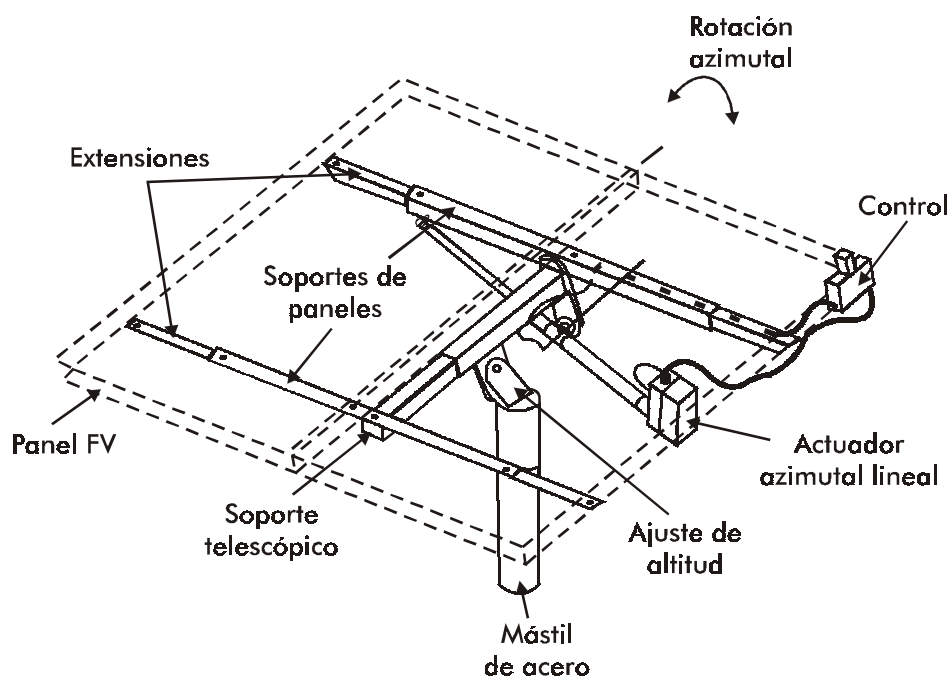
## Energía solar fotovoltaica

### Componentes de un sistema solar fotovoltaico

---



Del **seguidor automático activo** existen dos versiones, seguidor de un eje y seguidor de dos ejes. Algunos modelos son exclusivamente diseñados para seguir el movimiento azimutal y permiten, como en el anterior, un ajuste manual del ángulo de inclinación.



Otros modelos ofrecen la opción de poder incorporar el movimiento de inclinación a posteriori. Por último, los modelos más elaborados incorporan los dos movimientos automáticos.

Esta variedad de modelos permite abaratar los costos cuando no se necesita seguir la altura del sol con precisión. A diferencia del modelo pasivo, los activos utilizan pequeños motores eléctricos (24 V), que están comandados por una unidad de control que actúa respondiendo a la información recogida por el correspondiente sensor. Para llevar a cabo el movimiento toman un mínimo de energía (5 Wh/día), ya sea del banco de baterías, o de los paneles, según el modelo usado.

## **7.2. Consideraciones prácticas**

La incorporación de un seguidor, independientemente del tipo que se use, sólo se justifica si existe la posibilidad de incrementar sustancialmente (10-25%) el valor de energía a generar usando soportes más económicos.

Si un sistema necesita incrementar el valor de la energía a generar adicionando paneles FVs, deberá tenerse en cuenta que este costo puede aplicarse a la adquisición de un seguidor automático.

Las estructuras de soporte estáticas son generalmente preferibles a las de seguimiento.

Por último, si en una explotación agropecuaria se utiliza el bombeo solar de agua, la extensión del tiempo de bombeo justifica el costo de un seguidor de dos ejes, sobre todo en latitudes donde su introducción puede representar un aumento del 25% para la duración del día solar.

## **7.3. Emplazamiento de estructuras**

Cuatro son las formas típicas de colocar un grupo de módulos fotovoltaicos: suelo, mástil, pared y tejado.

#### 7.3.1. Suelo

Es la forma más habitual de montar las instalaciones FV, por su robustez, cuando aumenta el número de paneles colocados.

La mayor preocupación es a menudo la fuerza elevadora que puede ejercer el viento sobre la serie de paneles. A nivel del suelo la acción del viento es menor, y a mayor altura, mayor fuerza ejerce éste. Por eso suelen montarse sobre una base robusta, por lo general pavimentada con hormigón. Además, en esta posición resulta más fácil el montaje tanto de la propia estructura soporte, como de los paneles fotovoltaicos.

La accesibilidad es tanto una ventaja, ya que permite un mantenimiento más cómodo, como un inconveniente, ya que la instalación puede ser objeto de rotura por animales o de actos vandálicos. La mayoría de estas instalaciones se suele proteger con un cerramiento metálico.



Otro inconveniente es la mayor probabilidad de que puedan producirse sombras parciales y también es más susceptible, en zonas donde las nieves son abundantes como son las áreas de montaña, de poder quedar enterrada por éstas, o de sufrir las consecuencias de inundaciones.

### **7.3.2. Mástil**

Es el tipo de montaje típico en alimentación fotovoltaica de equipos de comunicación aislados o farolas. En las instalaciones de repetidores, donde ya se dispone de una antena, ésta puede hacer las veces de mástil.

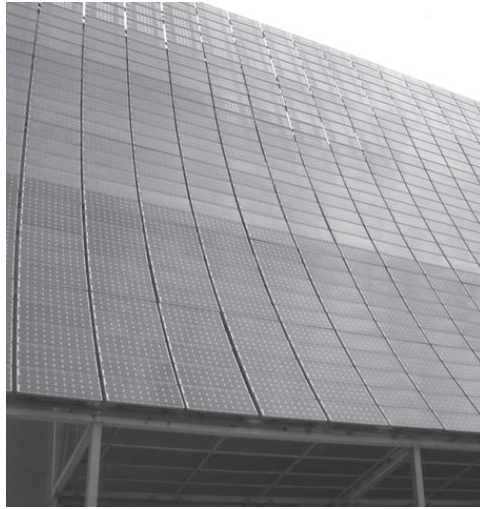
Se usa principalmente en instalaciones donde ya se disponga de mástil, aprovechando éste para la colocación del módulo. La instalación debe ser de pequeñas dimensiones, poco más de 1m<sup>2</sup>, ya que una superficie mayor obligaría a sobredimensionar el mástil e incluso a arriostrarlo, en cuyo caso puede ser más económico y fácil algún otro tipo de montaje.



### **7.3.3. Pared**

Consiste en acoplar la estructura a una de las paredes del recinto. La acción del viento queda drásticamente disminuida.

Si se dispone de buenos puntos de anclaje sobre una edificación ya construida, puede ser ventajosa, debido a la seguridad que proporciona la altura. Este sistema puede montarse mediante tacos de expansión o bien realizando una pequeña obra donde se inserte en la estructura. Debe emplearse una estructura liviana. Cualquier variación presentará problemas accesorios.



#### 7.3.4. Tejado

Es uno de los lugares más empleados para la colocación del sistema generador FV, ya que por lo general, dispone de espacio y, al estar elevados, también presentan menos problemas con las sombras.

Sin embargo, la colocación de la estructura soporte de los paneles afecta a la impermeabilización, por las sujeciones, del techo.

Dependiendo del tejado, puede presentar dificultades para su orientación al sur.

Lo comentado para el caso de la instalación sobre el suelo, respecto a los problemas con la nieve, también cuenta en este caso.



Es importante evitar la fijación del panel sobre (o cerca) de una superficie metálica expuesta de lleno a la luz solar. Se logra normalmente una temperatura de funcionamiento no superior a los 10 °C por encima de la temperatura ambiental. La temperatura de funcionamiento es un factor a tener en cuenta al instalar un panel solar. El rechazo al calor se favorece con una aireación y convección natural.

Es preferible montar los módulos FV sobre mástiles o paredes que hacerlo sobre tejados.