

CURSO

# Electricidad de edificios

Instalaciones de energía fotovoltaica  
en edificios

módulo **6**

unidad **4**

## **Diseño de instalaciones de energía fotovoltaica**



**GRUPO FONDO FORMACIÓN**

## ELECTRICIDAD DE EDIFICIOS

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

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

**COLABORAN:**

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

**DEPÓSITO LEGAL:** SE-999-07

**Recomendada la impresión en Papel Reciclado**



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

Todos los derechos reservados.

Esta publicación tiene fines exclusivamente educativos.

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

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

## Objetivos

- Aprender a realizar un estudio previo de la instalación antes de proceder a la ejecución de la misma, y calibrar las variables más importantes que intervienen en él.
- Conocer las pautas básicas necesarias para el buen diseño de una instalación de energía solar fotovoltaica.
- Aprender a desarrollar los cálculos más importantes en el diseño de la instalación de energía solar fotovoltaica.

## Presentación

Antes de ejecutar la instalación de energía solar fotovoltaica, es necesario el estudio previo del sistema y la realización del diseño del proyecto, teniendo en cuenta las variables y cálculos más relevantes que en él intervienen.

- Contenidos
  - Estudio previo
  - Diseño del sistema.
  - Cálculo de la sección de los conductores.
  - Resumen de normas prácticas para la instalación de sistemas eléctricos fotovoltaicos.

## 1. Estudio previo

En el momento de hacer una instalación tendremos en cuenta una serie de factores y datos que son de gran importancia para lograr un correcto funcionamiento.

Las lámparas de incandescencia que se utilizan normalmente para la iluminación consumen mucha energía (transforman en luz únicamente el 10% de la potencia recibida), por ello es conveniente utilizar fluorescentes, que consumen una energía 5 veces menor.

El voltaje que se utilizará será de 12 ó 24 V. La corriente es continua. La red comercial es de corriente alterna, ya que de esta forma se facilita su transporte a lugares alejados, pues permite elevar la tensión disminuyendo las pérdidas.

En una instalación eléctrica fotovoltaica esto no es problema, ya que la energía la generamos en el lugar de consumo. Además, para almacenar la energía en baterías sólo se puede hacer si la corriente es continua.

Podemos transformar la corriente continua producida por los paneles solares en corriente alterna de 125-220 V a 50 Hz mediante un convertidor, para su utilización en electrodomésticos usuales. Sin embargo, hay que considerar que esta transformación implica pérdidas, muy a tener en cuenta a la hora de ajustamos a un consumo. Por ello, antes de usar un convertidor se tratará de elegir electrodomésticos que funcionen a 12 V o 24 V con corriente continua.

Los electrodomésticos usuales no tienen en cuenta un consumo mínimo de energía. Así tenemos el caso más representativo de la lavadora, que consume 1.900 W/h en el programa de calentamiento, 800W/h en el centrifugado y solamente 275 W/h en el programa de lavado normal.

Se podría eliminar el programa de centrifugado y calentamiento, aún en este último calentar el agua por otro medio (calentador de butano, térmico...). Esto mismo ocurre con otros aparatos y son hechos a tener en cuenta. Frigorífico tipo hotel de 60 litros 200/400 Wh/día.

## 2. Diseño del sistema

A la hora de hacer una instalación solar fotovoltaica, lo primero que tendremos que considerar serán las necesidades de prestación. Tener en cuenta si el consumo va a ser continuo a lo largo del año o sólo se va a utilizar durante períodos de tiempo determinados.

En cada caso específico, se tendrá que hacer un estudio minucioso y una vez obtenido el consumo necesario, elegir el tipo de panel que más se ajusta a las necesidades y el número de ellos. Para esto, se realizan los siguientes pasos para calcular el sistema:

**Para guiarnos en el desarrollo de los pasos que hay que seguir para calcular un sistema, nos serviremos de un ejemplo:**

### ejemplo

Deseamos alimentar por medio de un sistema de electricidad fotovoltaica el alumbrado de un jardín de una casa situada en Madrid. Las lámparas que se van a utilizar son de 20 W y funcionarán durante 5 horas diarias, durante todo el año.

**Vamos a desarrollarlo en los siguientes puntos.**

### 2.1 Consumo de energía diaria que se va a realizar

Para calcular la energía diaria que vamos a consumir (Wh/día), multiplicaremos la potencia de cada aparato por el tiempo de funcionamiento de cada aparato en el día.

$$E = P \cdot t$$

E = Energía consumida en el día [Wh/día].

P = Potencia de cada aparato [W].

t = Tiempo que está funcionando cada aparato [h].

**En nuestro ejemplo:**

$$E = (20 \text{ W} \cdot 5 \text{ h/día}) = \mathbf{100 \text{ Wh/día.}}$$

## Horas pico de sol por día

La energía resultante deberemos dividirla por las horas solares pico de la región en que nos encontremos (HPS es igual al cociente entre la radiación solar y 3.600). Este dato de radiación solar se obtiene de los libros del Ministerio de Industria (radiación solar en España sobre superficies inclinadas).

También se pueden tener en cuenta los mapas de radiación solar anual y obtener las horas picos de sol (HPS) convirtiéndole valor anual de insolación que viene expresado en  $\text{cal/cm}^2 \cdot \text{día}$ . Hay que tener en cuenta que **la unidad empleada para medir la radiación solar diaria es el Langley**, estableciéndose la siguiente relación de equivalencia:

$$1 \text{ Langley} = 1 \text{ cal/cm}^2 \cdot \text{día}$$

$$1 \text{ KJ/m}^2 \cdot \text{día} = 0,024 \text{ langleys} = 0,024 \text{ cal/cm}^2 \cdot \text{día}$$

Utilizándose las siguientes equivalencias para obtener las horas pico de sol (HSP) para poder trabajar más fácilmente en los cálculos de instalaciones:

$$\text{Langley} \cdot 0,0116 = \text{HSP}$$

$$\text{KJ/m}^2 \cdot \text{día} \cdot 0,024 \cdot 0,0116 = \text{HSP}$$

Estas horas pico de sol serían considerando el panel en posición horizontal. Hay que considerar que para aprovechar mejor el rendimiento de los paneles, éstos se orientan con un ángulo de inclinación sobre la horizontal, lo que supone una ganancia en la cantidad de energía recibida; por ello en el resultado de la relación de equivalencia sumaremos el 20%. La radiación se toma la más baja del período de uso de la instalación:

**Uso permanente - Radiación en el mes de diciembre.**

**Fines de semana y verano - Radiación en el mes de julio.**

**En el caso del ejemplo que planteábamos:**

Radiación en Madrid en el mes de diciembre =  $130 \text{ cal/cm}^2 \cdot \text{día}$

Teniendo en cuenta que  $1 \text{ Langley} = 1 \text{ cal/cm}^2 \cdot \text{día}$ , Tenemos que:

$$130 \text{ cal} \cdot \text{cm}^2 \cdot \text{día} = \mathbf{130 \text{ Langley}}$$

Siendo HPS:

$$\text{HSP} = 130 \text{ Langley} \cdot 0,0116 = 1,508 \text{ HSP}$$

Estas horas pico de sol más el 20% darán: **1,8096 HSP.**

## 2.2 Cálculo de la potencia del generador

Una vez hayamos determinado la energía consumida en Wh/día por la instalación, así como determinado las horas pico de sol, pasaremos a calcular la potencia nominal que deben proporcionar los paneles fotovoltaicos para hacer frente a la instalación.

$$P_{\text{Gfv}} = \frac{E}{\text{HPS}}$$

$P_{\text{Gfv}}$  = Potencia que se requiere en vatios del generador fotovoltaico.

E = Energía que consume la instalación al día en Wh/día.

HPS = Horas pico de sol de la región en que nos encontremos.

En el supuesto de que queramos tener en consideración el uso anual de la instalación que estamos calculando, las anteriores magnitudes deberían recoger esta anualidad, es decir:

$P_{\text{Gfv}}$  = Potencia que se requiere en vatios del generador fotovoltaico.

E = Energía que consume la instalación al año en Wh/año.

HPS = Horas picos de sol de la región en que nos encontremos, determinadas a partir de la radiación media anual incidente en el día.

De esta forma la potencia del generador fotovoltaico sería:

$$P_{\text{Ofv}} = \frac{E}{365 \cdot \text{HPS}} \Rightarrow P_{\text{Ofv}} = \frac{100 \text{ Wh/día}}{1,8096 \text{ HPS}} = 55,26 \text{ W}$$

 **ejemplo**

**¿Cuál será el consumo de energía realizado por los aparatos eléctricos de una determinada vivienda si consumen por término medio entre todos ellos un total de 500 W, estando conectados una media de 1,5 horas diarias?**

$$E = P \cdot t = (500 \text{ W} \cdot 1,5 \text{ h}) = 750 \text{ Wh/día}$$

**2.3 Cálculo de la batería de acumuladores**

Como ya hemos visto, los acumuladores son los encargados de almacenar la energía eléctrica, para su utilización cuando la necesitamos, y los paneles no la estén generando.

A la hora de calcular la capacidad del acumulador que debemos emplear tendremos que tener en cuenta su autodescarga. Luego al valor deseado le sumaremos los Ah correspondientes para compensar la autodescarga y así obtener los Ah de capacidad del acumulador a utilizar.

En el cálculo del acumulador también se tendrá en cuenta si la vivienda es de uso permanente o no, ya que para simplificar los cálculos en viviendas de utilización diaria se hace de la manera siguiente:

$$C_{acu} = \frac{E \cdot D_{Auto}}{U}$$

$C_{acu}$  = Capacidad del acumulador en Ah.

$E$  = Energía consumida al día en Wh/día.

$D_{Auto}$  = Días de autonomía. Aunque no saliese el Sol en los días de autonomía que nosotros hayamos considerado a la hora de hacer los cálculos, no habría ningún problema en la instalación.

$U$  = Tensión de utilización 12 ó 24 V.

**En nuestro ejemplo:**

$$C_{acu} = \frac{100 \text{ Wh/día} \cdot 7 \text{ días de autonomía}}{12 \text{ voltios}} = 58,33 \text{ Ah}$$

Siempre se utilizará un acumulador con una capacidad comercial y de algo más de capacidad para compensar pérdidas. Por lo que se refiere a la carga se da un coeficiente del orden de 1,2 veces los Ah exigidos para la utilización.

## 2.4 Autodescarga de los acumuladores

Es sabido que debido a su resistencia interna, los acumuladores sufren una descarga lenta, que llega a vaciados si no se repone la energía perdida. El coeficiente de autodescarga de cada acumulador viene fijado por el fabricante. Para un acumulador de Pb-Ca de bajo mantenimiento, tomaremos por ejemplo el mantenimiento de la carga del orden de 0,5 mAh por cada amperio de capacidad del acumulador referido a 10horas.

Por lo que la autodescarga del acumulador será:

$$AD_{Acu} = C_{AD} \cdot C_{acu} \cdot 24 \text{ horas} \cdot U$$

$AD_{Acu}$  = Autodescarga del acumulador.

$C_{AD}$  = Coeficiente de autodescarga del acumulador que viene fijado por el fabricante.

$C_{acu}$  = Capacidad del acumulador en Ah.

24 horas, que tiene el día.

$U$  = Tensión de servicio del acumulador.

**En nuestro ejemplo, esta autodescarga supone:**

$$AD_{Acu} = (0,0005 \cdot 58,33 \text{ Ah} \cdot 24 \text{ horas} \cdot 12) = \mathbf{8,399 \text{ Wh/día}}$$

Al cabo de un año, esta autodescarga supondría:

$$AD_{Acu} = (0,0005 \cdot 58,33 \text{ Ah} \cdot 24 \text{ horas} \cdot 365 \cdot 12) = \mathbf{3065,635 \text{ Wh/año}}$$

Y la potencia generada en un año por el panel de 55,26W:

$$PG_{año} = PG_{fv} \cdot HPS \cdot 365 \text{ días}$$

**Suponiendo en nuestra instalación:**

$$PG_{\text{año}} = (55,26 \cdot 5,4840 \text{ HPS} \cdot 365 \text{ días}) = \mathbf{110.611,73 \text{ Wh/año}}$$

Para el cálculo de la energía generada a lo largo de todo el año, se calcula con la HPS media anual que es de 5,4840. Se aprecia que se generan 110.611,73 Wh/año, y como en la autodescarga de la batería se consumen 3.065,635 Wh/año y el consumo anual de la lámpara de 36.500 Wh/año, suponiendo un consumo anual entre ambos conceptos de 39.565,634 Wh/año, por tanto comparando la energía que se genera y la que se consume, se comprueba que la instalación funcionaría, teniendo además una autonomía de días sin radiación fotónica de 7 días.

El regulador viene determinado por la intensidad máxima que proporcione el generador fotovoltaico. En ese momento, a través del regulador, que evitará que la batería se sobrecargue o se sobredescargue en exceso, podremos consumir energía, pero sólo a 12 V.

Otra forma de calcular la instalación sería partiendo de unos datos como serían conociendo el tipo de panel fotovoltaico y sus principales características; pasaremos a detallarlo a continuación:

### Intensidad necesaria

La intensidad que será necesaria que el generador fotovoltaico proporcione será igual al cociente entre la intensidad media diaria que requiere la instalación aumentada en un 20% para compensar pérdidas y las horas pico de sol en el lugar elegido para la instalación.

En el ejemplo que hemos venido utilizando a lo largo de todo el apartado de diseño e instalación del sistema sería iguala:

$$I = \frac{E}{U}$$

U = Voltaje nominal del acumulador [V].

I = Intensidad media diaria en la instalación, al voltaje nominal [A].

E = Energía media consumida al día [Wh].

**En nuestro ejemplo:**

$$I = \frac{100 \text{ Wh}}{12 \text{ V}} = \mathbf{8,33 \text{ A}}$$

Por otra parte;  $I_{Treq}$  = **Intensidad total requerida del sistema.**

$$I_{Treq} = \frac{I + 20\% \text{ para compensar pérdidas}}{HPS}$$

**De donde, en nuestro ejemplo:**

$$I_{Treq} = \frac{8,33 \text{ A} + 20\%}{1,8003} = 5,55 \text{ A.}$$

Si elegimos un panel que tiene 4,70 A (valor nominal) **el número de paneles necesarios** será de:

$$N^{\circ}_{Gfv} = \frac{I_{Treq}}{I_{Gfv}}$$

$N^{\circ}_{Gfv}$  = Número de generadores fotovoltaicos.

$I_{Treq}$  = Intensidad total requerida del sistema.

$I_{Gfv}$  = Intensidad que proporciona cada generador fotovoltaico.

**En nuestro caso:**

$$N^{\circ}_{Gfv} = \frac{5,55 \text{ A}}{4,70 \text{ A}} = 1,18 \text{ paneles}$$

### 3. Cálculo de la sección de los conductores

Para calcular la sección de los conductores que se deben utilizar en conexiones, paneles-regulador, regulador-acumulador, acumuladores-utilización, etc., tendremos en cuenta la fórmula que nos expresa la sección del cable en función de la longitud, de la resistencia R y de la resistividad  $\rho$ , propia de cada tipo de metal empleado (normalmente se utiliza el cobre)

$$S = \rho \cdot \frac{L \cdot I}{V}$$

S = sección del conductor. [m<sup>2</sup>].

$\rho$  = resistividad del conductor [ $\Omega \cdot m$ ].

L = Longitud del conductor [m].

I = Intensidad de corriente [A].

V = Voltaje [V].

Los conductores de unión del panel al regulador, del regulador al acumulador y del acumulador al convertidor serán lo más corto posible y de gran sección para evitar pérdidas y que puedan llegar a calentarse y aún quemarse, ya que por ellos circulará una gran intensidad. Según la fórmula, la sección es directamente proporcional a la corriente y a la longitud, por tanto al aumentar una de estas dos variables tendremos que aumentar la sección.

En general no deben ser inferiores a los 25 mm<sup>2</sup> de sección. Los conductores de salida del convertidor para alimentar la red de alterna son los normales de una instalación convencional. Para la distribución de corriente continua hay que tener en cuenta la longitud del conductor y el número de puntos de luz, para saber la intensidad que va a circular por él. Los puntos más alejados podrán tener menor sección (unos 6 mm<sup>2</sup>).

La sección de los conductores irá aumentando a medida que nos acerquemos al acumulador, pues el cable de salida de la batería soporta toda la corriente que luego se va distribuyendo por los puntos de luz en paralelo, a lo largo del tendido eléctrico.

Para la utilización de bombas de corriente continua el conductor será como mínimo de 25 mm<sup>2</sup>, atendiendo a la potencia que consuma. Es conveniente conectar estos cables a la salida del acumulador y del automático para no alterar el funcionamiento del resto de la instalación. Por tanto, para calcular la sección del cable siempre tendremos que considerar la corriente que va a circular a través de ellos.

Este tipo de instalación, tanto para pequeñas tensiones (12 ó 24 V), como para tensiones normales (230 V) en C.C o C.A, le son aplicables todos los artículos, instrucciones y tablas del REBT que les afecten a las instalaciones por su carácter o naturaleza.

## 4. Resumen de normas prácticas para la instalación de sistemas eléctricos fotovoltaicos

- Disponer los paneles orientados al Sur (hemisferio Norte terrestre) con el ángulo idóneo para el mejor aprovechamiento de la radiación solar.
- Evitar sombras parciales sobre células o paneles producidas por obstáculos naturales o artificiales.
- Utilizar siempre los terminales de conexión adecuados.
- Las estructuras sólidas y bien ancladas asegurarán la resistencia al viento.
- No taladrar jamás los marcos metálicos de los paneles, ya que se corre el riesgo de hacer estallar el cristal al ser normalmente sensible a las vibraciones.
- Utilizar las secciones de conductor adecuadas a la intensidad que va a circular por ellos. Disponer de una más elevada no representa nada más que ventajas al reducir al máximo la caída de tensión.
- Los elementos de regulación paralelo (shunt) se dispondrán en posición vertical para favorecer la disipación del calor.
- Si se prevé insertar reguladores paralelos (shunt) en armarios de control, no olvidar dejar suficiente ventilación para eludir la acumulación de calor que perjudicaría al resto de los componentes.
- Realizar los cuadros de control con una información al usuario lo suficientemente sencilla, sin acumular datos que no sirvan o no pueda descifrar.
- Situar el cuadro de control y regulación cerca de los acumuladores.
- El uso de fusible o magnetotérmicos que permitan proteger la instalación y desconectarla del acumulador se puede decir que es imprescindible.
- Preservar los conductores siempre bajo tubo u otra buena protección contra humedades y agentes ambientales.
- Situar los elementos de acumulación sobre pequeñas bancadas aislantes.

- Revisar el nivel del electrolito y comenzar el primer día de instalación con la batería completamente cargada.
- Disponer una cubierta que cubra los bornes de los acumuladores para evitar cortocircuitos que puedan producirse por la caída, sobre éstos, de algún elemento metálico.
- Situar los convertidores cc/ca lo más cerca posible de los acumuladores, utilizando sección de conductor gruesa.
- Instalar siempre los equipos de iluminación donde produzcan el máximo rendimiento.
- Es recomendable, cuando las distancias son grandes, pasar a trabajar con tensiones más elevadas, si esto es posible.
- No ahorrar en la calidad de los materiales que van a ser utilizados. Debemos tener en cuenta que el poco dinero ahorrado puede verse ampliamente sobrepasado si algún elemento fallara y tuviéramos que desplazamos a la instalación para su reparación. No olvidemos que muchas de las instalaciones están aisladas y con difícil acceso.
- En los lugares donde las tormentas son frecuentes, deberemos utilizar descargadores de sobretensiones capaces de derivar a tierra picos de tensión que se inducen en las líneas y pueden producir problemas en los circuitos integrados de los equipos electrónicos.
- Si las distancias del tendido de distribución son grandes, es aconsejable acometer la instalación utilizando inversores cc/ca que eviten secciones de conductor grandes.
- En el supuesto anterior, hay que utilizar siempre puntos de luz de bajo consumo (fluorescentes con reactancia electrónica).

## ? autoevaluación

**1. ¿Qué dos datos importantes hay que considerar en el estudio de un sistema de electricidad fotovoltaica?**

**2. ¿Cuáles son los cálculos más importantes a la hora de diseñar una instalación de energía eléctrica solar fotovoltaica que alimente una determinada vivienda?**



## respuestas autoevaluación

### 1. ¿Qué dos datos importantes hay que considerar en el estudio de un sistema de electricidad fotovoltaica?

- Situación del lugar en donde vamos a hacer la instalación, ya que no es lo mismo si el emplazamiento es hacia el Norte o al Sur.
- Utilización de la instalación, en Wh/día. Si se va a hacer uso de ella todo el año o sólo algunas temporadas. Número de puntos de luz, tipos de acumuladores, etc. Un estudio más detallado de esto se dispondrá al considerar la instalación.

### 2. ¿Cuáles son los cálculos más importantes a la hora de diseñar una instalación de energía eléctrica solar fotovoltaica que alimente una determinada vivienda?

- Cálculo del consumo de energía diaria que se va a realizar.
- Cálculo de las horas pico de sol por día.
- Cálculo de la potencia del generador.
- Cálculo de la batería de acumuladores.
- Cálculo de la autodescarga de los acumuladores.

## Glosario de términos

---

**Pb-Ca** : Símbolos químicos del Plomo y el Calcio

**Radiación fotónica:** Radiación energética de luz

**CC:** Corriente continua

**CA:** Corriente alterna



**GRUPO FONDO FORMACIÓN**

*FONS  FORMACIÓ*

*FONDO  FORMACION*  
*enskadi*



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



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



**FUNDACIÓN METAL**  
ASTURIAS



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

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