

# Energía Solar Fotovoltaica

## *Proyecto*

### *RES & RUE Dissemination*

#### **ÍNDICE**

**1. La radiación solar**

**2. El efecto fotovoltaico**

**3. Tecnología fotovoltaica**

**3.1 Células fotovoltaicas**

## **3.2 Módulos fotovoltaicos**

## **3.3 Generador fotovoltaico**

## **4. Sistemas fotovoltaicos**

## **5. Sistemas fotovoltaicos conectados a la red**

## **6. Sistemas fotovoltaicos no conectados a la red**

## **7. Criterios de diseño de un sistema fotovoltaico**

### **7.1 Control de la idoneidad del lugar**

### **7.2 Cuantificación de la necesidad diaria de energía**

### **7.3 Elección de la inclinación de los módulos**

### **7.4 Cálculo de la potencia de pico del generador fotovoltaico**

### **7.5 Evaluación de las pérdidas de sistema**

### **7.6 Cálculo de la potencia del inverter**

### **7.7 Diseño del sistema de acumulación (sólo para sistemas “aislados”)**

## **8. Costes de un sistema solar fotovoltaico**

## **9. Impacto medioambiental**

CECU desea mostrar su agradecimiento a todos los que han contribuido a la realización de esta publicación en el ámbito del proyecto europeo RES & RUE Dissemination – Programa ALTENER, así como a las instituciones públicas o privadas, a las asociaciones, y a las empresas constructoras y/o distribuidoras de máquinas por su disponibilidad y participación activa.

Informe realizado por:

Ing. Marco Prospero

Ing. Claudio Minelli

## ACCOMANDITA

Adaptado a la realidad española por CECU

### 1. La radiación solar

ARRIBA

La radiación solar es la energía electromagnética que mana en los procesos de fusión del hidrógeno (en átomos de helio) contenido en el sol.

La energía solar que en un año llega a la tierra a través de la atmósfera es de tan sólo aproximadamente 1/3 de la energía total interceptada por la tierra fuera de la atmósfera y, de ella, el 70% cae en los mares. Sin embargo, la energía que queda, de  $1,5 \cdot 10^{17} \text{ kWh}$ , que en un año cae sobre la tierra firme, es igual a varios miles de veces el consumo total energético mundial actual.

La radiación solar (flujo solar o densidad de potencia de la radiación solar) recogida *fuera de la atmósfera* sobre una superficie perpendicular a los rayos solares es conocida como *constante solar* y es igual a  $1353 \text{ W/m}^2$ , variable durante el año un  $\pm 3\%$  a causa de la elipticidad de la órbita terrestre.

En la figura siguiente se ve la evolución de la radiación solar, medida fuera de la atmósfera, durante un año:

Figura 1. Evolución de la radiación solar

El valor máximo medido sobre la superficie terrestre es, en cambio, de aproximadamente  $1000 \text{ W/ m}^2$ , en condiciones óptimas de sol a mediodía y en un día de verano despejado.

La radiación solar que llega a la superficie terrestre puede ser **directa o dispersa**. Mientras la radiación directa incide sobre cualquier superficie con un único y preciso ángulo de incidencia, la dispersa cae en esa superficie con varios ángulos. Es necesario recordar que cuando la radiación directa no puede dar a una superficie a causa de la presencia de un obstáculo, el área en sombra no se encuentra completamente a oscuras gracias a la contribución de la radiación dispersa. Esta observación tiene importancia técnica para los dispositivos fotovoltaicos, que pueden funcionar incluso solamente con radiación dispersa.

Una superficie inclinada puede recibir, además, la radiación reflejada por el terreno o por espejos de agua o por otras superficies horizontales, fenómeno conocido como **albedo**.

Las proporciones de radiación directa, dispersa y albedo recibida por una superficie dependen:

- **De las condiciones meteorológicas** (de hecho, en un día nublado la radiación es prácticamente dispersa en su totalidad; en un día despejado con clima seco predomina, en cambio, la componente directa, que puede llegar hasta el 90% [9] de la radiación total);

- **De la inclinación de la superficie respecto al plano horizontal** (una superficie horizontal recibe la máxima radiación dispersa -si no hay alrededor objetos a una altura superior a la de la superficie- y la mínima reflejada);
- **De la presencia de superficies reflectantes** (debido a que las superficies claras son las más reflectantes, la radiación reflejada aumenta en invierno por efecto de la nieve y disminuye en verano por efecto de la absorción de la hierba o del terreno).

En función del lugar, además, varía la relación entre la radiación dispersa y la total, ya que al aumentar la inclinación de la superficie de captación, disminuye la componente dispersa y aumenta la componente reflejada. Por ello, la inclinación que permite maximizar la energía recogida puede ser diferente dependiendo del lugar.

La posición óptima, en la práctica, se obtiene cuando la superficie está orientada al sur, con ángulo de inclinación igual a la latitud del lugar: la orientación al sur, de hecho, maximiza la radiación solar captada recibida durante el día y si la inclinación es igual a la latitud hace que sean mínimas, durante el año, las variaciones de energía solar captadas debidas a la oscilación de  $23.5^\circ$  de la dirección de los rayos solares respecto a la perpendicular a la superficie de recogida.

Si llamamos  $I_D$  la radiación directa,  $I_g$  la dispersa y R al albedo, entonces resulta que la radiación solar total que cae sobre una superficie es:

## 2. El efecto fotovoltaico

ARRIBA

La conversión directa de la energía solar en energía eléctrica se debe al

fenómeno físico de la interacción de la radiación luminosa con los electrones en los materiales semiconductores, fenómeno conocido como **efecto fotovoltaico**.

El objeto físico en el que este fenómeno tiene lugar es la célula solar, que no es otra cosa que un diodo con la característica esencial de tener una superficie muy amplia (unas decenas de  $\text{cm}^2$ ).

Para analizar de forma más minuciosa el efecto fotovoltaico es necesario, por tanto, describir, por lo menos conceptualmente, el funcionamiento del diodo (**unión p-n**). Además, ya que hasta hoy el material más utilizado para la realización de las células solares es el silicio cristalino, se tomará en consideración el **diodo de silicio**.

El silicio tiene 14 electrones de los que 4 son de valencia, lo que quiere decir que están disponibles para unirse con electrones de valencia de otros átomos. En un cristal de silicio químicamente puro, cada átomo está unido de forma covalente con otros 4 átomos así que dentro del cristal no hay, como consecuencia del enlace químico, electrones libres.

Algunos átomos de silicio en cristal se sustituyen con átomos de fósforo, elemento que tiene 5 electrones de valencia: 4 serán utilizados para enlaces químicos con átomos adyacentes de silicio, mientras que el quinto puede ser separado del átomo de fósforo mediante energía térmica y así tener libertad de movimiento en el retículo del cristal.

De forma análoga, si la sustitución se realiza con átomos de boro, que sólo tiene 3 electrones de valencia, faltará un electrón para completar los enlaces químicos con los átomos adyacentes de silicio. Este electrón que falta actúa como si fuera un electrón '*positivo*' y se llama **hueco**.

La siguiente figura, muestra gráficamente la situación descrita; en la primera imagen se ve la estructura del retículo cristalino del silicio, en la segunda la variación de la estructura cuando se realiza una combinación con átomos de fósforo y, finalmente, en la última situación, se muestra el retículo cristalino en el caso de enlace con átomos de boro.



En el enlace con fósforo, por tanto, los portadores de carga libres son negativos y el material es llamado de **tipo n**, mientras en la sustitución de átomos de silicio con átomos de boro, los portadores de carga son positivos y el material es llamado de **tipo p**.

La **unión p-n (diodo)** se realiza uniendo una barra de material de **tipo n** con una barra de material de **tipo p**.

Los electrones libres en el material 'n' verán a la izquierda una región en la que no existen electrones libres y, por tanto, habrá un flujo de estos portadores hacia la izquierda en el intento de restablecer el equilibrio. De forma análoga, los huecos verán a su derecha una región en la que no hay huecos y habrá, por tanto, un flujo de cargas positivas hacia la derecha. Con el avance de este proceso de difusión, en el lado izquierdo se tendrá un exceso de cargas negativas mientras en el lado derecho habrá un exceso de cargas positivas.

Por consiguiente, en la región de unión de los dos materiales se ha creado un campo eléctrico que se hace cada vez más grande a medida que los huecos y los electrones continúan difundándose hacia lados opuestos. El proceso continúa hasta que el potencial eléctrico alcanza un tamaño que impide la posterior difusión de electrones y huecos.

Cuando se alcanza este equilibrio se habrá creado un campo eléctrico permanente en un material sin la ayuda de campos eléctricos externos.

Figura 4. Representación de un campo eléctrico

tipo 'p'

tipo 'n'

Con la información anterior, es posible explicar el **efecto fotovoltaico**. De hecho, hay que suponer que un fotón (partícula que constituye un rayo solar) entre en la región de **tipo p** del material. Si el fotón tiene una energía mayor que la '**band gap**' -energía mínima necesaria para romper un enlace del retículo del silicio- será absorbido y creará una pareja electrón-hueco. El electrón liberado se moverá hacia la derecha a causa del potencial eléctrico.

En cambio, si un fotón entra en la zona n, el hueco creado se moverá hacia la izquierda.

Este flujo producirá una acumulación de cargas positivas en la izquierda y de cargas negativas en la derecha, dando origen a un campo eléctrico opuesto al creado por el mecanismo de difusión.

Cuantos más fotones llegan a la unión, tanto más los campos tienden a anularse el uno con el otro, hasta llegar al punto en el que ya no haya un campo interno que separe cada pareja electrón-hueco.

Esta es la condición que determina la tensión a circuito abierto de la **célula fotovoltaica**.

Finalmente, poniendo unos **electrodos** (contactos metálicos) sobre la superficie de la célula se puede utilizar el potencial creado.

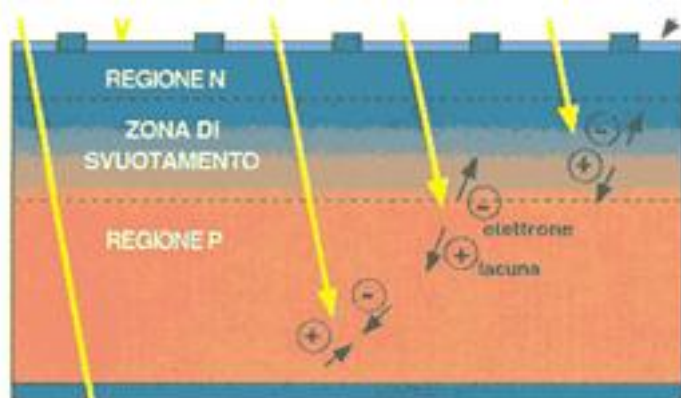
### 3. Tecnología Fotovoltaica

ARRIBA

### 3.1 La célula fotovoltaica

La conversión de la radiación solar en una corriente eléctrica tiene lugar en la **célula fotovoltaica**.

Figura 5. Sección de una célula fotovoltaica



La célula fotovoltaica es un dispositivo formado por una delgada lámina de un material semi-conductor, frecuentemente de silicio.

Generalmente, una célula fotovoltaica tiene un grosor que varía entre los 0,25 y los 0,35 mm y una forma generalmente cuadrada, con una superficie aproximadamente igual a 100 cm<sup>2</sup>.

Para la realización de las células, el material actualmente más utilizado es el mismo silicio utilizado por la industria electrónica, cuyo proceso de fabricación presenta costes muy altos, no justificados por el grado de pureza requerido para la fotovoltaica, que son inferiores a los necesarios en electrónica.

Otros materiales para la realización de las células solares son:

- **Silicio Mono-cristalino:** de rendimiento energético hasta 15 ÷ 17 %;
- **Silicio Poli-cristalino:** de rendimiento energético hasta 12 ÷ 14 %;
- **Silicio Amorfo:** con rendimiento energético menor del 10 %;

- **Otros materiales:** Arseniuro de galio, diseleniuro de indio y cobre, telurio de cadmio;

Actualmente, el material más utilizado es el **silicio mono-cristalino** que presenta prestaciones y duración en el tiempo superiores a cualquier otro material utilizado para el mismo fin.

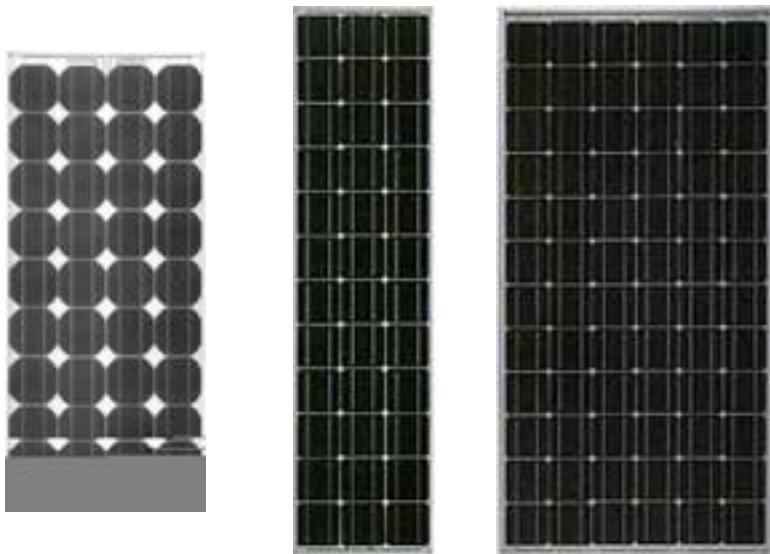
### 3.2 Módulos fotovoltaicos

ARRIBA

Las células solares constituyen un producto intermedio de la industria fotovoltaica: proporcionan valores de tensión y corriente limitados, en comparación a los requeridos normalmente por los aparatos convencionales, son extremadamente frágiles, eléctricamente no aisladas y sin un soporte mecánico. Después, son ensambladas de la manera adecuada para constituir una única estructura: los **módulos fotovoltaicos**.

El módulo fotovoltaico es una estructura robusta y manejable sobre la que se colocan las células fotovoltaicas. Los módulos pueden tener diferentes tamaños (los más utilizados tienen superficies que van de los 0,5 m<sup>2</sup> a los 1,3 m<sup>2</sup>) y constan normalmente de 36 células conectadas eléctricamente en serie.

Figura 6. Algunos módulos fotovoltaicos presentes en el mercado



Los módulos formados tienen una potencia que varía entre los 50Wp y los 150Wp, [\[1\]](#) según el tipo y la eficiencia de las células que lo componen.

Las características eléctricas principales de un módulo fotovoltaico se pueden resumir en las siguientes:

- **Potencia de Pico (Wp):** potencia suministrada por el módulo en condiciones estándar **STC** (Radiación solar = 1000 W/m<sup>2</sup>; Temperatura = 25 °C; A.M. = 1,5).
- **Corriente nominal (A):** corriente suministrada por el módulo en el punto de trabajo.
- **Tensión nominal (V):** tensión de trabajo del módulo.

### 3.3 Generador fotovoltaico

ARRIBA

Está formado por el conjunto de los módulos fotovoltaicos, adecuadamente conectados en serie y en paralelo, con la combinación adecuada para obtener la corriente y el voltaje necesarios para una determinada aplicación. El elemento base es el módulo fotovoltaico.

Varios módulos ensamblados mecánicamente entre ellos forman el **panel**,

mientras que módulos o paneles conectados eléctricamente en serie, para obtener la tensión nominal de generación, forman la **rama**. Finalmente, la conexión eléctrica en paralelo de muchas ramas constituye el **campo**.



Los módulos fotovoltaicos que forman el **generador**, están montados sobre una estructura mecánica capaz de sujetarlos y que está orientada para optimizar la radiación solar.

La cantidad de energía producida por un generador fotovoltaico varía durante el año en función de la insolación de la localidad y de la latitud de la misma.

Para cada aplicación, el generador tendrá que ser dimensionado teniendo en cuenta los siguientes aspectos:

- carga eléctrica,
- potencia de pico,
- posibilidad de conexión a la red eléctrica,
- latitud del lugar y radiación solar media anual del mismo,
- características arquitectónicas específicas del edificio,

- características eléctricas específicas de la carga.

A título indicativo, aunque existen diferencias regionales y estacionales significativas, en España se recibe de media una insolación de 1.600 kWh/m<sup>2</sup>-año; lo que la sitúa, junto con Portugal, a la cabeza de Europa. Esto se traduce en un enorme potencial de los tejados fotovoltaicos, evaluado para España en 31.885 MWp para 1990, lo que podría proporcionar el 24,2% de la electricidad consumida y ahorrar de 17.5 a 50 millones de toneladas de CO<sub>2</sub>, con lo que nuestro país podría reducir estas emisiones en un 9-20%.

## 4. Sistemas fotovoltaicos

ARRIBA

Se define como **sistema fotovoltaico** el conjunto de componentes mecánicos, eléctricos y electrónicos que concurren para captar y transformar la energía solar disponible, transformándola en utilizable como energía eléctrica.

Estos sistemas, independientemente de su utilización y del tamaño de potencia, se pueden dividir en dos categorías:

- **aislados (*stand alone*)**
- **conectados a la red (*grid connected*)**

Los sistemas aislados, por el hecho de no estar conectados a la red eléctrica, normalmente están equipados con sistemas de acumulación de la energía producida. La acumulación es necesaria porque el campo fotovoltaico puede proporcionar energía sólo en las horas diurnas, mientras que a menudo la mayor demanda por parte del usuario se concentra en las horas de la tarde y de la noche. Durante la fase de insolación es, por tanto, necesario prever una acumulación de la energía no inmediatamente utilizada, que es proporcionada a la carga cuando la energía disponible es reducida e incluso nula.

Una configuración de este tipo implica que el campo fotovoltaico debe estar

dimensionado de forma que permita, durante las horas de insolación, la alimentación de la carga y de la recarga de las baterías de acumulación.

Los sistemas conectados en red, en cambio, normalmente no tienen sistemas de acumulación, ya que la energía producida durante las horas de insolación es canalizada a la red eléctrica; al contrario, durante las horas de insolación escasa o nula, la carga viene alimentada por la red. Un sistema de este tipo, desde el punto de vista de la continuidad de servicio, resulta más fiable que uno no conectado a la red que, en caso de avería, no tiene posibilidad de alimentación alternativa.

En este caso, se pueden obtener sistemas de alta fiabilidad integrando el sistema aislado con una fuente energética tradicional, por ejemplo, diesel (sistema híbrido diesel-fotovoltaico).

La tarea de los sistemas conectados a la red es, por tanto, la de introducir en la red la mayor cantidad posible de energía.

La estructura física de un sistema fotovoltaico (aislado o conectado a la red) puede ser muy diferente, pero normalmente se pueden distinguir tres elementos fundamentales:

- **el campo fotovoltaico**
- **sistema de acondicionamiento de la potencia**
- **sistema de adquisición de datos.**

Es necesario tener en cuenta que en el caso especial de sistemas sin acumulación conectados en red, es la red misma la que desempeña la tarea de acumulador, de capacidad infinita. La **carga** la representa, en cambio, el usuario conectado a la red, como sucede en cualquier otro sistema “*grid connected*”.

## 5. Sistemas fotovoltaicos conectados a la red

Los principales componentes que forman un sistema fotovoltaico “*grid connected*” son:

- ***Módulos fotovoltaicos***
- ***Inversor para la conexión a red***
- ***Dispositivo de intercambio con la red eléctrica***
- ***Contador de energía bidireccional***

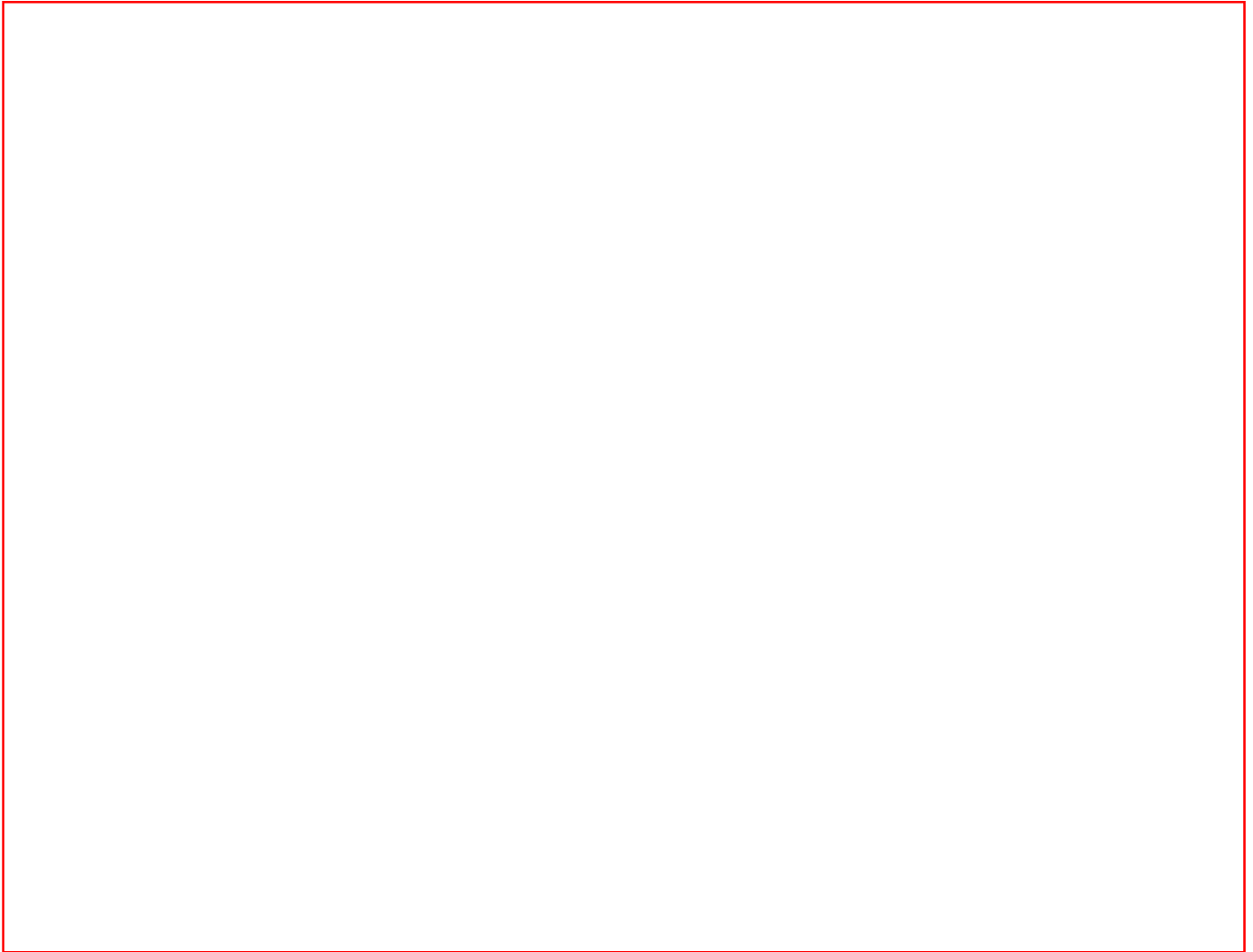
El ***inversor*** es uno de los componentes más importantes en los sistemas conectados a red, ya que maximiza la producción de corriente del dispositivo fotovoltaico y optimiza el paso de energía entre el módulo y la carga.

Es un dispositivo que transforma la energía continua producida por los módulos (12V, 24V, 48V, ..) en energía alterna (generalmente 220V), para alimentar el sistema y/o introducirla en la red, con la que trabaja en régimen de intercambio.

Los inversores para la conexión a la red eléctrica están equipados generalmente con un dispositivo electrónico que permite extraer la máxima potencia, paso por paso, del generador fotovoltaico. Este dispositivo sigue el punto de máxima potencia (MPPT) y tiene justamente la función de adaptar las características de producción del campo fotovoltaico a las exigencias de la carga.

El ***dispositivo de intercambio con la red*** sirve para que la energía eléctrica introducida en la red tenga todas las características requeridas por la misma.

Finalmente, el ***contador de energía*** mide la energía producida por el sistema fotovoltaico durante su periodo de funcionamiento.



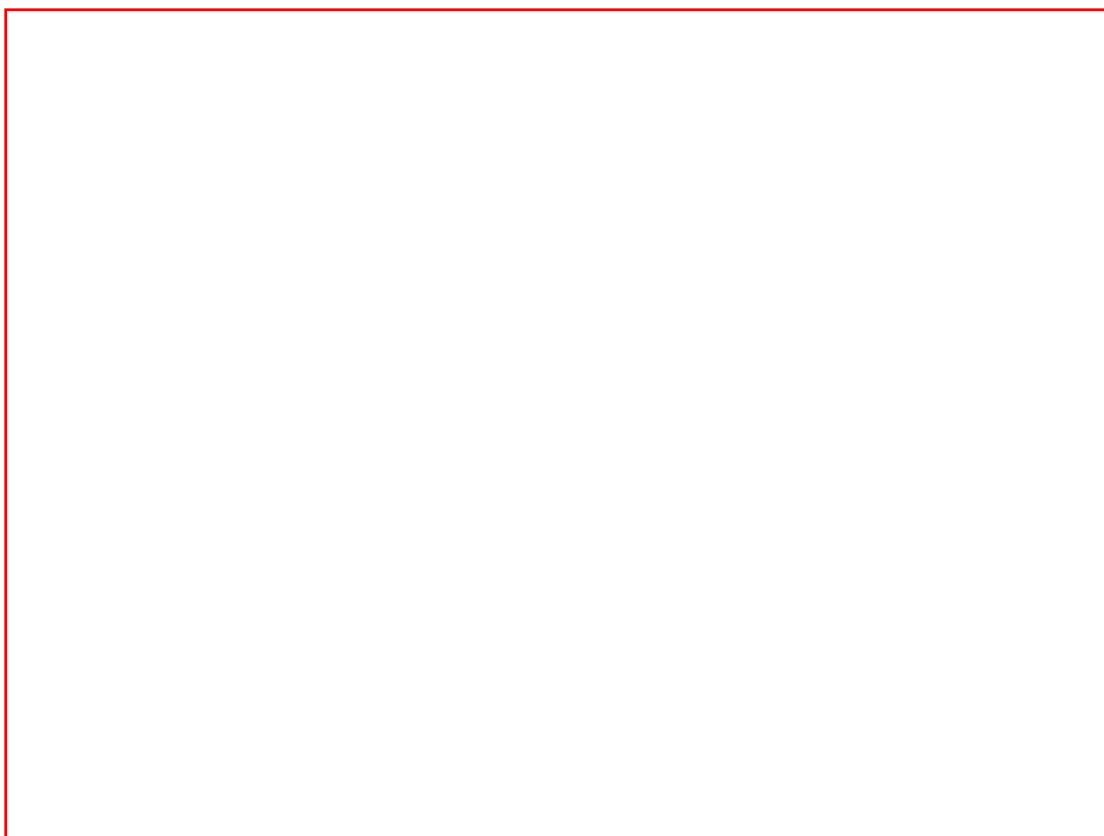
## 6. Sistemas fotovoltaicos no conectados a la red

ARRIBA

Los principales componentes que forman un sistema fotovoltaico aislado son:

- ***Módulos fotovoltaicos***
- ***Regulador de carga***
- ***Inversor***
- ***Sistema de acumulación (baterías de acumulación)***

En este tipo de sistemas, la energía producida por los módulos fotovoltaicos es almacenada en baterías de acumulación. La carga es alimentada, a través del regulador de carga, por la energía acumulada en las baterías.



El **regulador de carga** sirve fundamentalmente para preservar los acumuladores de un exceso de carga por el generador fotovoltaico y de la descarga por el exceso de uso. Ambas condiciones son nocivas para la correcta funcionalidad y la duración de los acumuladores.

Ya que normalmente la potencia requerida por el usuario no es proporcional a la radiación solar (y, por consiguiente, a la producción eléctrica de un sistema fotovoltaico) una parte de la energía producida por el campo fotovoltaico tiene que ser almacenada para poder ser reutilizada cuando el usuario la necesite. Este es la finalidad del **sistema de acumulación**.

Un sistema de acumulación está formado por un conjunto de acumuladores recargables, dimensionado de forma que garantice la suficiente autonomía de alimentación de la carga eléctrica. Las baterías que se utilizan con esta finalidad son acumuladores de tipo estacionario y sólo en casos muy especiales

es posible utilizar baterías tipo automoción.

Las baterías para uso fotovoltaico tienen que cumplir los siguientes requisitos:

- ***Bajo valor de autodescarga***
- ***Larga vida útil***
- ***Manutención casi nula***
- ***Elevado número de ciclos de carga-descarga***

En cuanto al ***inversor***, su finalidad en los sistemas aislados es la de transformar corriente continua (CC) producida por el campo fotovoltaico, en corriente alterna (CA), necesaria para la alimentación directa de los usuarios.

En este caso, el inversor tiene que estar dimensionado para poder alimentar directamente la carga que se le quiere conectar.

Es evidente que, de todos modos, el inversor en este tipo de instalaciones (sistemas aislados) no es un componente indispensable. De hecho, es posible incluso alimentar directamente con corriente continua de baja tensión la carga.

## **7. Criterios de diseño de un sistema fotovoltaico**

ARRIBA

A continuación, se describen las diferentes fases del diseño de un sistema fotovoltaico, con la finalidad de establecer indicaciones sobre su diseño.

### **7.1 Verificación de la aptitud del lugar**

ARRIBA

- Presencia de sombras (vegetación, construcciones, alturas);

- Nieblas o neblinas matutinas;
- Precipitaciones en forma de nieve
- Régimen de vientos.

Estas características determinan la ubicación del generador fotovoltaico, su exposición respecto al Sur geográfico, la mayor inclinación sobre el plano horizontal, y las características de las estructuras de soporte.

## 7.2 Cuantificación de la necesidad diaria de energía

ARRIBA

El parámetro a utilizar como punto de partida para el diseño de un sistema fotovoltaico es la energía requerida, entendida como:

$$\text{Energía} = \text{Potencia} * \text{tiempo de utilización}$$

Los consumos de los usuarios aislados o conectados a red que hay que alimentar con el sistema fotovoltaico tienen que ser considerados en términos de energía diaria requerida. Por ejemplo:

- 1 TV color 60W, utilizado 3 horas/día
- 2 Lámparas de 15 W, a alimentar durante 5 horas/día

$$\begin{aligned} \text{Energía diaria total necesaria} &= 2 * 15W * 5 \text{ horas/día} + 1 * 60W * 3 \text{ horas/día} = \\ &= \mathbf{330 \text{ Wh/día}} \end{aligned}$$

## 7.3 Elección de la inclinación de los módulos

ARRIBA

La inclinación normalmente tiene que ser **igual a la latitud del lugar**, lo que es posible siempre que no haya exigencias de tipo arquitectónico que lo impidan.

## 7.4 Cálculo de la potencia de pico del generador fotovoltaico

ARRIBA

La energía producida por un módulo es linealmente proporcional a la radiación solar incidente sobre la superficie de los módulos solares. Es, por tanto, necesario efectuar este cálculo basándose en las informaciones relativas a la radiación solar del lugar.

Un método de cálculo utilizado frecuentemente consiste en medir mediante tablas adecuadas, las HORAS EQUIVALENTES del lugar considerado y a la inclinación deseada de los módulos fotovoltaicos.

Se define como “**HORA EQUIVALENTE**” el período de tiempo en el que la radiación solar toma un valor igual a  $1000 \text{ W/m}^2$ .

Esta metodología es utilizada en los cálculos de las dimensiones de una instalación fotovoltaica para determinar la cantidad de energía producida diariamente por un módulo fotovoltaico(\*).

Con esta metodología de cálculo, conociendo el parámetro *Hora-Equivalente* mensual del lugar, es posible calcular la potencia de pico del generador fotovoltaico:



## 7.5 Evaluación de las pérdidas de sistema

Es necesario tener en cuenta las pérdidas/caídas de tensión introducidas por los componentes que forman el sistema (baterías, regulador de carga, cables de conexión, etc.)

Suponiendo que las pérdidas totales del sistema sean aproximadamente del 30%, entonces es necesario aumentar en el mismo porcentaje la potencia de pico del generador fotovoltaico.

## 7.6 Cálculo de la potencia del inversor

La potencia del inversor se determina de forma diferente, según se trate de un sistema conectado a red o de un sistema aislado.

En el primer caso, la elección del inversor está determinada por las características del campo fotovoltaico. Por ello, el tipo de inversor que hay que utilizar se puede identificar una vez decidida la potencia del generador fotovoltaico y, por tanto, el número de módulos fotovoltaicos.

En el caso de un sistema aislado, en cambio, es necesario evaluar la potencia total máxima que tendrá que conectarse al inversor.

En concreto, teniendo en cuenta el ejemplo utilizado para la evaluación de la necesidad diaria de energía (*punto 7.2.*), se observa que:

$$\text{Potencia total} = 2 \cdot 15W + 1 \cdot 60W = 90 W$$

Lo que significa que hay que utilizar un inversor cuya potencia nominal sea superior a 90W.

Para la elección del inversor de sistemas aislados, es necesario también tener en cuenta la forma de la onda producida, ya que existen diferentes tipos en

función de esta característica:

- de onda sinusoidal pura
- de onda trapezoidal
- de onda cuadrada

Los primeros son los que reproducen una forma de onda prácticamente idéntica a la de la red eléctrica y, por consiguiente, permiten alimentar cualquier tipo de carga. Los otros dos tipos puede que no alimenten de forma correcta cargas de tipo “electrónico”.

## 7.7 Diseño del sistema de acumulación (sólo para sistemas “aislados”)

ARRIBA

En caso de bajos niveles de insolación, es evidente que el sistema fotovoltaico tiene una producción inferior a la obtenida en días con insolación óptima.

Es posible dimensionar la acumulación, de modo que se garantice una alimentación de la carga, incluso contando con un número máximo de días consecutivos con ausencia de insolación.

## 8. Costes de un sistema fotovoltaico

ARRIBA

Los sistemas fotovoltaicos requieren una importante inversión de capital inicial, pero tienen unos gastos de manutención bajos.

El análisis de todos los aspectos económicos relativos a un sistema fotovoltaico es complejo. De hecho, es necesario tener en cuenta las siguientes

## consideraciones:

- Cada aplicación tiene que ser contemplada en su contexto particular, evaluando condiciones locales como, por ejemplo, la normativa, la radiación solar, el espacio disponible, etc.
- Para realizar una comparación correcta es necesario hablar de *valor* de la energía producida y no de coste de la energía. Esto es así porque la calidad de la energía producida por una fuente fotovoltaica no es la misma que la de las fuentes tradicionales (por el impacto ambiental, la intermitencia de la energía, etc.).
- La vida útil de un generador fotovoltaico es de aproximadamente unos 25 años. Algunas empresas ofrecen garantías que duran incluso todo ese tiempo.
- Existen casos en los que la conexión a la red eléctrica es difícil (refugios alpinos, casas aisladas, etc.).

Con el fin de dar una idea general de los costes de un sistema fotovoltaico, a continuación se apuntan algunas estimaciones del coste por kWp instalado:

- Sistemas integrados en los edificios (o conectados a red)  $\approx$  6.000 €/kWp (IVA no incluido)
- Sistemas para usuarios aislados  $\approx$  10.000 €/kWp (IVA no incluido)

En algunos casos, la inversión inicial se amortiza sólo por el hecho de que el coste para electrificar la zona es superior al de la instalación de un sistema solar fotovoltaico.

En muchas ocasiones, un sistema fotovoltaico presenta un coste por kWh producido notablemente superior al coste del kWh comprado de la red eléctrica. Por ello, la rentabilidad de la instalación de un sistema fotovoltaico depende mucho de las ayudas e incentivos por parte de las administraciones públicas.

De todos modos, para poder obtener un coste por kWh producido por un

sistema fotovoltaico comparable al kWh comprado de la red, es necesario contar con la financiación de subvenciones en porcentaje muy elevado (superiores al 70-80%).

## Iniciativas a favor de la energía solar

### El proyecto Escuelas Solares de Greenpeace [\[2\]](#)

En España, la organización ecologista Greenpeace tiene en marcha el proyecto **Escuelas Solares** desde 1997. La red de Escuelas Solares es un grupo de centros educativos de todas las comunidades autónomas interesados en la instalación de tejados solares en sus edificios. Si bien dichas instalaciones reportan beneficios económicos, sobre todo abren un abanico de posibilidades: pedagógicas, curriculares (permitir que los alumnos aprendan el funcionamiento y las ventajas de la energía solar y que se acostumbren a verla como una realidad), y reivindicativas (demostrar que existe una demanda de energía solar, exigiendo a las administraciones públicas que pongan los medios para satisfacer esa demanda, y a las compañías eléctricas que faciliten su conexión a la red eléctrica).

En la actualidad hay casi 300 centros educativos de todo tipo: colegios, institutos, facultades, universidades, guarderías, etc. Algunos ya han realizado estas instalaciones, y otros están interesados en hacerlo.

A iniciativa de Greenpeace, los centros inscritos en la Red actúan en tres direcciones:

**Demostrativa:** con la instalación de un tejado solar fotovoltaico, se hace evidente en la práctica, la viabilidad de la energía solar. Greenpeace proporciona la información necesaria (Guía Solar) y ofrece a los centros de la Red la coordinación y gestión centralizada necesaria para la consecución del proyecto, incluida la búsqueda de fuentes de financiación. Para ello cuenta con la colaboración de entidades especializadas.

**Reivindicativa:** Realización de actividades en apoyo a la campaña de Greenpeace a favor de la energía solar, como por ejemplo: Manifiesto a favor de la energía solar en los centros educativos, participación en la Semana Solar ...

**Educativas:** Actualmente se están preparando diferentes actividades educativas, para dar continuidad a las ya realizadas.

## Experiencia en Alemania

Un proyecto sencillo pero que ha resultado ser extremadamente eficaz para promocionar el sector de la energía solar fotovoltaica se llevó a cabo en Alemania donde, en los primeros meses del año 2000, dio comienzo un programa nacional caracterizado porque:

- 1) No prevé subvenciones a fondo perdido;
- 2) En cambio, prevé financiaciones a tipo de interés bonificado de una duración de 10 años;
- 3) Se otorgan facilidades relacionadas con la energía eléctrica producida por el sistema fotovoltaico: de hecho, cada kWh producido es vendido a una precio de 0,5 € (aproximadamente 3 veces el coste de compra del kWh de la red).

Este programa ha permitido la implantación de sistemas fotovoltaicos concebidos como *inversión*. En segundo lugar, ha permitido la realización de sistemas de elevada eficiencia y calidad para que de ellos se obtenga la mayor producción posible. Finalmente, estimula un puntual y eficiente mantenimiento por parte de los usuarios.

## 9. Impacto ambiental de la energía solar fotovoltaica

ARRIBA

La legislación básica estatal sobre evaluación de impacto ambiental no contempla las instalaciones fotovoltaicas como supuestos sometidos a este procedimiento. No obstante, para saber si este trámite es necesario o no, antes de proceder a la implantación de la instalación habrá que comprobar en la normativa de la Comunidad Autónoma correspondiente si se tiene que realizar la evaluación de impacto.

El impacto medioambiental de las fuentes de energía renovables es reducido, sobre todo en lo que concierne a las emisiones de contaminantes al aire y al agua. Al disminuir la necesidad de obtención de energía a través de otras fuentes más contaminantes, contribuyen a la disminución de las emisiones de gases responsables del efecto invernadero y de la lluvia ácida.

En lo que respecta a la energía solar fotovoltaica, se puede afirmar que, por sus características, es la fuente renovable más respetuosa con el medio ambiente.

Los sistemas fotovoltaicos no producen emisiones ni ruidos o vibraciones y su impacto visual es reducido gracias a que por su disposición en módulos, pueden adaptarse a la morfología de los lugares en los que se instalan. Además, producen energía cerca de los lugares de consumo, evitando las pérdidas que se producen en el transporte.

Sin embargo, el impacto ambiental de la energía fotovoltaica no puede considerarse nulo. Algunos de los problemas y los tipos de impactos ambientales que pueden influir de forma negativa en la percepción de las instalaciones fotovoltaicas por parte de la ciudadanía son los siguientes:

- **la contaminación que produce el proceso productivo de los componentes,**
- **la utilización del territorio,**
- **el impacto visual,**
- **el impacto sobre la flora y la fauna.**

La contaminación producida en la fabricación de los componentes de los paneles fotovoltaicos y las emisiones de contaminantes que producen dependen de la tecnología utilizada. Los sistemas fotovoltaicos más utilizados son los basados en el silicio (elemento extremadamente abundante en la tierra) monocristalino, policristalino y amorfo.

El proceso de fabricación por sí mismo no implica una utilización apreciable de sustancias peligrosas o contaminantes y hay que considerar también que, con las actuales proporciones del mercado fotovoltaico, el silicio puede obtenerse del reciclaje de los deshechos de la industria electrónica.

En algunos tipos de células se evidencian posibles riesgos en caso de incendio, debido a la formación de gases tóxicos. Por este motivo, los paneles fotovoltaicos al final de su vida útil tienen que ser debidamente reciclados.

La necesidad de territorio depende de la forma de utilización de la instalación fotovoltaica: descentralizada o centralizada en grandes sistemas.

En el primer caso, el territorio utilizado puede reducirse casi a cero porque los paneles pueden ser instalados sobre terrenos ya ocupados, como tejados, fachadas y terrazas de los edificios existentes, cubiertas de aparcamientos o, normalmente, de áreas de descanso, bordes de autopistas, etc. El potencial para la utilización descentralizada de los sistemas fotovoltaicos puede considerarse, por lo tanto, bastante amplio.

En el caso de producción fotovoltaica en sistemas centralizados, la necesidad de energía está relacionada con varios factores, como la eficiencia de conversión de los módulos y las características de insolación del lugar. En cualquier caso, la utilización de sistemas centralizados requiere notables extensiones de territorio para poder ofrecer una producción eléctrica apreciable.

En algunos casos, los sistemas fotovoltaicos pueden rechazarse por cuestiones estéticas. En general, el impacto visual depende sobre todo del tamaño del sistema. El tamaño no representa un problema en el caso de su utilización descentralizada, ya que los sistemas pueden estar bien integrados sobre los tejados o en las fachadas de los edificios.

Los sistemas fotovoltaicos de tamaño medio o grande pueden, en cambio, tener un impacto visual no evitable, que depende sensiblemente del tipo de paisaje (de su valor).

Los problemas que se han tratado hasta ahora se refieren a las superficies reflectantes. El impacto visual está relacionado con la orientación de estas superficies respecto a los posibles puntos de observación y puede minimizarse respetando unas distancias oportunas respecto a los centros habitados, las carreteras etc., o utilizando elementos como árboles o setos entre los paneles y los puntos de observación, respetando, en todo caso, la exigencia de evitar sombras indeseadas en el campo fotovoltaico.

Para la utilización descentralizada de los sistemas fotovoltaicos, el impacto sobre la fauna y la flora normalmente se considera prácticamente inexistente, ya que consiste principalmente en la ocupación de suelo y no causa ruido o vibraciones. No es posible eliminar los efectos negativos producidos durante la fase de realización de grandes sistemas, aunque éstos son temporales y

limitados.

En cuanto al “*robo*” de radiación solar por parte de los paneles al medio ambiente circundante que, en teoría podría modificar el microclima local, es necesario recordar que aproximadamente sólo el 10% de la energía solar incidente por unidad de tiempo sobre la superficie del campo fotovoltaico es transformada y transferida a otro lugar en forma de energía eléctrica, siendo el 90% restante reflejada o transferida a través de los módulos.

Es evidente que ni siquiera las tecnologías poco contaminantes, como la fotovoltaica, están exentas de conllevar impactos al medio ambiente y encuentran dificultades de aceptación por parte de la población. Sin embargo, la magnitud y la significación de estos sistemas son claramente inferiores a los de otras tecnologías de producción de energía tradicionales, aunque a veces puedan provocar oposiciones difíciles de superar.

Con estas consideraciones, los siguientes pasos, es decir, la elección del lugar, el estudio del proyecto y los mecanismos de autorización, pueden tener mejores resultados si se realiza una atenta evaluación preventiva de los posibles impactos medioambientales provocados por los sistemas fotovoltaicos.

---

[1] El Wp (Watt pico) es la unidad de medida de referencia de un módulo fotovoltaico y expresa la potencia eléctrica suministrable por el módulo en condiciones standard de referencia (en estas condiciones se considera una Radiación solar = 1000 W/m<sup>2</sup>).

[2] Información extraída de la página web de Greenpeace: [www.greenpeace.es](http://www.greenpeace.es)