

## **ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA**

### **Naturaleza de la luz**

La luz podría considerarse como un flujo de partículas llamadas fotones, las cuales se comportan como si fueran ondas. Es por ello que la luz se denomina radiación electromagnética al ser una radiación corpuscular (los fotones tiene masa nula) y tener propiedades ondulatorias (reflexión, refracción, absorción, etc.).

Cada fotón se caracteriza por tener cierta energía. Cuanto menor es la longitud de onda, mayor será esa energía. Así, una luz ultravioleta es más energética que una luz roja de la misma intensidad de fotones

Ciertos materiales, tales como los metales alcalinos tienen su último electrón exterior (el electrón de valencia) muy poco ligado al núcleo, pudiéndolo perder con gran facilidad. Si se ilumina un trozo de estos metales, los fotones de la luz tienen suficiente energía para arrancar los electrones. Este fenómeno va a depender de la longitud de onda de la luz incidente y del flujo luminoso, de manera que cuanto menor sea la longitud de onda, los fotones son más energéticos y arrancan con más facilidad los electrones del metal. Por otro lado, cuanto mayor sea el flujo luminoso (número de fotones por segundo y por unidad de superficie) más fotones inciden sobre el metal y por tanto pueden arrancar más electrones del mismo.

### **Introducción**

El término fotovoltaico está constituido por la combinación de dos palabras de procedencia griega: **foto** (luz) y **voltaico** (eléctrico). Con lo que, simplificando al máximo podemos decir que las células fotovoltaicas transforman la energía luminosa en energía eléctrica.

Como material conductor se usa fundamentalmente el silicio en su forma cristalina pura. Mediante un proceso denominado difusión se pueden introducir pequeñas cantidades de otros elementos químicos que permiten disminuir la elevada resistividad inicial del silicio, creándose a la vez zonas con diferentes tipos de carga. Tenemos así dos tipos de semiconductores:

- El tipo N (negativo): cuando la sustancia difusa cede fácilmente electrones, creándose una zona dentro del semiconductor con exceso de cargas negativas.

- El tipo P (positivo): cuando la sustancia difusa atrapa electrones, de forma que los átomos que los pierden quedan cargados positivamente.

El proceso de difusión es continuo, de manera que el mismo material se forman dos zonas semiconductoras adyacentes separadas por una zona de transición (junta de transición). Las cargas mayoritarias de una zona se desplazan hacia la de baja densidad de la zona opuesta, dejando a la zona la junta libre de cargas. Las zonas adyacentes a esta junta tienen concentraciones de cargas minoritarias (cargas negativas en el lado P y cargas positivas en el lado N), lo que hace que se cree una diferencia de voltaje que impide que continúe el desplazamiento; esto es lo que se denomina estado de equilibrio.

Al incidir la luz, el bombardeo de los fotones libera electrones de los átomos de silicio creando dos cargas libres, una positiva y otra negativa, de forma que el equilibrio de la junta se altera. Si al semiconductor se le conectaran unos cables se verificaría la existencia de voltaje.

La intensidad luminosa va a depender de la insolación, de los factores meteorológicos, locación, inclinación de la célula respecto a la horizontal y las variaciones estacionales.

La eficiencia de conversión sería la relación entre la energía eléctrica generada y la energía luminosa utilizada para obtenerla, lo que podríamos expresarla como:

$$\eta = \frac{\text{Energía generada}}{\text{Energía incidente}} \times 100$$

## **1. Componentes de una instalación solar fotovoltaica**

Una instalación solar fotovoltaica consta, por lo general, de cuatro partes o elementos que se detallan a continuación.

### **1.1. Módulo fotovoltaico o panel solar**

Como ya hemos mencionado, el componente fundamental del módulo fotovoltaico es la célula solar o fotovoltaica. Estas células solares están compuestas por materiales semiconductores como el silicio, arseniuro de galio, telurio de cadmio o diseleniuro de indio y cobre. Se emplean estos semiconductores dado que sus átomos son muy sensibles a la energía de los fotones de la radiación solar incidente

cuya longitud de onda está entre 0,35 y 3 micrómetros. A nivel global, aproximadamente el 95% de las células fabricadas son de silicio, principalmente las de silicio monocristalino, silicio policristalino y las de silicio amorfo.

Para la elaboración de células solares, el material utilizado debe ser lo más puro posible, obtenido mediante procesos químicos complejos.

Para conocer el funcionamiento de un módulo fotovoltaico es muy importante tener presente que éstos están formados por asociaciones de células. Esta asociación puede ser en serie o en serie-paralelo. Al conectar en serie las células, se suman las tensiones de cada célula y se mantiene la corriente, mientras que al conectar en paralelo las células, se suman las corrientes de cada una de ellas y se mantiene la tensión. De esta forma, el comportamiento eléctrico del módulo obedece al comportamiento que tenga cada una de las células que lo conforma y de cómo estén asociadas.

Como las instalaciones fotovoltaicas utilizan con frecuencia baterías y éstas suelen tener una tensión múltiplo de 12 V, es necesario que los módulos puedan alcanzar fácilmente esta tensión para poder cargar las baterías. Para lograr que un módulo cargue la batería de, por ejemplo, 12 V, para cualquier condición de temperatura e irradiancia, es imprescindible la asociación en serie de entre 33 y 36 células. Este es la razón por el cual la mayoría de los módulos estándar de silicio cristalino están constituidos por la asociación de uno, dos o tres ramales de 36 células asociadas en serie. Asimismo, estos ramales se pueden conectar en serie o en paralelo.

Por otro lado, cuando la forma geométrica de la células 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, lo que permite fabricar un panel de menor tamaño, minimizando la superficie requerida para satisfacer la carga del sistema y reduciendo la superficie expuesta al viento.

Para proteger las celdas éstas se adhieren a una superficie de sostén formando una estructura "sándwich", con dos capas plásticas de protección, una en la parte superior (translúcida y con protección a los rayos ultravioleta) y otra en la parte inferior. El frente del panel (la zona expuesta a la luz solar) tiene un vidrio templado que protege a las celdas de las inclemencias meteorológicas. La parte posterior tiene una capa dieléctrica aisladora y una cubierta de protección. Finalmente, un marco de aluminio sirve para dar rigidez y protección mecánica al conjunto.

## 1.2. Baterías

La batería es un elemento donde se almacena la energía eléctrica para su posterior uso.

Por un lado, La energía eléctrica generada por una instalación fotovoltaica depende de la radiación incidente y ésta es muy variante. Por otro lado, la demanda de energía suele ser muy variable, e igualmente, está relacionada con la radiación solar en la mayoría de casos y es inversamente proporcional a la cantidad de radiación solar que se está produciendo en un determinado momento. Por ello es indispensable disponer de algún tipo de almacenamiento energético intermedio que posibilite ajustar temporalmente la oferta a la demanda energética.

Las baterías utilizadas en instalaciones fotovoltaicas se diferencian de las usadas en automóviles en:

- Son estacionarios, no estando sometidas a movimientos ni vibraciones, de manera que su vida útil es mayor.
- Tienen una carga suave y una descarga moderada (se las denomina, por ello batería de ciclo profundo)
- Tienen mayor capacidad de almacenamiento.
- Han de tener una autodescarga interna muy reducida.

Las baterías más usadas son las de plomo. Estas baterías son las que poseen una relación entre su coste y prestaciones mejor.

### Estructura y principio de funcionamiento de baterías de plomo

Las baterías de plomo constan de vasos de 2V conectados en serie. Cuando se requiere una batería de una capacidad pequeña, los vasos se venden conectados en serie y formando un único bloque, se denominan *baterías monoblock*. No obstante, en instalaciones fotovoltaicas, normalmente, se necesita mayor capacidad y por ello se venden los vasos de forma individual.

Un vaso de una batería de plomo se basa en un recipiente lleno de electrolito líquido que es ácido sulfúrico diluido, en el que se introducen dos placas con

diferente polaridad (una positiva y otra negativa). Las placas consisten en una lámina base de plomo con forma reticular y un material activo poroso. Este material poroso posee una estructura esponjosa, con suficiente superficie como para que se produzca la reacción electroquímica. En función del estado de carga, la masa activa se encuentra en el electrodo negativo de plomo (Pb) o en el positivo de óxido de plomo ( $\text{PbO}_2$ ). Para aislar eléctricamente los electrodos positivo y negativo se emplean unas láminas que se denominan separadores.

Cuando la batería suministra corriente, ésta circula desde el electrodo negativo al positivo. En este caso, en la superficie de las placas se produce sulfato de plomo ( $\text{PbSO}_4$ ), reduciendo la densidad del electrolito.

En el proceso de carga, la corriente circula desde el polo positivo hasta el negativo, aumentando la densidad del electrolito y la tensión de la batería. En este proceso la reacción química tiene lugar en el sentido contrario al proceso de descarga.

Este proceso de carga-descarga, denominado ciclo, no es completamente reversible por lo que el material de las placas se va deteriorando mediante la pérdida de pequeñas cantidades de sulfato de plomo (sulfatación) y por ello va sufriendo una pequeña disminución de su capacidad. Esta pérdida de capacidad aumenta cuanto mayor es la profundidad de descarga.

La duración de la batería se define como el tiempo durante el cual la capacidad se mantenga por encima del 80% de su capacidad original. A partir de este tiempo, la batería puede seguir utilizándose, pero la capacidad disponible disminuye progresivamente y aumenta el riesgo de fallos repentinos, sobre todo por cortocircuitos.

### *Tipos de baterías de plomo*

Dentro del grupo de las baterías estacionarias, se pueden encontrar varios tipos de baterías. En instalaciones fotovoltaicas se emplean normalmente baterías de plomo con placas de rejilla con electrolitos líquidos (las denominadas baterías solares o baterías de arranque modificadas), baterías de plomo gel, baterías de placas positivas tubulares y las baterías monoblocks en el caso de pequeñas instalaciones.

#### **a) Baterías de plomo con placas de rejilla con electrolitos líquidos**

Este tipo es similar a las de arranque pero modificadas. Tanto el electrodo positivo como el negativo son placas de rejilla. Como el material activo se puede ubicar

sobre la rejilla de forma sencilla, la fabricación de estas baterías suelen ser de menor coste que la de otros tipos.

Las baterías de arranque utilizadas en automoción están formadas por un gran número de placas relativamente delgadas, que ofrecen una gran cantidad de superficie activa. De esta forma se puede obtener una elevada corriente en poco tiempo de arranque. Sin embargo, estas baterías de arranque cuando se descargan por encima del 50% duran muy poco tiempo. Para que aumentara la duración de la batería sería necesario incorporar un regulador que limite la profundidad de descarga al 10%. No obstante, con esta opción sería necesario dimensionar la batería con mucha mayor capacidad.

Las baterías de plomo de este tipo, que se utilizan en aplicaciones fotovoltaicas tienen unas placas más resistentes debido a que se refuerzan con antimonio. Además el electrolito contiene una menor cantidad de ácido con lo que se minimiza la autocorrosión y se prolonga su duración.

La capacidad de una batería depende tanto de la corriente con la que se descarga como de la temperatura. Con una disminución de la temperatura se reduce la capacidad y al aumentar la temperatura la capacidad se incrementa. Con un cambio de temperatura de, por ejemplo, de 20º C a 0º C, la disminución de la capacidad es de un 25%.

## **b) La batería de gel**

Otro tipo de batería estacionaria son las que sustituyen el ácido sulfúrico diluido por un gel. Las ventajas más significativas son

- Ninguna estratificación del electrolito, baja sulfatación
- Libre mantenimiento, durante su vida no debe llenarse ningún electrolito.
- Sin gasificación, por lo que no requiere mucha ventilación.
- Carcasa hermética, lo que le proporciona cierta independencia en cuanto a la ubicación (uso en náutica, caravanas, etc.).
- Alta resistencia de los ciclos.

Sin embargo, el principal inconveniente que presenta es que el rendimiento de carga de la batería a través de módulos fotovoltaicos es muy bajo dado que necesita una corriente de carga muy estabilizada y con un generador fotovoltaico esto no es factible.

Las baterías de gel no necesitan mantenimiento ya que no precisan tapones por no requerir agua. Son baterías blindadas con válvulas de seguridad que sirven para que se pueda evacuar el gas en caso de sobrecarga.

Debido al cierre hermético, el estado de carga no se puede determinar mediante la medida de la densidad del gel. Por lo que el estado de carga se precisará midiendo la tensión en bornas.

Las baterías de gel, en comparación con las de plomo de rejilla con electrolitos líquidos, presentan una mayor duración, pero su precio es mayor. Por lo general, no se utilizan en instalaciones fotovoltaicas.

### **c) Batería de plomo de placa positiva tubular**

Dentro de las baterías estacionarias se incluyen las baterías de plomo de placa positiva tubular, y estas a su vez se dividen en dos tipos. Las de tipo OpzS (Placa tubular estacionaria especial) con electrolitos líquidos y separadores especiales o como baterías del tipo OpzV (Placa blindada cerrada) con gel como electrolito.

Son mejores que las de placa de rejilla ya que durabilidad es mayor aunque son un poco más caras. El tipo OpzS es el que más se suele emplear en instalaciones fotovoltaicas.

La placa positiva tubular está compuesta por barras de plomo sobre las cuales está el material activo que posibilita la reacción química con una cubierta de protección que las protege de las impurezas exteriores (caídas de pequeños trozos de material activo). Las placas tubulares son muy estables por lo que la batería tiene una alta durabilidad.

En las baterías del tipo OpzS es indispensable mantener el nivel del electrolito, a diferencia de las baterías del tipo OpzV en las que no se necesita mantenimiento.

### **d) Las baterías en bloque con placas de varillas**

Otro tipo de batería estacionaria son las que tienen las placas positivas de varilla pero formando un bloque... Estas baterías tienen electrolito líquido. Las varillas están envueltas por el material activo y todo el conjunto está bajo la cubierta de protección. Estas placas son más fáciles y más baratas de fabricar que la placa tubular, sin embargo su durabilidad está entre las de placas de rejillas sin cubiertas de protección y las de placas tubulares. Las placas negativas son todas de rejilla.

Este tipo de baterías es muy adecuado para instalaciones fotovoltaicas.

### **1.3. Reguladores**

El regulador de tensión es un equipo electrónico que sirve para proteger a la batería ante sobrecargas y descargas profundas favoreciendo su durabilidad.

Pueden ser del tipo serie y del tipo shunt o paralelo. La vida de la batería depende esencialmente de la buena elección del regulador.

En general se debe optar por un regulador cuyos niveles de tensión estén bien ajustados a la batería que debe proteger, es decir, los límites de carga y de descarga que dependerán del tipo de batería, proceso de carga y descarga, temperatura, envejecimiento, etc.

Los reguladores suelen incorporar un termómetro, que proporciona la temperatura ambiental o de la batería. Normalmente el regulador se localiza muy próximo a la batería con lo que se pueden estimar la temperatura de la batería en función de la temperatura ambiente.

Así pues, las funciones básicas de un regulador son:

- Carga óptima de las baterías.
- Protección frente a descargas excesivas.
- Evitar una descarga completa.
- Protección de la profundidad de descarga.
- Protección frente a sobrecargas.
- Información sobre el estado de carga.

Por la noche, al ser los niveles de irradiación nulos, la tensión del generador fotovoltaico se reduce, de forma que la batería se descarga a través del generador. Para impedir esto, se suele colocar un diodo a contracorriente, que por lo general se integra en el regulador.

El regulador suelen incorporar un display donde refleja las magnitudes eléctricas más importantes como el estado de carga, la tensión de la batería, la corriente de carga, etc.

Los reguladores, cuando deben controlar la carga y la descarga de la batería se seleccionan de tal forma que tengan poder de corte suficiente para controlar los

dos procesos. Los más habituales oscilan entre los 5 y los 50 A para tensiones de 12 y 24 V. Cuando la instalación es considerable se puede optar por varios reguladores en paralelo o por controlar la descarga desde el inversor, encargándose el regulador sólo de la carga.

El regulador tiene la opción de precisar el estado de carga de la batería y puede adaptarse en función de la capacidad disponible, envejecimiento y la temperatura de la batería. Asimismo se consigue una buena carga de la batería mediante una modulación en pulsos de la corriente de carga.

#### a) Regulador serie

El regulador serie interrumpe por medio de un relé o un semiconductor de potencia S1 la corriente entre el módulo y la batería cuando se llega a la tensión límite de carga, y se vuelve a conectar cuando disminuye la tensión de la batería.

#### b) Regulador Shunt (paralelo)

El regulador shunt sólo permite pasar una cantidad de corriente que evite la autodescarga y el resto se consume como corriente de cortocircuito en el módulo, transformándose en calor. La corriente de cortocircuito se puede consumir en los módulos sin problema y únicamente genera un leve calentamiento adicional. Para las baterías este control es mejor que el anterior.

### **1.4. Inversor**

El inversor es un dispositivo electrónico de potencia cuya función es transformar la corriente continua en corriente alterna, además de ajustarla en frecuencia y en tensión eficaz para su consumo.

Existen dos grandes grupos de inversores, los que se utilizan para instalaciones conectadas a la red y los que se destinan a instalaciones fotovoltaicas aisladas.

#### **a) Inversores de conexión a red**

La salida del inversor está conectada directamente a la red de distribución de la compañía, sin pasar por los equipos de consumo de la vivienda, estando prohibida la instalación de baterías por la legislación vigente.

En España, el Real Decreto 1663/00, advierte que si la potencia nominal del inversor o suma de inversores es menor o igual a 5 kW, la conexión con la red de distribución debe ser monofásica, cuando es superior, es obligatorio realizarla en forma trifásica. La conexión trifásica se puede efectuar con tan solo inversor con salida trifásica o con tres inversores monofásicos conectados en paralelo.

Con el propósito de suministrar el máximo de potencia inyectada a la red de distribución de la compañía, el inversor debe hacer trabajar al generador fotovoltaico en el punto de máxima potencia. El punto de máxima potencia dependiendo de las condiciones climatológicas puede variar. El inversor logra que el generador funcione en el punto de máxima potencia (en inglés: MPP-Tracker) que consiste fundamentalmente en un convertidor de corriente continua-corriente continua. Éste se conecta delante del propio inversor y ajusta la tensión de entrada del inversor a la tensión del punto de máxima potencia del generador.

Las funciones del inversor serían, por tanto:

- Transformación de la corriente y tensión continua producida en el generador fotovoltaico en una corriente y tensión alterna en función de las condiciones de la red.
- Ajuste del punto de trabajo del inversor al punto de máxima potencia del generador fotovoltaico.
- Recogida de datos y señalización.
- Elementos de seguridad en la parte de corriente continua alterna.

Según el principio de funcionamiento, los inversores de conexión a red se clasifican en:

### ***Inversores guiados por la red***

Estos inversores se utilizan convencionalmente en automatización (técnicas de impulsión, movimiento de motores...). Fundamentalmente se emplean en grandes plantas fotovoltaicas.

### ***Inversores autoguiados***

Se utiliza como principio básico un puente de materiales semiconductores que se pueden conectar o desconectar.

Los inversores autoguiados van dirigidos a instalaciones fotovoltaicas aisladas. Para conexión a red, el inversor debe sincronizar la frecuencia de la corriente inyectada con la frecuencia de la red. El intervalo de conexión del puente se desarrolla a la frecuencia de la red.

### **b) Inversores aislados**

En una instalación fotovoltaica aislada, la energía, frecuentemente se almacena en las baterías y se pueden alimentar directamente muchos consumos en corriente continua. En el caso de conectar aparatos que funcionen en corriente alterna es necesario instalar un inversor que transforme la corriente continua a alterna.

Debe cumplir los siguientes requisitos:

- Posibilidad de suministrar una corriente alterna con forma senoidal a tensión y una frecuencia estable.
- Compatibilidad electromagnética
- Autoprotección contra sobrecargas, cortocircuitos y cambio de polaridad.
- Arranque automático con bajo autoconsumo en stand-by.
- Compatibilidad electromagnética.
- Poca existencia de armónicos superiores.

Se diferencian en el tipo de onda a la salida, unos son de tipo senoidal y otros son semisenoidal, e incluso cuadrada o trapezoidal.

#### ***Inversor senoidal***

Poseen una forma de señal a la salida senoidal. Los inversores trabajan conforme al principio de modelado del ancho de pulso. Son los indicados para trabajar con aparatos electrónicos sensibles. Presentan el inconveniente de ser más caros frente a los inversores semisenoidales o de onda cuadrada.

#### ***Inversor semisenoidal***

Son los más extendidos en su uso debido a su menor coste. Dividen la corriente alterna de 50 Hz con características rectangulares y, por medio de un transformador, transforma la tensión a 230V.

No son aconsejables para aparatos electrónicos delicados (TV, PC, HIFI). Estos inversores destacan por su resistencia a sobrecargas como sucede en el arranque de motores.

## **2. Instalaciones y tipos de sistemas solares fotovoltaicos**

Se dividen en dos grandes grupos en función del objetivo de las mismas. Por un lado están las instalaciones aisladas de la red, cuya finalidad es satisfacer total o parcialmente la demanda de energía eléctrica en un lugar determinado donde no existe red eléctrica convencional y, por otro lado, están las instalaciones fotovoltaicas generadoras interconectadas o de conexión de red, que tienen como fin inyectar la energía a la red eléctrica convencional.

Asimismo, las instalaciones aisladas se dividen, en función de los equipos intermedios que forman parte de la instalación, en instalaciones aisladas sin baterías e instalaciones aisladas con baterías. Entre las instalaciones aisladas sin batería, la aplicación más habitual es el bombeo de agua y entre las instalaciones aisladas con batería, las aplicaciones más usuales son telecomunicaciones, electrificación rural, señalizaciones, alumbrado público, etc. Si en el lugar de las instalaciones aisladas de la red se utiliza, además de una instalación fotovoltaica, otro sistema complementario de producción de energía eléctrica la instalación se denomina mixta.

Teniendo presente si el consumo se efectúa todo en corriente continua, todo en corriente alterna o parte en corriente continua y parte en corriente alterna, se consiguen varias configuraciones dentro de la clasificación anterior.

### **2.1. Instalaciones aisladas**

Como hemos comentado, se emplean fundamentalmente en lugares donde no se tiene acceso a la red eléctrica y es más económico instalar un sistema fotovoltaico que tender una línea entre la red y el punto de consumo. Evidentemente, como los paneles sólo producen energía en las horas de sol, es necesario un sistema de acumulación para poder utilizar la energía cuando no se esté generando.

La cantidad de energía que se necesita acumular se calcula en función de las condiciones climáticas y el consumo de electricidad, de manera que en una zona donde haya muchos días soleados a año habrá que acumular poca energía.

Por tanto, la cantidad de luz que se necesita acumular se calculará teniendo en cuenta:

- La demanda energética en los meses más desfavorables
- Las condiciones técnicas óptimas de orientación e inclinación, dependiendo del lugar de la instalación

## ELEMENTOS

Estos sistemas fotovoltaicos constan de los siguientes elementos:

- **Generador fotovoltaico:** transforma la energía solar en energía eléctrica y carga las baterías.
- **Regulador de carga:** controla la carga de la batería evitando que se produzcan sobrecargas o descargas excesivas que disminuyen la vida útil del acumulador. Asimismo puede incorporar también un sistema de seguimiento del punto de máxima potencia, lo que aumenta el rendimiento de la instalación.
- **Sistema de acumulación o baterías:** acumulan la energía entregada por los paneles. Cuando ocurre consumo la electricidad la proporciona directamente la batería y no los paneles.
- **Ondulador:** la corriente que proporciona la batería es corriente continua y la mayoría de los electrodomésticos que se comercializan, funcionan con corriente alterna, por lo que es necesario usar onduladores para convertirla en corriente alterna.

## MANTENIMIENTO

Se estima que el generador fotovoltaico tiene una vida útil superior a 30 años y aunque nunca dejan de producir electricidad, su rendimiento puede disminuir con el tiempo. Las baterías, con el mantenimiento adecuado, pueden tener una vida útil de 10 años.

Las operaciones de mantenimiento son:

- Los paneles que forman el generador apenas requieren mantenimiento, sólo limpiarlos con algún producto no abrasivo cuando se detecte suciedad.
- El regulador de carga no requiere mantenimiento pero si que debe ser revisado periódicamente.
- En las baterías hay que revisar que el nivel de agua del electrolito esté dentro de unos límites adecuados. Lo recomendable es revisar el nivel mensualmente en todos sus elementos y mantener los bornes de conexión libres de sulfato. Un dato fiable que sirve para avisar de posibles averías es la medida de densidad del electrolito.
- En el ondulator tan sólo es necesario revisar su buen funcionamiento.

## APLICACIONES

- Aplicaciones espaciales.
- Calculadores, relojes...
- Telecomunicaciones: se trata de equipos de telecomunicaciones situados en zonas de difícil acceso, alejados de la red eléctrica. Por ejemplo, repetidores de televisión, equipos de radio, antenas de telefonía móvil, etc...
- Señalización: balizamiento de aeropuertos, señalización de carreteras y puertos, etc...
- Bombeo: al encontrarse los pozos alejados de la red eléctrica, el bombeo con energía fotovoltaica es una solución muy interesante. En estos sistemas, el almacenamiento de energía suele ser en forma de energía potencial, bombeando el agua de depósitos elevados.
- Zonas protegidas: En parajes naturales, donde por motivos de protección ambiental es recomendable no instalar tendidos eléctricos aéreos, puede ser más rentable utilizar sistemas fotovoltaicos en lugar de tendidos subterráneos o grupos electrógenos que usan combustibles fósiles.
- Electrificación de viviendas aisladas.

- Alumbrado de calles y carreteras: ofrecen la posibilidad de usar sistemas de iluminación autónomos de fácil instalación y mínima obra civil.
- Sistemas centralizados para poblaciones rurales aisladas.

## **2.2. Instalaciones mixtas**

Algunas ocasiones, en zonas alejadas de la red eléctrica, debido a la demanda de energía y en función de la aplicación, se suelen complementar la instalación fotovoltaica con otro tipo de suministro como grupos electrógenos o aerogeneradores, que permiten cubrir toda la demanda cuando se ocasionan picos en ésta. A estas instalaciones se les denomina instalaciones mixtas.

## **2.3. Instalaciones de conexión a red o generadoras interconectas**

Las instalaciones generadoras interconectadas (denominadas de conexión a red), tienen como particularidad que toda la energía generada se vende a la red de distribución de una compañía eléctrica y no es para autoconsumo del dueño de la instalación. Está compuesta por módulos fotovoltaicos, inversores específicos, protecciones y contadores de energía.

Además de producir energía, estas instalaciones, en ocasiones se integran en los edificios de forma que los módulos se comportan como aislamiento térmico, acústico y de cerramiento. Como los módulos fotovoltaicos pueden ser diseñados con tamaños, colores y formas muy diferentes, es un reto para los arquitectos su integración en la edificación, obteniendo en la mayoría de los casos, resultados muy buenos y sorprendentes.

Dentro de las instalaciones de conexión a red, se denominan plantas fotovoltaicas a las instalaciones que tienen como único propósito la venta de energía, suelen ser de gran tamaño ( $> 100 \text{ kW}_p$ ) y dispuestas sobre el terreno, no asociadas a ningún tipo de edificio o estructura.

En los últimos años y como consecuencia del desarrollo del marco legislativo y tarifario relativo a las instalaciones de conexión a red, en España se está teniendo lugar un incremento considerable de las instalaciones de conexión a red.

Para que estas instalaciones sean técnicamente viables es necesario:

- Existencia de una línea de distribución cercana con capacidad para admitir la energía producida por la instalación fotovoltaica.
- Determinación, con la compañía distribuidora del punto de conexión.
- Proyectar un sistema que incluya equipos de generación y transformación de primera calidad, con las protecciones establecidas y debidamente verificados y garantizados por los fabricantes, de acuerdo a la legislación vigente.
- Instalación realizada por un instalador especializado.

En las instalaciones conectadas a red, el tamaño de la instalación no depende del consumo de electricidad de la vivienda o edificio. Para dimensionar la instalación es necesario conocer la inversión inicial, el espacio disponible y la rentabilidad que se quiere obtener.

Hay que destacar que el consumo de electricidad es independiente de la energía generada por los paneles fotovoltaicos. El usuario sigue comprando la electricidad que consume a la distribuidora al precio establecido y además es propietario de una instalación generadora de electricidad que puede facturar los kWh producidos a un precio superior.

### ELEMENTOS

- **Generador fotovoltaico:** transforma la energía del sol en energía eléctrica, que se envía a la red.
- **Cuadro de protecciones:** Contiene alarmas, desconectadores, protecciones diversas, etc.
- **Ondulador:** transforma la corriente continua producida por los paneles en corriente alterna de las mismas características que la de la red eléctrica.
- **Contadores:** un contador principal mide la energía producida (kWh) y enviada a la red para que pueda ser facturada a la compañía a los precios

autorizados. Un contador secundario mide los pequeños consumos de los equipos fotovoltaicos (kWh) para descontarlos de la energía producida.

## MANTENIMIENTO

El mantenimiento se reduce a la limpieza de los paneles, cuando se detecte suciedad y a la comprobación visual del funcionamiento del ondulator. La vida media de la instalación puede estimarse en superior a treinta años.

## APLICACIONES

- **Tejados de viviendas:** sistemas modulares de fácil instalación donde se aprovecha la superficie del tejado existente para sobreponer los módulos fotovoltaicos. Una instalación de unos 3 kWp que ocupa cerca de 30 m<sup>2</sup> de tejado inyectaría a la red tanta energía como la consumida por la vivienda a lo largo del año.
- **Plantas de producción:** son aplicaciones de carácter industrial que pueden instalarse en zonas rurales no aprovechadas para otros usos o sobrepuestas en grandes cubiertas de áreas urbanas (aparcamientos, zonas comerciales, áreas deportivas, etc.). Para aumentar la capacidad de producción se suelen utilizar sistemas de seguimiento del sol.
- **Integración en edificios:** sustitución de elementos arquitectónicos convencionales por nuevos elementos arquitectónicos que incluyen elementos fotovoltaicos, y que por lo tanto generan energía. Es importante cuidar la incorporación de los sistemas fotovoltaicos al entorno.  
Destacamos:
  - ↗ Recubrimiento de fachadas
  - ↗ Muros cortina
  - ↗ Parasoles en fachada
  - ↗ Pérgolas
  - ↗ Cubiertas planas acristaladas
  - ↗ Lucernarios en cubiertas
  - ↗ Lamas en ventanas
  - ↗ Tejas

### **3. Viabilidad de las instalaciones solares fotovoltaicas**

Para comenzar la planificación de una instalación fotovoltaica y poder realizar un diseño de la misma, hay que hacer una visita previa al lugar.

Una primera visita meticulosa ahorra bastante trabajo y fallos en la planificación y en los cálculos, tanto para la elaboración de la oferta como para el diseño de la instalación. Mediante esta visita se puede conocer la probable ubicación de los componentes como módulos, inversor, baterías y/o regulador, así como las líneas de conexionado, y si la instalación es de conexión a red de distribución, también verificamos la posible ubicación de los contadores. Mediante la visita (si se trata de una instalación aislada), es conveniente conocer los equipos de consumo que se van a alimentar mediante la instalación fotovoltaica, sobre todo su potencia e idoneidad para conectarlo a la instalación y, de acuerdo con el cliente, las horas de funcionamiento de cada uno de ellos.

Una vez conocido el lugar, se puede realizar una memoria técnica previa con un presupuesto de instalación y presentarlo, siempre que sea posible, a algún programa de financiación donde poder obtener subvención. Si fueran necesarios trabajos auxiliares específicos de albañilería, se podrá solicitar una oferta a un especialista.

Para el cálculo de la prima, hay que remitirse al RD 661/2007 del 26 de Mayo, en el que se establece que una instalación fotovoltaica cobrará una cantidad fija por KWh. producido, aumentando dicha cantidad con el valor del IPC menos 25 puntos básicos. Según el artículo 35 del mencionado Decreto, el cuadro retributivo queda fijado de la siguiente forma:

Una vez conocido el lugar, se puede realizar una memoria técnica previa con un presupuesto de instalación y presentarlo, siempre que sea posible, a algún programa de financiación donde poder obtener subvención. Si fueran necesarios trabajos auxiliares específicos de albañilería, se podrá solicitar una oferta a un especialista.

Para el cálculo de la prima, hay que remitirse al RD 661/2007 del 26 de Mayo, en el que se establece que una instalación fotovoltaica cobrará una cantidad fija por KWh. producido, aumentando dicha cantidad con el valor del IPC menos 25 puntos básicos.

La proyección de sombras sobre una instalación fotovoltaica influye mucho más sobre la producción solar que en las instalaciones solares térmicas. A título orientativo, en una instalación solar térmica un sombreado de un 30% conlleva un descenso en la producción de energía del orden del 30%, mientras que un sombreado del 30% en una instalación fotovoltaica produce una disminución de energía mucho mayor del 30% alcanzando, si no se ponen las medidas apropiadas, incluso hasta el 80-90%.

#### **4.1. Instalaciones conectadas a red**

Las distancias entre el generador fotovoltaico, inversor y contadores deben ser lo más cortas posibles para minimizar los costes y las pérdidas de energía en el cableado, y especialmente, cuando las tensiones de funcionamiento de la instalación son bajas.

Es aconsejable que el inversor esté situado en el interior, en un lugar lo protegido de las condiciones ambientales adversas como la lluvia, radiación solar directa, temperaturas extremas, humedad, etc., así como evitar el acceso de las personas no autorizadas. Cuando esto no sea posible, existen en el mercado inversores acondicionados para trabajar a la intemperie, al que se le debe exigir un grado de protección mínimo de IP 65.

Las protecciones a la salida del inversor así como los contadores, deben estar en un lugar de fácil acceso para que el personal de la compañía distribuidora pueda leer los contadores y accionar las protecciones en caso de emergencia.

#### **VIABILIDAD ECONÓMICA**

El coste total de una instalación solar fotovoltaica engloba los costes de realización de los documentos técnico-administrativos, como trámites y proyecto, los materiales y la mano de obra. Para conocer con detalle estos costes es básico conocer el tipo de célula a utilizar, el tipo de módulo a emplear, al igual que otros componentes y en particular el inversor, si es estándar o especial la dificultad del montaje, así como la cantidad de cable que habrá que utilizar hasta llegar a la red general.

Como orientación, el coste medio de una instalación fotovoltaica conectada a red, con módulos comerciales de silicio monocristalino, montaje sencillo y de una

potencia de 3 kWp, oscila entre 6-7€/Wp. A medida que se incrementa la potencia de este tipo de instalaciones, el coste por Wp instalado se reduce hasta aproximadamente 4-5€/Wp en grandes plantas fotovoltaicas.

#### 4.2. Instalaciones aisladas de la red

Hay que tener en cuenta las características particulares de este tipo de instalaciones.

En principio, la radiación solar que incida sobre los módulos fotovoltaicos en un día futuro no se conoce con certeza. Se pronostican estimaciones aproximadas en valores medios y, sin embargo, cuando se refieren a un día concreto los errores de las estimaciones pueden ser considerables. Los datos de radiación que se manejan son estimaciones que se refieren normalmente a valores diarios medios mensuales, donde los errores son menores.

Otro factor significativo de aleatoriedad se encuentra en el perfil de consumo de energía. En general, el usuario no puede conocer con exactitud la energía que va a necesitar un día determinado. Una elevada precisión sólo se da en instalaciones de comunicaciones o señalización donde el consumo si puede ser conocido a priori con precisión.

Hay que mencionar que no se podrá consumir más energía que la producida y/o almacenada por la instalación fotovoltaica y, por lo que, el éxito final de la instalación va a depender de como el usuario sepa administrar la energía disponible, que será variable a lo largo del año.

#### 4.3. Plantas fotovoltaicas

Cuando lo que se desea realizar instalaciones de gran magnitud con la única intención de producir energía y sin ningún tipo de integración en la edificación, la solución más viable es ubicar el generador fotovoltaico sobre el suelo. En este caso, se puede optar por varias opciones de situar el generador fotovoltaico en función de que la estructura soporte sea fija o disponga de movimiento.

Hay que tener en cuenta las siguientes precauciones:

- Evitar el **sombreado** por nieve o hierba del suelo
- Evitar el **sombreado** entre filas de módulos

- La estructura debe estar calculada para soportar tanto las cargas de su peso como las generadas por el viento y la nieve.

### GENERADOR FOTOVOLTAICO FIJO TODO EL AÑO

Esta opción es la más utilizada en la mayoría de las instalaciones, debido a las siguientes ventajas:

- Menor coste de su estructura.
- Disminuyen **las** posibilidades de avería, ya que no hay existen partes móviles.
- No **requiere** mantenimiento.

#### *Orientación e inclinación*

La orientación del generador fotovoltaico óptima es la Sur cuando la ubicación se encuentra en el Hemisferio Norte. A medida que se aleja de la orientación del Sur, se deberá cuantificar la menor radiación incidente.

Un aspecto importante a tener en cuenta en muchas zonas es que existe más radiación por la tarde que por la mañana, provocado por la niebla, por lo que desde el punto de vista de la radiación incidente, sería aconsejable una orientación ligeramente desviada al Oeste. Sin embargo, la temperatura ambiente es mayor por la tarde que por la mañana y, por ello, si sólo se considerara esta variable, la orientación óptima sería Sur-Este.

En consecuencia, teniendo en cuenta estos dos factores (irradiancia y temperatura), se recomienda orientación Sur para climas como el de España en general.

En cuanto a la mejor inclinación de los módulos fotovoltaicos se considera que ésta es la latitud del lugar menos 10.