

# Unidad 1

## Componentes de una instalación solar fotovoltaica



### En esta unidad aprenderemos a:

- Clasificar los tipos de instalaciones de energía solar.
- Identificar los principales parámetros de los paneles solares.
- Describir el funcionamiento de las baterías.
- Describir el funcionamiento del inversor y del regulador.

### Y estudiaremos:

- La célula solar y su funcionamiento.
- Condiciones de funcionamiento de los tipos de baterías.
- Características y modo de empleo del inversor y del regulador, y sus tipos.

## 1. Introducción a la energía solar

La electricidad es una de las formas de energía más versátiles y que mejor se adaptan a cada necesidad. Su utilización está tan extendida que difícilmente podría concebirse una sociedad tecnológicamente avanzada que no hiciese uso de ella.

Hoy día existen miles de aparatos que, bien en forma de corriente continua o de corriente alterna, utilizan la electricidad como fuente de energía, y su uso ha provocado un gran aumento de la demanda de consumo eléctrico.

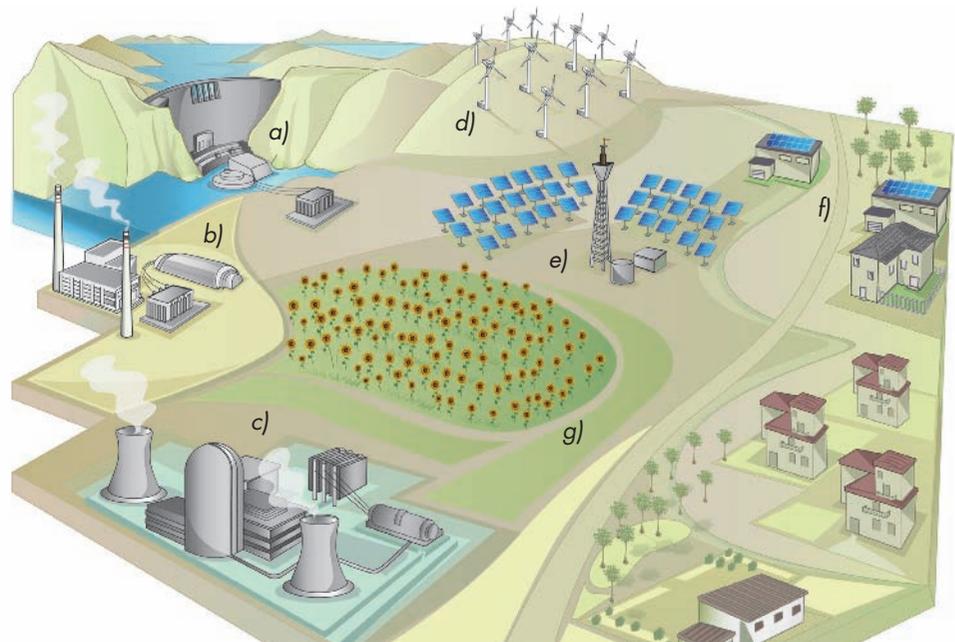
Este hecho ha propiciado la búsqueda de nuevas fuentes de energía y nuevos sistemas de producción eléctrica, basados, fundamentalmente, en el uso de energías renovables.

Los sistemas tradicionales de producción de electricidad tienen una problemática asociada que hace necesario intentar desarrollar otro tipo de fuentes energéticas:

- **Centrales hidráulicas:** el efecto invernadero y el cambio climático hacen que cada vez las sequías sean más prolongadas y, por tanto, no se pueda asegurar la producción estable de electricidad a través de estas centrales.
- **Centrales térmicas:** tienen el problema de que los *combustibles fósiles* son un recurso limitado en el tiempo. Además provocan una gran emisión de gases contaminantes perjudiciales para el efecto invernadero.
- **Centrales nucleares:** tienen el problema de la eliminación de los residuos generados, además del potencial riesgo de un accidente nuclear.

### A Vocabulario

**Combustible fósil:** material formado por una mezcla de compuestos orgánicos, que se extrae del subsuelo, con el fin de ser utilizado como combustible en los sistemas de producción de electricidad. Los más importantes son el carbón, el petróleo y el gas natural.



**Fig. 1.1.** Principales energías renovables y no renovables:  
a) hidráulica; b) térmica;  
c) nuclear; d) eólica;  
e) solar térmica;  
f) solar fotovoltaica;  
g) biomasa;

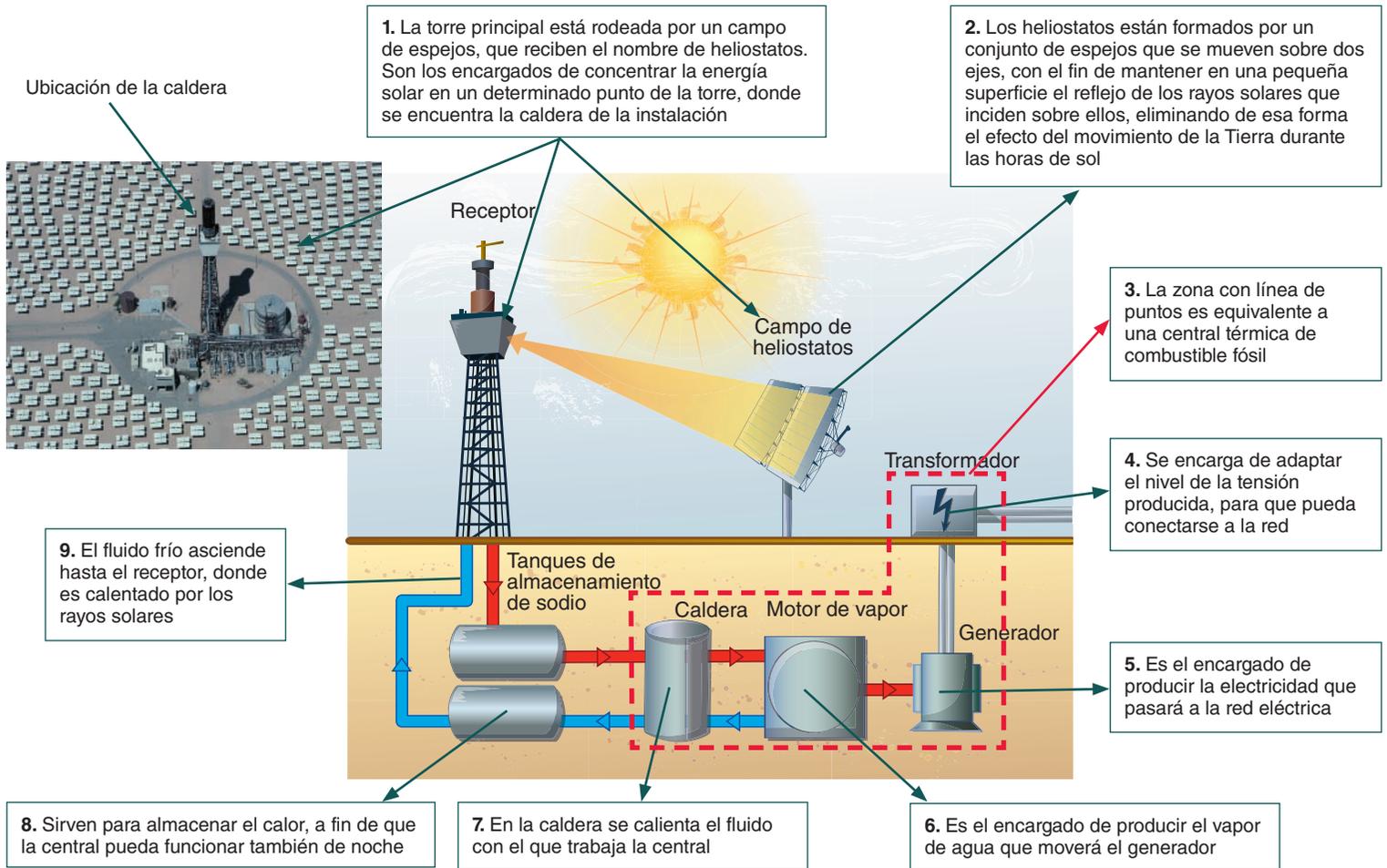
Como ya hemos comentado, la tendencia actual es la utilización de energías renovables. Es aquí donde cobra importancia la energía solar. Varias son las formas de aprovechar el sol para la producción de electricidad; se distingue entre:

- **Métodos indirectos:** el sol se aprovecha para calentar un fluido (que puede ser agua, sodio, sales fundidas...) y convertirlo en vapor, con el fin de producir electricidad mediante el movimiento de un alternador. La producción de la electricidad se realiza mediante un *ciclo termodinámico* convencional, como se haría en una central térmica de combustible fósil. (Ver Fig. 1.2).
- **Métodos directos:** en ellos la luz del sol es convertida directamente a electricidad mediante el uso de las células solares. Se distingue entre *sistemas conectados a red* y *sistemas aislados* (Fig. 1.3).

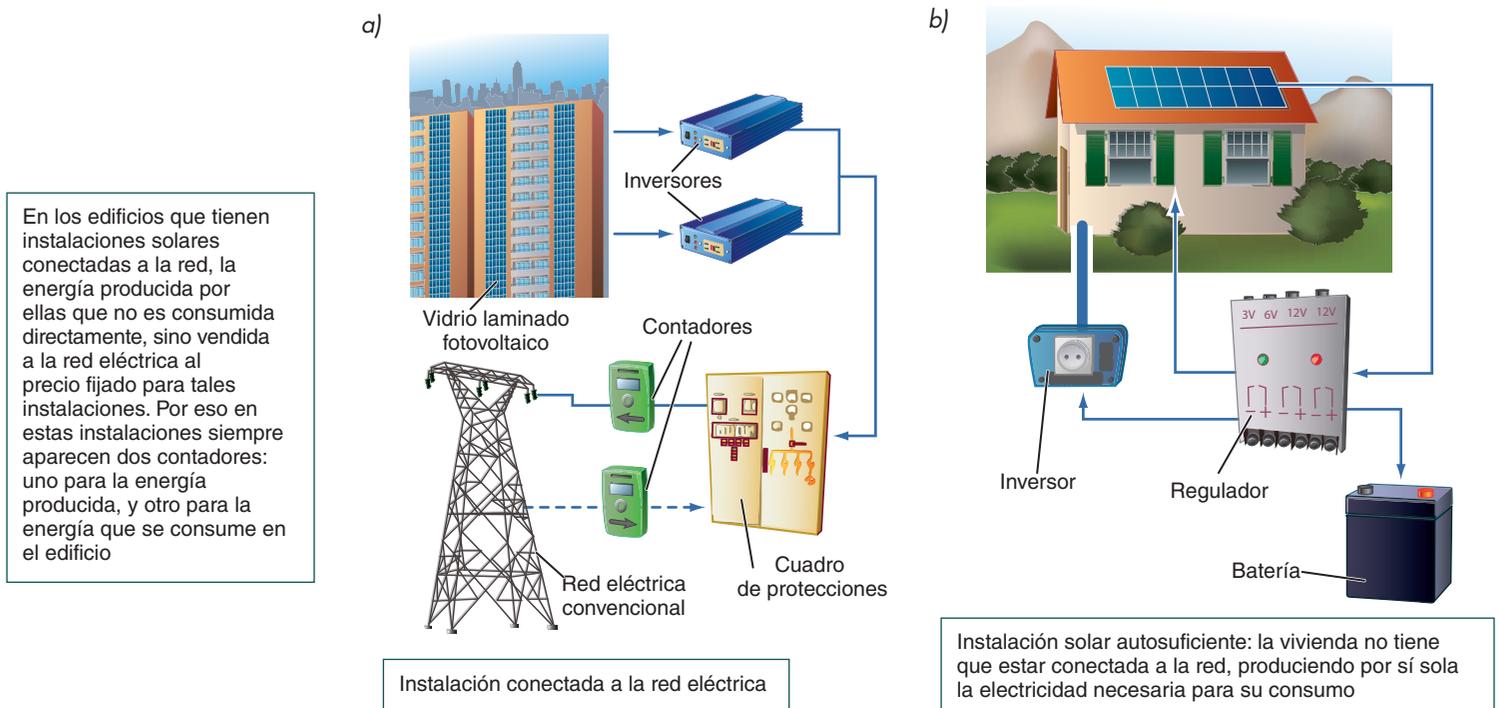
En este libro, nos dedicaremos exclusivamente al estudio de la energía solar fotovoltaica.

### Recuerda

**Ciclo termodinámico:** proceso mediante el cual se transforma la energía térmica en otro tipo de energía, como puede ser la electricidad (el caso de las turbinas de las centrales eléctricas térmicas), movimiento (los motores de los coches, por ejemplo), etc.



**Fig. 1.2.** Esquema de la constitución de una central térmica solar de torre central. Una vez que el fluido pasa por el motor de vapor, se enfría y es elevado (línea azul) hasta el receptor, donde es calentado y enviado hacia abajo (línea roja), para volver a completar el ciclo.



**Fig. 1.3.** Sistema conectado a red (a) e instalación fotovoltaica autónoma (b).

## ● 2. Clasificación de las instalaciones solares fotovoltaicas

La clasificación de las instalaciones solares fotovoltaicas (ISF) la podemos realizar en función de la aplicación a la que están destinadas. Así, distinguiremos entre *aplicaciones autónomas* y *aplicaciones conectadas a la red*.

### ● 2.1 Aplicaciones autónomas

Producen electricidad sin ningún tipo de conexión con la red eléctrica, a fin de dotar de este tipo de energía al lugar donde se encuentran ubicadas. Pueden distinguirse dos bloques:

- **Aplicaciones espaciales:** sirven para proporcionar energía eléctrica a elementos colocados por el ser humano en el espacio, tales como satélites de comunicaciones, la Estación Espacial Internacional (ver cuadro al margen y Fig. 1.4), etc. La investigación en esta área propició el desarrollo de los equipos fotovoltaicos tal y como los conocemos en la actualidad.
- **Aplicaciones terrestres,** entre las que cabe destacar las profesionales:
  - **Telecomunicaciones:** *telefonía rural*, vía radio; *repetidores* (de telefonía, televisión, etcétera).
  - **Electrificación de zonas rurales y aisladas:** estas instalaciones, que se pueden realizar en cualquier lugar, están pensadas para países y regiones en desarrollo y todas aquellas zonas en que no existe acceso a la red eléctrica comercial (en Europa hay cerca de un millón de personas sin acceso a esta red): viviendas aisladas, de ocupación permanente o periódica, refugios de montaña, etc. En ciertos países, como Cuba o Brasil, se emplean en locales comunitarios (consultorios médicos, escuelas) o para abastecer de electricidad a un determinado grupo de personas (un pueblo, una aldea, etc.).
  - **Señalización:** se aplica, por ejemplo, a señales de tráfico luminosas, formadas por diodos LED, alimentados por un panel solar y una batería.
  - **Alumbrado público:** se utiliza en zonas en las que resulta complicado llevar una línea eléctrica convencional.

#### ¿Sabías que...?

Los equipos espaciales despliegan los paneles solares una vez que se encuentran en la posición de la órbita. En algunos casos, la superficie de estos paneles puede ser bastante grande, llegando a ocupar, como en el caso de la Estación Espacial Internacional, una superficie de 2.500 m<sup>2</sup>. Estos paneles son capaces de entregar una potencia de 110 kW.



Fig. 1.4. La Estación Espacial Internacional.

Generador fotovoltaico

Centro de distribución: desde aquí sale la instalación que lleva la electricidad a los usuarios finales



Fig. 1.5. Central FV aislada en el desierto de Nevada.

- **Bombeo de agua:** estas instalaciones están pensadas para lugares tales como granjas, ranchos, etc. Se pueden realizar en cualquier lugar. Su uso puede ser tanto para agua potable como para riego.
- **Redes VSAT:** redes privadas de comunicación (para una empresa, un organismo oficial, etc.) que actúan a través de satélite. La energía solar se utiliza para alimentar las estaciones de la red.
- **Telemetría:** permite realizar medidas sobre variables físicas y transmitir la información a una central (p. ej.: control de la pluviometría de la cuenca de un río).
- **Otras aplicaciones:** juguetes, alumbrado en jardines, divertimentos.

## 2.2. Aplicaciones conectadas a la red

En ellas, el productor no utiliza la energía directamente, sino que es vendida al organismo encargado de la gestión de la energía en el país. Tienen la ventaja de que la producción de electricidad se realiza precisamente en el periodo de tiempo en el que la curva de demanda de electricidad aumenta, es decir, durante el día, siendo muy importantes los kilovatios generados de esta forma. Cabe distinguir:

- **Centrales fotovoltaicas y huertos solares:** recintos en los que se concentra un número determinado de instalaciones fotovoltaicas de diferentes propietarios con el fin de vender la electricidad producida a la compañía eléctrica con la cual se haya establecido el contrato (Fig. 1.6). La energía vendida puede estar a nombre de una persona, una sociedad, etc. (la potencia instalada depende de las dimensiones del generador fotovoltaico). Cada instalación tiene su propietario y todas ellas se ubican en el mismo lugar. Esto posibilita mejoras en el mantenimiento de la instalación, vigilancia, pólizas de seguros, etc.
- **Edificios fotovoltaicos:** es una de las últimas aplicaciones desarrolladas para el uso de la energía fotovoltaica. La rápida evolución en los productos de este tipo ha permitido el uso de los módulos como material constructivo en cerramientos, cubiertas y fachadas de gran valor visual. Además, la energía fotovoltaica es el sistema de energías renovables más adecuado para la generación de electricidad en zonas urbanas sin provocar efectos ambientales adversos. La integración arquitectónica consiste en combinar la doble función, como elemento constructivo y como productor de electricidad, de los módulos fotovoltaicos (Fig. 1.7).

La mayoría de estos sistemas han sido integrados en tejados, porque es allí donde alcanzan la máxima captación de energía solar, pero últimamente se está comenzado a integrarlos en muros y fachadas, en las que, por ejemplo el vidrio es reemplazado por módulos de láminas delgadas semitransparentes. En el ejemplo de la Fig. 1.7 se muestra la integración de los paneles solares en la fachada del edificio. A la hora de realizar este tipo de instalaciones se tienen en cuenta consideraciones estéticas (en la elección del tipo de panel), además de las relacionadas con el rendimiento energético.



Fig. 1.6. Huerto solar.



Fig. 1.7. Ejemplo de edificio fotovoltaico. La fachada está formada por paneles solares.

### Actividades

1. Localiza en Internet alguna empresa que se dedique a la realización de instalaciones solares conectadas a red y estudia las características de alguna instalación realizada por ellos.
2. ¿Cómo se clasifican las instalaciones fotovoltaicas?
3. ¿Qué aplicaciones puede tener la energía solar en instalaciones autónomas?
4. Cita algún ejemplo de método indirecto de producir electricidad con energía solar.
5. ¿Para qué sirve una central solar fotovoltaica autónoma? ¿Es igual que un huerto solar? ¿Por qué?

### 3. Elementos de una ISF

De manera general, una instalación solar fotovoltaica (ISF) se ajusta a un esquema como el mostrado en la Fig. 1.8. A lo largo de esta unidad detallaremos el funcionamiento de cada uno de estos elementos.

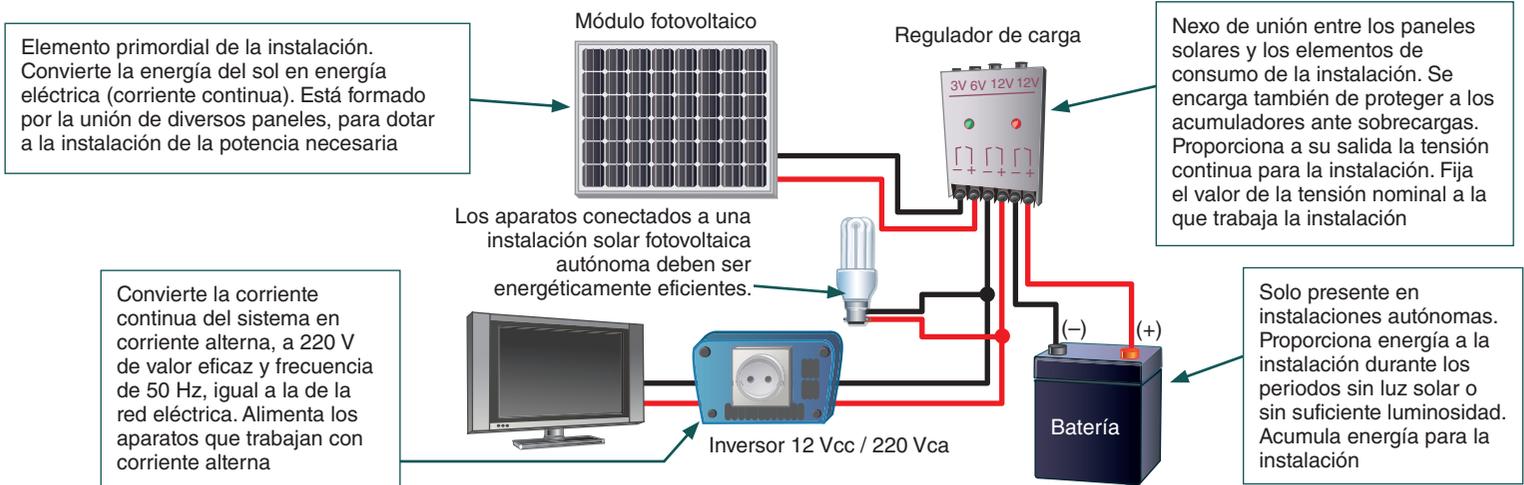


Fig. 1.8. Componentes de la instalación.

#### A Vocabulario

**Diodo:** componente electrónico fabricado con una unión P-N, que tiene la particularidad de conducir la corriente eléctrica solo en un sentido. Su símbolo es:



Si está polarizado con directa.

**Efecto fotovoltaico:** propiedad que tienen determinados materiales de producir una corriente eléctrica cuando incide una radiación lumínica sobre ellos.

#### Actividades

- Busca la clasificación de la clase energética de los electrodomésticos e investiga sus principales características.

### 4. La célula solar: características básicas

El elemento principal de cualquier instalación de energía solar es el generador, que recibe el nombre de **célula solar**. Se caracteriza por convertir directamente en electricidad los fotones provenientes de la luz del sol. Su funcionamiento se basa en el **efecto fotovoltaico**.

Una célula solar se comporta como un *diodo*: la parte expuesta a la radiación solar es la N, y la parte situada en la zona de oscuridad, la P. Los terminales de conexión de la célula se hallan sobre cada una de estas partes del diodo: la cara correspondiente a la zona P se encuentra metalizada por completo (no tiene que recibir luz), mientras que en la zona N el metalizado tiene forma de peine, a fin de que la radiación solar llegue al semiconductor (Fig. 1.9).

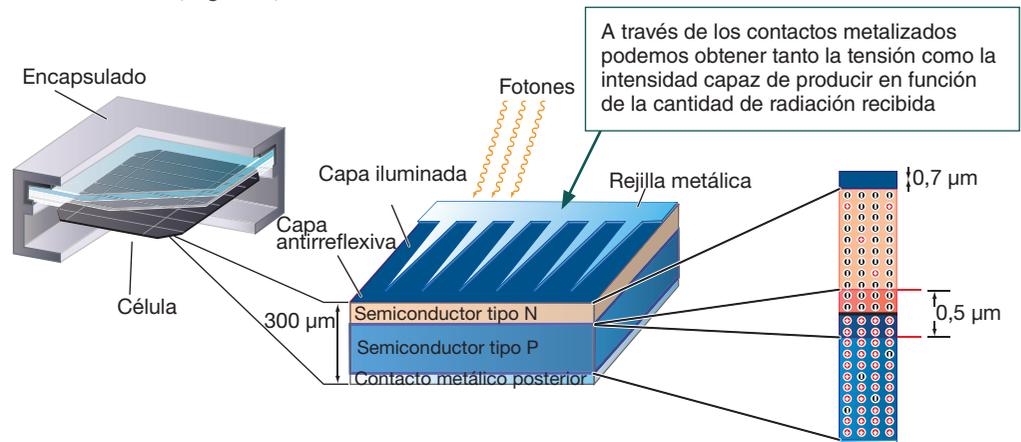


Fig. 1.9. Estructura de la célula solar.

#### Actividades

- Busca las frecuencias que corresponden a cada una de las radiaciones que emite el Sol. ¿Cuáles son las que nosotros podemos ver?

## 4.1. Parámetros fundamentales de la célula solar

- **Corriente de iluminación ( $I_l$ ):** la corriente generada cuando incide la radiación solar sobre la célula.
- **Corriente de oscuridad:** es debida a la recombinación de los pares electrón-hueco que se produce en el interior del semiconductor.
- **Tensión de circuito abierto ( $V_{OC}$ ):** la máxima tensión que se obtiene en los extremos de la célula solar, que se da cuando no está conectada a ninguna carga. Es una característica del material con el que está construida la célula.
- **Corriente de cortocircuito ( $I_{SC}$ ):** máximo valor de corriente que puede circular por la célula solar. Se da cuando sus terminales están cortocircuitados.

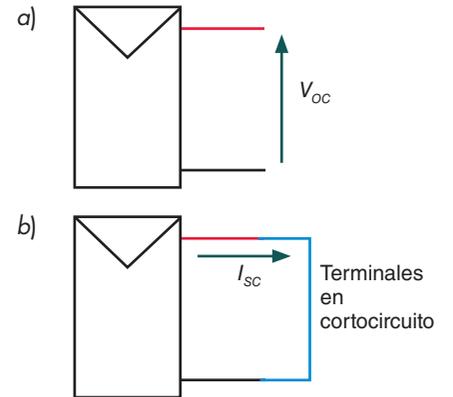
Cuando la célula solar es conectada a una carga, los valores de tensión e intensidad varían. Existirán dos de ellos para los cuales la potencia entregada sea máxima:  $V_m$  (tensión máxima) e  $I_m$  (intensidad máxima), que siempre serán menores que  $V_{OC}$  e  $I_{SC}$ . En función de estos valores, la **potencia máxima** que puede entregar la célula solar será:

$$P_m = V_m I_m$$

Esto nos permite definir un parámetro de la célula solar que recibe el nombre de **factor de forma (FF)** y que se calcula mediante la fórmula:

$$FF = \frac{V_m I_m}{V_{OC} I_{SC}}$$

Así pues, el **factor de forma** es el cociente entre la máxima potencia que puede entregar la célula a la carga y el producto de la tensión de circuito abierto y la corriente de cortocircuito. En las células solares más habituales, los valores típicos de  $FF$  son 0,7 o 0,8.



**Fig. 1.10.** Lugar en que se mide la tensión en circuito abierto (a) y la corriente de cortocircuito (b). El símbolo en forma de «sobre» representa una célula solar.

### Importante

En una célula solar la producción de corriente depende de la **irradiancia** (nivel de iluminación), de tal forma que a medida que aumenta la irradiancia, aumenta la intensidad a través de la célula.

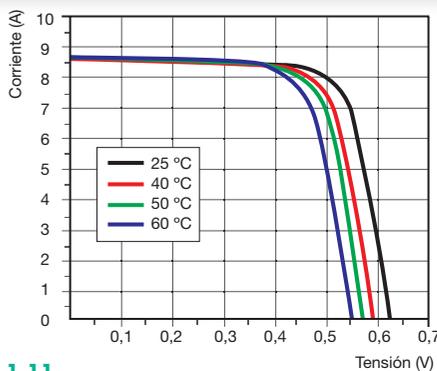
## Caso práctico 1

### Cálculo de la potencia máxima de una célula solar

Calcular el valor de la potencia máxima que puede disipar la célula, a 25 °C, a partir de los datos del fabricante:

Clase de electricidad según I(V <sub>TK</sub> )	Rendimiento [%]	Parámetros eléctricos				
		Rendimiento V <sub>TK</sub> [W]	I (V <sub>TK</sub> = 510 mV) [A]	Factor de llenado [%]	V <sub>OC</sub> [mV]	I <sub>SC</sub> [A]
AH508200	17,5	4,18	8,20	77,3	616	8,82
AH508100	17,3	4,13	8,10	77,2	615	8,74
AH508000	17,1	4,08	8,00	77,1	615	8,59
AH507900	16,9	4,03	7,90	76,9	615	8,56
AH507800	16,6	3,98	7,80	76,7	614	8,49
AH507700	16,4	3,93	7,70	76,2	612	8,48

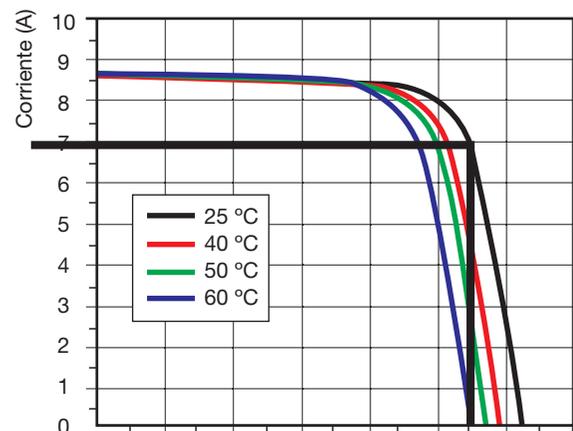
Todos son valores medios, todos los datos +/- 3 %. Medición de la clase de célula con V<sub>TK</sub> = 510 mV.



**Fig. 1.11**

Tensión máxima:  
 $V_m = 545 \text{ mV}$

### Solución



**Fig. 1.12**

Trazamos una línea desde el valor de  $V_m$  hasta que corte con la gráfica que corresponde a 25 °C. Desde aquí, yendo al eje Y, obtenemos el valor de  $I_m = 7 \text{ A}$ . La potencia máxima la calculamos a partir de la fórmula:

$$P_m = V_m I_m = 0,545 \text{ V} \cdot 7 \text{ A} = 3,815 \text{ W}$$

Elementos de una ISF
• Módulo fotovoltaico.
• Regulador de carga.
• Batería.
• Inversor.

## 5. El panel solar

Un **panel solar** o **módulo fotovoltaico** está formado por un conjunto de células, conectadas eléctricamente, encapsuladas, y montadas sobre una estructura de soporte o marco. Proporciona en su salida de conexión una tensión continua, y se diseña para valores concretos de tensión (6 V, 12 V, 24 V...), que definirán la tensión a la que va a trabajar el sistema fotovoltaico.

En la Fig.1.13 se destacan las principales características de todo panel solar y puede verse un esquema típico de su construcción.

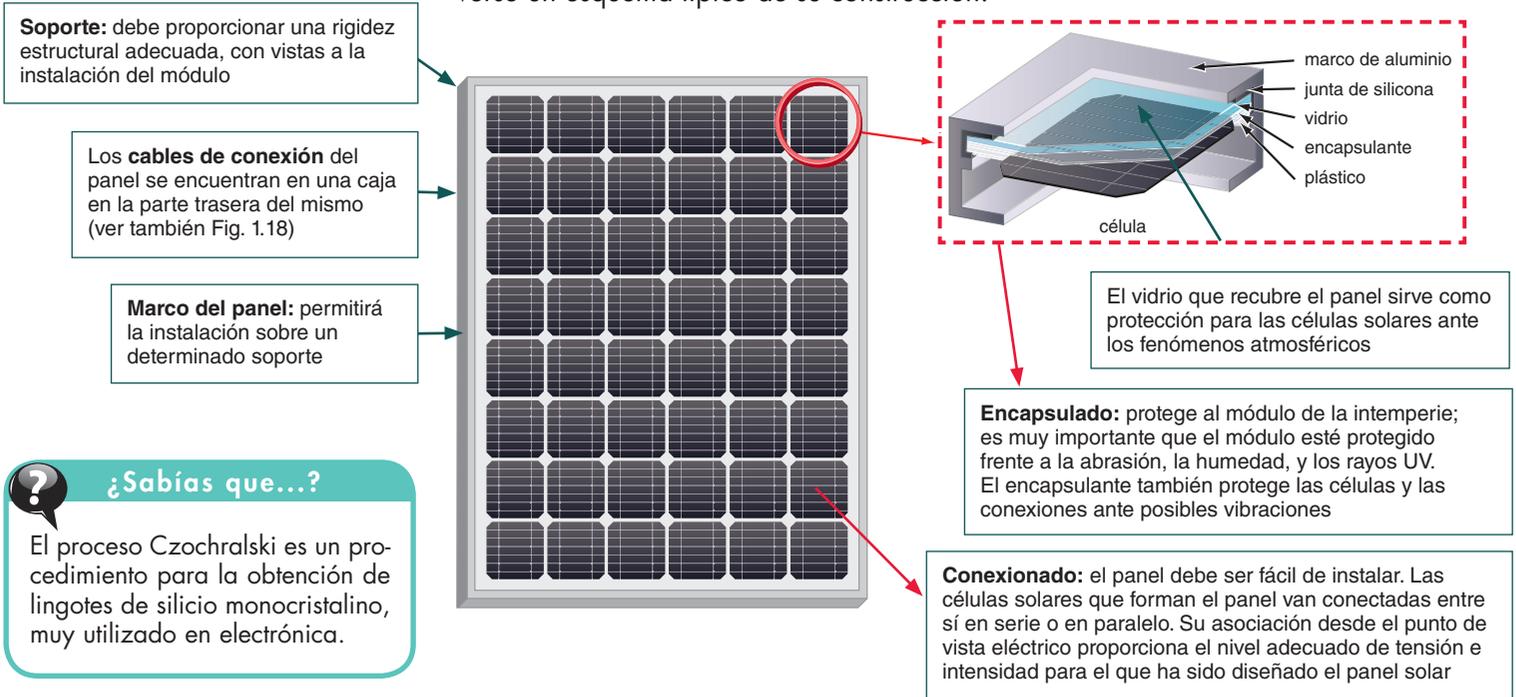


Fig. 1.13. Constitución de un panel solar. Se destacan sus principales características.

Los tipos de paneles solares vienen dados por la tecnología de fabricación de las células, y son fundamentalmente:

- Silicio cristalino (monocristalino y multicristalino).
- Silicio amorfo.

En la Tabla 1.1 podemos observar las diferencias que existen entre ellos.

Células	Silicio	Rendimiento laboratorio	Rendimiento directo	Características	Fabricación
	Monocristalino	24 %	15 - 18 %	Son típicos los azules homogéneos y la conexión de las células individuales entre sí (Czochralski).	Se obtiene de silicio puro fundido y dopado con boro.
	Policristalino	19 - 20 %	12 - 14 %	La superficie está estructurada en cristales y contiene distintos tonos azules.	Igual que el del monocristalino, pero se disminuye el número de fases de cristalización.
	Amorfo	16 %	< 10 %	Tiene un color homogéneo (marrón), pero no existe conexión visible entre las células.	Tiene la ventaja de depositarse en forma de lámina delgada y sobre un sustrato como vidrio o plástico.

Tabla 1.1. Diferencias entre los paneles según la tecnología de fabricación.

## 5.1. Potencia de la célula solar

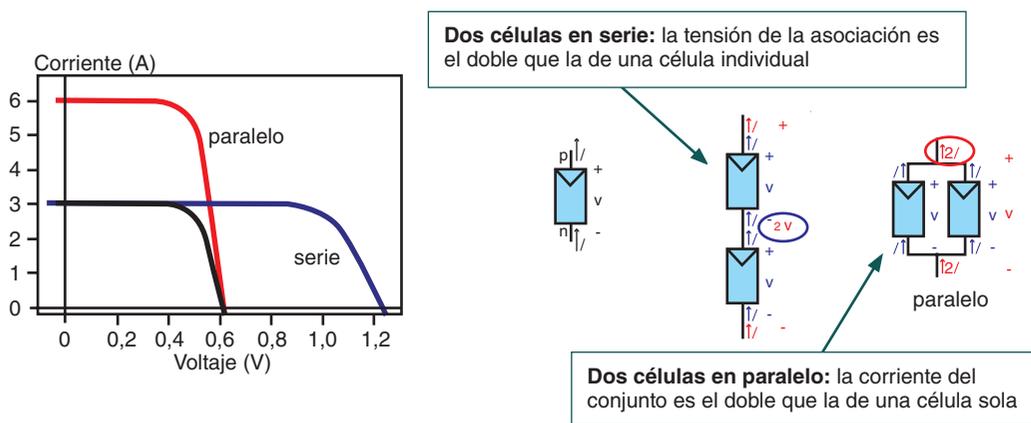
La potencia que proporciona una célula de tamaño estándar (digamos de  $10 \times 10$  cm) es muy pequeña (en torno a 1 o 2 W), por lo que generalmente será necesario tener que asociar varias de ellas con el fin de proporcionar la potencia necesaria al sistema fotovoltaico de la instalación. Es de este hecho de donde surge el concepto de *panel solar* o *módulo fotovoltaico*, cuyos elementos y características acabamos de ver.

Según la conexión eléctrica que hagamos de las células, nos podemos encontrar con diferentes posibilidades:

- La **conexión en serie** de las células permitirá aumentar la tensión final en los extremos de la célula equivalente.
- La **conexión en paralelo** permitirá aumentar la intensidad total del conjunto.

### Importante

Los elementos conectados en serie tienen todos la misma corriente, mientras que los elementos asociados en paralelo tienen todos la misma tensión.



**Fig. 1.14.** Asociación de células solares. Si necesitamos aumentar la tensión, las uniremos en serie; si lo que queremos es aumentar la corriente, haremos la asociación en paralelo.

### Caso práctico 2

#### Asociación de células en serie y paralelo

Para montar un sistema de iluminación en el jardín de una casa de campo, necesitamos un panel solar capaz de proporcionar a su salida una tensión de 6 V, y una corriente máxima de 9 A. Para ello contamos con unas células solares cuyas características son:

$$V_{OC} = 0,6 \text{ V}$$

$$I_{SC} = 3 \text{ A}$$

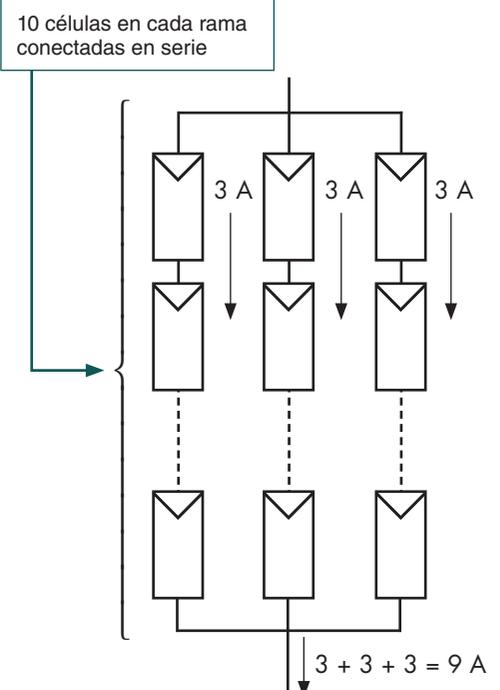
$$\text{Dimensiones: } 10 \times 10 \text{ cm}$$

Explica cómo habría que conectar las células para obtener los valores pedidos.

#### Solución

Para obtener el valor de tensión pedido, habría que hacer una asociación en serie de las células fotovoltaicas. Como cada una es capaz de proporcionar una tensión máxima de 0,6 voltios, sería necesario conectar diez de dichas células en serie para obtener la tensión de 6 voltios. Cada uno de estos grupos sería capaz de proporcionar una intensidad máxima de 3 amperios. Como se nos pide que el módulo proporcione una corriente de 9 A, tendríamos que conectar en paralelo un total de tres módulos de 10 células.

$$\text{Numero total de células} = 10 \times 3 = 30$$



**Fig. 1.15**

## 5.2. Principales parámetros. Curvas características

A la hora de trabajar con los paneles solares nos interesa saber qué datos nos proporciona el fabricante, con el fin de utilizarlos correctamente. En los catálogos aparecen todos aquellos parámetros que nos son de utilidad a la hora de realizar el diseño de la instalación.

Entre toda la información que proporciona el fabricante, vamos a ir viendo cuál puede ser de mayor relevancia, desde el punto de vista práctico, a la hora de elegir un panel solar.

No obstante, hay que tener cuidado, ya que los valores proporcionados por el fabricante son obtenidos siempre en unas determinadas condiciones de irradiación solar y temperatura ambiente. En la práctica siempre existirá una pequeña desviación sobre los valores teóricos cuando el panel esté colocado en la instalación.

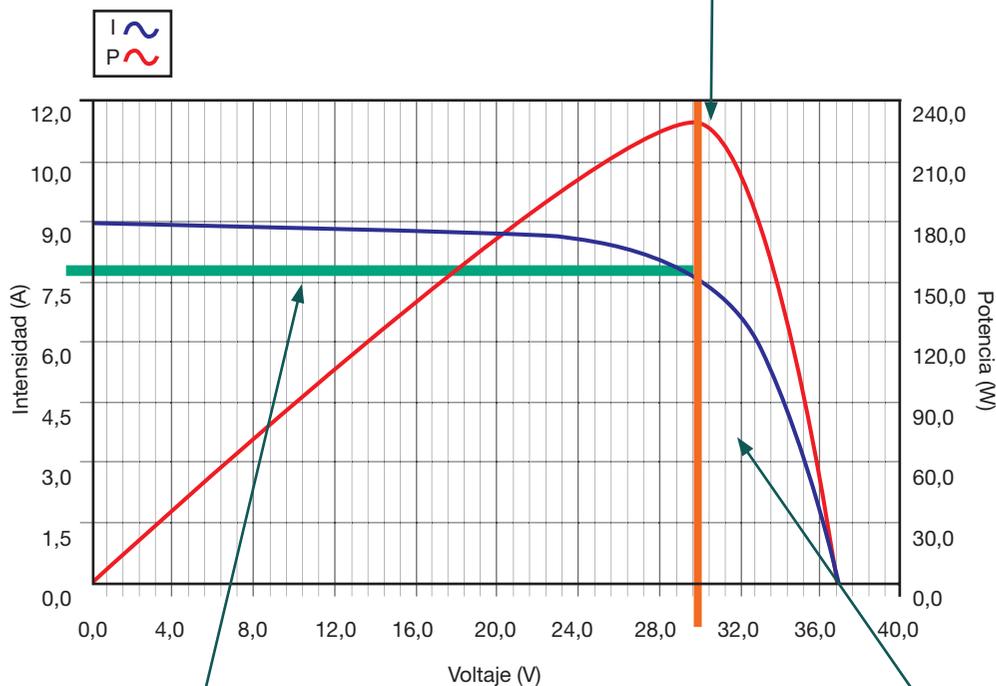


### Caso práctico 3

#### Obtención de los valores de tensión e intensidad en el panel cuando se está entregando la máxima potencia.

Dada la siguiente gráfica de un panel solar, facilitada por el fabricante, obtén los valores de  $I_m$  y  $V_m$ . Esta gráfica es análoga a la que vimos en el Caso Práctico 1 para una célula solar independiente.

La **curva de potencia** (en rojo) se obtiene multiplicando los valores de tensión e intensidad dados por la gráfica I-V (en azul). Los valores de esta gráfica se leen en el eje de la derecha, que está calibrado en vatios (W). Así, si trazamos una línea desde el pico de la gráfica hasta el eje, vemos que obtenemos un valor aproximado de 240 W.



Si trazamos una línea horizontal desde el punto de corte con la gráfica azul hasta el eje Y, obtenemos el valor de  $I_m$ . En este caso será  $I_m = 7,5$  A V

Si trazamos una línea vertical desde el punto de máxima potencia, donde corte a la gráfica azul, bajando hasta el eje X, obtenemos el valor de  $V_m$ . En este caso será  $V_m = 32$  V

Fig. 1.16

## Caso práctico 4

## Interpretación de una hoja de características

A partir de la hoja dada por el fabricante de un panel solar, vamos a analizar cómo interpretar los datos que en ella aparecen.

## Tabla de características eléctricas

Cada columna corresponde a un modelo concreto de panel. En este caso están definidos por la potencia máxima que pueden suministrar

Datos eléctricos		221	224	227	230	233	W
Potencia máxima ( $\pm 3\%$ )	Pmpp	221	224	227	230	233	
Tens. punto de máx. potencia	Vmpp	28,33	28,65	28,76	29,1	29,1	V
Corriente punto máx. potencia	Impp	7,8	7,81	7,9	7,9	8,01	A
Tensión de circuito abierto	Voc	36,56	36,73	36,81	36,7	36,8	V
Corriente en cortocircuito	Isc	8,41	8,53	8,7	8,58	8,61	A

Datos referidos a condiciones estándar de ensayo (STC): radiación de 1000 W/m<sup>2</sup> con espectro AM 1,5 y temperatura de célula 25°C.

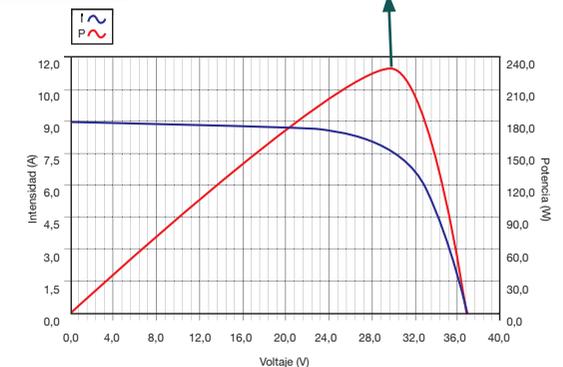
Coeficientes de temperatura			
Coeficiente de potencia	Tk (Pmpp)	-0,44	%/°C
Tensión en vacío	Tk (Voc)	-126	mV/°C
Corriente en cortocircuito	Tk (Isc)	2,1	mA/°C

**Potencia máxima ( $P_{mpp}$ ):** es un valor de pico, es decir, es la máxima potencia que puede entregar el panel en un determinado momento. El panel funcionará correctamente en la instalación en la que va a ser colocado si este valor es superior al del consumo máximo (en vatios) para el que se ha diseñado el sistema fotovoltaico

**Tensión en el punto de máxima potencia ( $V_{mpp}$ ):** es el valor en voltios de la tensión que proporcionará el panel cuando esté trabajando en el valor de potencia  $P_{mpp}$

**Intensidad en el punto de máxima potencia ( $I_{mpp}$ ):** es el valor de la corriente proporcionada por el panel cuando se encuentra en el punto de máxima potencia

**Intensidad de cortocircuito ( $I_{sc}$ ):** intensidad que circula por el panel cuando la salida está cortocircuitada



**Tensión en circuito abierto ( $V_{oc}$ ):** tensión en los terminales de conexión cuando no hay ninguna carga conectada en el panel

## Características físicas

El fabricante nos da una descripción del aspecto físico del panel: medidas, peso, materiales con los que está construido, etc. Estos valores serán importantes a la hora de elegir los soportes para la sujeción del mismo.

## Características del producto:

- Vidrio solar altamente transparente de 4 mm y marco de aluminio anodizado para una perfecta estabilidad y una larga duración
- Células monocristalinas de 156x156 mm con elevados niveles de eficiencia.
- Conexiones eléctricas con conectores Tyco
- Potencias: 221Wp, 224Wp, 227Wp, 230Wp y 233Wp
- Tensión nominal del sistema: 1.000 V
- Medidas: 1.674 x 998 x 40 mm.
- Peso: 23 kg.

## Variación de parámetros con la temperatura

El fabricante nos proporciona los coeficientes de temperatura sobre los parámetros que debemos tener en cuenta a la hora de la colocación del panel. Estos nos dan idea de la variación que sufren los parámetros del panel a medida que aumenta la temperatura.

Coeficientes de temperatura		
Coeficiente de potencia	Tk (Pmpp)	-0,44 %/°C
Tensión en vacío	Tk (Voc)	-126 mV/°C
Corriente en cortocircuito	Tk (Isc)	2,1 mA/°C

Ejemplo: la potencia disminuye un 0,44 % por cada grado centígrado que aumenta la temperatura

## 5.3 Agrupamiento y conexión de paneles

### Importante

La conexión de paneles en serie aumentará la tensión final de la instalación, y la intensidad será igual para todos los módulos. Si los módulos son diferentes, **la intensidad la fijará aquel cuyo valor sea menor.**

Dependiendo de la instalación que estemos desarrollando, y de la aplicación para la que se ha diseñado, existe la posibilidad de utilizar un solo panel o un conjunto de paneles que se montarán agrupados sobre un determinado soporte y conectados entre sí eléctricamente.

En aplicaciones de poca potencia, es posible hasta la utilización de paneles solares flexibles, que permitirán aplicaciones como alimentar un equipo de comunicaciones, recargar la batería de un teléfono, etc.

Cuando necesitamos una potencia elevada que no se puede obtener con un único módulo fotovoltaico, se recurre a la conexión en grupo de varios paneles solares.

### Caso práctico 5

#### Agrupamiento de paneles solares

En el montaje de una instalación fotovoltaica, se van a utilizar paneles solares cuyas características se dan a la derecha:

La potencia total que se espera consumir en la instalación es de 40 W, trabajando a 12 voltios DC. Decidir qué tipo de panel utilizar, cuántos paneles son necesarios y de qué forma habría que conectarlos.

#### Solución

La primera consideración sería ver de qué forma podemos obtener la potencia total. Dado que conviene siempre hacer agrupaciones de paneles que tengan las mismas características eléctricas, que sean iguales, podríamos colocar:

- 8 módulos del modelo A-5.
- 4 módulos del modelo A-10.
- 2 módulos del modelo A-20.

CARACTERÍSTICAS ELECTRICAS		ELECTRICAL SPECIFICATIONS		CARACTÉRISTIQUES ELECTRIQUES		
Modèle	Nº de cellules	Puissance en test ±10%	Courant au point de puissance max	Tension au point de puissance max	Courant de court-circuit	Tension de circuit ouvert
Modèle	Nº de cellules	Potencia en prueba ±10%	Corriente en punto de máxima potencia	Tensión en punto de máxima potencia	Corriente de cortocircuito	Tensión de circuito abierto
A-5	36 1/3 de 3,3"	5 W	0,29 A	17,0 V	0,34 A	21,8 V
A-10	36 1/3 de 3,3"	10 W	0,59 A	17,0 V	0,69 A	21,8 V
A-20	36 1/3 de 4"	20 W	1,18 A	17,0 V	1,40 A	21,0 V

En todos ellos la tensión que proporcionan está por encima de los 12 voltios necesarios, y podemos asociarlos en paralelo para obtener el valor de potencia deseado.

Además de las características eléctricas, habría que tener en cuenta otras consideraciones, como espacio disponible, dimensiones de los módulos, coste de los mismos, etc. Podemos concluir que si no existe ninguna restricción como las que acabamos de comentar, la forma más fácil de realizar la instalación sería con dos módulos del modelo A-20 conectados en paralelo.



Fig. 1.17. Caja de conexiones de un módulo fotovoltaico.

La conexión de los módulos fotovoltaicos se realiza por la parte posterior de los mismos, en una caja de conexiones preparada para tal fin (Fig. 1.17). Esta caja de conexión contiene los diodos de protección (diodos de *bypass*), que solo dejarán pasar la corriente en un sentido, y se opondrán a la circulación de la misma en el sentido contrario. Tienen varias misiones:

- Impedir que las baterías de la instalación se descarguen a través de los paneles.
- Evitar que se invierta el flujo de corriente entre bloques interconectados en paralelo cuando en alguno de ellos se produce una sombra.
- Proteger individualmente cada panel de posibles daños ocasionados por sombras parciales que se produzcan por circunstancias especiales.

### Actividades

8. Elige de un catálogo de un fabricante de paneles solares los siguientes elementos:
  - Dos paneles cuya tensión de salida sea 12 V, y que tengan distintas potencias máximas.
  - Dos paneles cuya tensión de salida sea 24 V, y de dos potencias máximas distintas.

## 6. El regulador

Para un correcto funcionamiento de la instalación, hay que instalar un sistema de regulación de carga en la unión entre los paneles solares y las baterías. Este elemento recibe el nombre de **regulador** y tiene como misión evitar situaciones de carga y sobredescarga de la batería, con el fin de alargar su vida útil.

El regulador trabaja por tanto en las dos zonas. En la parte relacionada con la carga, su misión es la de garantizar una carga suficiente al acumulador y evitar las situaciones de sobrecarga, y en la parte de descarga se ocupará de asegurar el suministro eléctrico diario suficiente y evitar la descarga excesiva de la batería (Fig. 1.18).

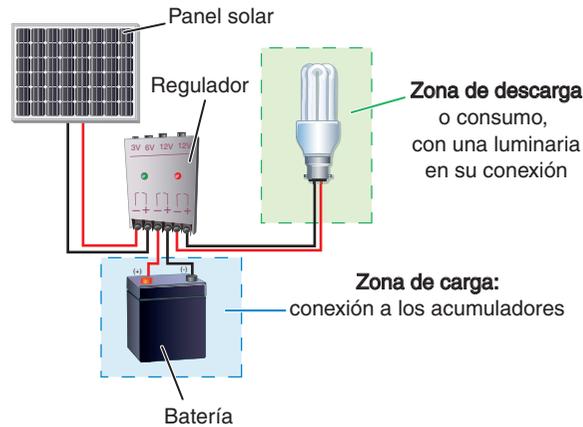


Fig. 1.18. Conexiones del regulador en una instalación fotovoltaica.

Dado que los módulos solares tienen una tensión nominal mayor que la de la batería, si no existiera regulador se podrían producir sobrecargas.

El motivo de que esta tensión nominal de los paneles sea así se debe fundamentalmente a dos razones:

- Atenuar posibles disminuciones de tensión por el aumento de la temperatura.
- Asegurar la carga correcta de la batería. Para ello la tensión  $V_{OC}$  del panel deberá ser mayor que la tensión nominal de la batería.

El dimensionado de la instalación solar se realiza de manera que se asegure el suministro de energía en las peores condiciones de luminosidad del sol. Por ello se toman como referencia los valores de irradiación en invierno. Esto puede provocar que en verano la energía aportada por los módulos solares sea en ocasiones casi el doble de los cálculos estimados, por lo que, si no se conecta el regulador entre los paneles y las baterías, el exceso de corriente podría llegar incluso a hacer hervir el electrolito de los acumuladores, con el riesgo que ello conlleva.

En la Tabla 1.2 se recogen posibles clasificaciones de los tipos de reguladores.

Los fabricantes nos proporcionarán los valores de trabajo del regulador sobre una hoja de características. En estas hojas aparecerán:

- Características físicas del regulador: peso, dimensiones, material empleado en su construcción, etc.
- Características eléctricas.
- Normas de seguridad que cumple.

También hay que considerar otro tipo de aspectos, como pueden ser medidas de seguridad, etc. El regulador debe proteger tanto la instalación como a las personas que lo manejen, por lo que deberá llevar sistemas que proporcionen las medidas de seguridad adecuadas para cada uno de los casos. Los fabricantes nos proporcionan también este tipo de información.

### Elementos de una ISF

- Módulo fotovoltaico.
- Regulador de carga.
- Batería.
- Inversor.

### Tipo de regulador

Según tecnología del interruptor	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Relé electromecánico.</li> <li>• Estado sólido (MOSFET, IGBT...).</li> </ul>
Según estrategia de desconexión del consumo	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Por tensión.</li> <li>• Por algoritmos de cálculo del estado de carga.</li> <li>• Por otros algoritmos de gestión de la energía.</li> </ul>
Según posición del interruptor de control de generación	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Serie.</li> <li>• Paralelo.</li> </ul>

Tabla 1.2. Posibles clasificaciones de los tipos de reguladores, según diversos conceptos.

### Ten cuidado

En todos los equipos e instalaciones en los que se esté manejando corriente continua (DC) hay que tener cuidado con la polaridad. Este tipo de corriente tiene polo positivo y polo negativo, y una equivocación en la conexión puede provocar problemas importantes, como la rotura de equipos, etc.

**Actividades**

9. En una instalación autónoma, que trabaja a 12 V, queremos instalar unas bombillas de corriente continua cuyo consumo total es de 50 W. Consulta en Internet un catálogo de componentes para instalaciones solares y elige un regulador adecuado para la instalación (no tengas en cuenta las características para la carga de la batería).

En los catálogos se nos indica el tipo de regulación que lleva (si es serie o paralelo), el tipo de batería que podemos conectar a la salida del equipo, así como todas las alarmas que proporciona ante un mal funcionamiento, y las protecciones que lleva. Como en todos los equipos, se hace mención de la temperatura a la que va a trabajar el aparato y la posible influencia que pueda tener esta sobre el correcto funcionamiento del mismo (no es igual realizar una instalación en una zona de frío extremo que en una zona cálida).

El esquema de conexión del regulador en una instalación será el siguiente:

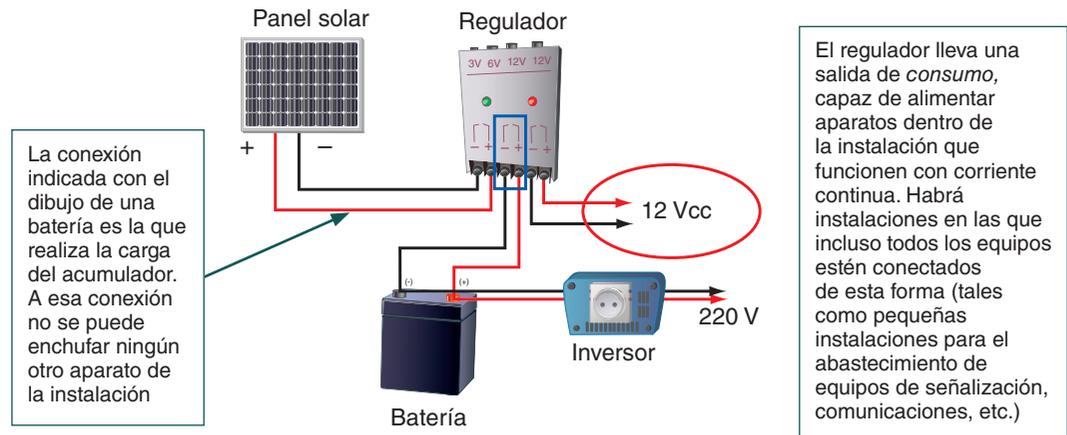


Fig. 1.19. Esquema de conexión del regulador en la instalación.

**Caso práctico 6**

**Análisis de la hoja de características de un regulador (Fabricante: Ecoesfera – Solener)**

MODELO	DSS 30	DSD 30	DSD 50
Dimensiones	172 x 105 x 24 mm.	172 x 160 x 24 mm.	172 x 160 x 24 mm.
Peso	0,6 kg	0,7 kg.	0,7 kg.
Caja	Chapa de acero galvanizada	Chapa de acero galvanizada	Chapa de acero galvanizada
Pintura	Epoxi al horno	Epoxi al horno	Epoxi al horno
Grado de estanqueidad	IP 32	IP 32	IP 32
Tensión nominal	Bitensión selección automática 12-24 V	Bitensión selección automática 12-24 V	Bitensión selección automática 12-24 V
Intensidad máxima de generación	30 A	30 A	50 A
Intensidad máxima de consumo	30 A	30 A	30 A
Sobrecarga admisible	25%	25%	25%
Autoconsumo	< 30mA	< 30mA	< 30mA
Pérdida máxima generación/consumo	< 1,8W/2,4W	< 3,6W/3,6W	< 2,5W/1,2W
Capacidad de las clemas	40 A	40 A	60 A

**Sobrecarga:** porcentaje sobre el valor nominal que aguanta el regulador sin romperse

**Autoconsumo:** cantidad de energía que necesita el regulador para su propio funcionamiento. En el ejemplo viene dado en valores de intensidad (< 30 mA). Hay que tener en cuenta que este valor se debe considerar a la hora de hacer el dimensionado de la instalación, para que funcione de manera correcta

Características del regulador modelo DSD 50

Algunas de las características físicas del modelo elegido y normas de seguridad que cumple (en este caso IP 32)

**Tensión nominal:** es la tensión de trabajo de la instalación, y se corresponde con la tensión nominal de las baterías. En el ejemplo se puede configurar para que trabaje a 12 o 24 voltios

**Intensidad máxima en generación:** será la recibida desde los módulos solares

**Intensidad máxima de consumo:** intensidad a proporcionar a la parte de la instalación donde se van a conectar los equipos del usuario

**Pérdida máxima generación/consumo:** es un valor relacionado con las caídas de tensión internas. Es importante porque puede llegar a modificar las tensiones de trabajo y produce pérdidas de energía

## 7. Acumuladores. Tipos de baterías

La llegada de la energía solar a los módulos fotovoltaicos no se produce de manera uniforme, sino que presenta variaciones por diferentes motivos. Algunas de estas variaciones son predecibles, como la duración de la noche o las estaciones del año, pero existen otras muchas causas que pueden producir alteraciones de manera aleatoria en la energía recibida, como puede ocurrir con un aumento de la nubosidad en un determinado instante.

Este hecho hace necesario utilizar algún sistema de almacenamiento de energía para aquellos momentos en que la radiación recibida sobre el generador fotovoltaico no sea capaz de hacer que la instalación funcione en los valores diseñados. Para ello se utilizarán las *baterías* o *acumuladores*.

Las **baterías** son dispositivos capaces de transformar la energía química en eléctrica. El funcionamiento en una instalación fotovoltaica será el siguiente:

Energía eléctrica (generación) → **Energía química (almacenamiento)** → Energía eléctrica (consumo)

Las baterías son recargadas desde la electricidad producida por los paneles solares, a través de un regulador de carga, y pueden entregar su energía a la salida de la instalación, donde será consumida.

Tres son las misiones que tienen las baterías en las instalaciones fotovoltaicas:

- Almacenar energía durante un determinado número de días.
- Proporcionar una potencia instantánea elevada.
- Fijar la tensión de trabajo de la instalación.

Uno de los parámetros más importantes que tener en cuenta a la hora de elegir un acumulador es la **capacidad**. Se define como la cantidad de electricidad que puede lograrse en una descarga completa del acumulador partiendo de un estado de carga total del mismo. Se mide en amperios hora (Ah), y se calcula como el producto de la intensidad de descarga del acumulador durante el tiempo en el que está actuando:  $C = tI$ .

### Elementos de una ISF

- Módulo fotovoltaico.
- Regulador de carga.
- Batería.
- Inversor.

### Ten cuidado

Cuando se dimensiona una instalación, los paneles solares deben tener siempre una tensión de trabajo superior a la fijada por las baterías, para que el proceso de carga de las mismas y el funcionamiento del regulador sean correctos.

### Actividades

10. Elige la capacidad del acumulador que necesitaríamos en una instalación fotovoltaica cuyo consumo es de 400 W durante 30 horas seguidas. La tensión de trabajo del sistema es de 24 voltios.

### Caso práctico 7

#### Cálculo del tiempo de descarga de una batería solar

En una instalación fotovoltaica, cuya tensión de trabajo es de 12 voltios, se está utilizando un acumulador cuya capacidad es de 200 Ah. Calcular el tiempo que tarda en descargarse cuando se conecta a la salida un aparato cuya potencia consumida es de 120 vatios.

#### Solución

Lo primero que tenemos que calcular es la intensidad que va a circular por la instalación cuando esté conectado el

aparato. Si aplicamos la fórmula del cálculo de la potencia para obtener la intensidad:

$$P = VI \Rightarrow I = \frac{P}{V} = \frac{120}{12} = 10 \text{ A}$$

Según la definición dada de capacidad, la corriente de descarga será, por tanto, de 10 amperios. Dado que  $C = 200 \text{ Ah}$ , el tiempo en horas que tardará en descargarse el acumulador será:

$$t = \frac{C}{I} = \frac{200}{10} = 20 \text{ horas}$$

Además de la capacidad, debemos considerar otros parámetros en los acumuladores que vamos a utilizar en las instalaciones fotovoltaicas:

- **Eficiencia de carga:** relación entre la energía empleada para recargar la batería y la energía realmente almacenada. Interesa que sea un valor lo más alto posible (próximo al 100 %, lo que indicaría que toda la energía utilizada para la recarga es factible de ser empleada en la salida de la instalación). Si la eficiencia es baja, será necesario aumentar el número de paneles solares para obtener los resultados deseados.

- **Autodescarga:** proceso mediante el cual el acumulador, sin estar en uso, tiende a descargarse.
- **Profundidad de descarga:** cantidad de energía, en tanto por ciento, que se obtiene de la batería durante una determinada descarga, partiendo del acumulador totalmente cargado. Está relacionada con la duración o vida útil del acumulador. Si los ciclos de descargas son cortos (en torno al 20 %, por ejemplo), la duración del acumulador será mayor que si se le somete a descargas profundas (por ejemplo, del 80 %).



### Caso práctico 8

#### Interpretación de la curva de profundidad de descarga de una batería

Para las baterías que queremos colocar en una instalación solar hemos obtenido del catálogo del fabricante la siguiente gráfica:

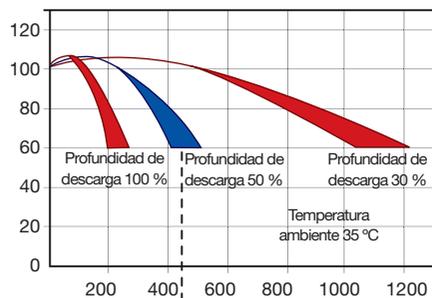


Fig. 1.20

Si queremos que la batería funcione con una profundidad de descarga de aproximadamente el 50%, ¿cuál sería el número de ciclos máximos (de carga y descarga) que podríamos obtener con esta batería? ¿Cuál sería el valor de la capacidad de la misma en ese momento?

#### Solución

Fijándonos en la gráfica, para una profundidad de descarga del 50 %, podemos tener aproximadamente 450 ciclos de carga y descarga de la batería.

El valor de la capacidad disminuirá hasta el 60 % del que nos da el fabricante como valor nominal para la batería.



#### Importante

El fabricante de las baterías suele proporcionar datos sobre el número de ciclos máximo (carga y descarga de la batería) durante la vida útil de la misma. Este valor está relacionado con la profundidad de descarga de la batería.

Además de los parámetros eléctricos, las características que serían deseables para las baterías a utilizar en las instalaciones solares son:

- Buena resistencia al ciclado (proceso de carga-descarga).
- Bajo mantenimiento.
- Buen funcionamiento con corrientes pequeñas.
- Amplia reserva de electrolito.
- Depósito para materiales desprendidos.
- Vasos transparentes.

Existen diferentes tecnologías en la fabricación de baterías, si bien unas son más adecuadas que otras para utilizarlas en las instalaciones solares.

## 7.1. Tipos de baterías

Las baterías se clasifican en función de la tecnología de fabricación y de los electrolitos utilizados. En la Tabla 1.3 podemos comparar los principales tipos de baterías que hay en el mercado, a través de sus características básicas.

Tipo de batería	Tensión por vaso (V)	Tiempo de recarga	Autodescarga por mes	N.º de ciclos	Capacidad (por tamaño)	Precio
Plomo-ácido	2	8-16 horas	< 5 %	Medio	30-50 Wh/kg	Bajo
Ni-Cd (níquel-cadmio)	1,2	1 hora	20 %	Elevado	50-80 Wh/kg	Medio
Ni-Mh (níquel-metal hydride)	1,2	2-4 horas	20 %	Medio	60-120 Wh/kg	Medio
Li ion (ión litio)	3,6	2-4 horas	6 %	Medio - bajo	110-160 Wh/kg	Alto

Tabla 1.3. Características de los principales tipos de baterías.

Las baterías más utilizadas en las instalaciones solares son las de plomo-ácido, por las características que presentan. Dentro de este tipo de baterías nos podemos encontrar diferentes modelos. Vamos a compararlos y analizar cuál es el más adecuado.

La siguiente tabla nos muestra diferentes modelos de baterías de plomo-ácido que se utilizan en la práctica (dependiendo de la aplicación de la instalación), con las ventajas e inconvenientes que pueden presentar.

TIPO	VENTAJAS	INCONVENIENTES	ASPECTO
<b>Tubular estacionaria</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ciclado profundo.</li> <li>• Tiempos de vida largos.</li> <li>• Reserva de sedimentos.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Precio elevado.</li> <li>• Disponibilidad escasa en determinados lugares.</li> </ul>	
<b>Arranque (SLI, automóvil)</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Precio.</li> <li>• Disponibilidad.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Mal funcionamiento ante ciclado profundo y bajas corrientes.</li> <li>• Tiempo de vida corto.</li> <li>• Escasa reserva de electrolito.</li> </ul>	
<b>Solar</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Fabricación similar a SLI.</li> <li>• Amplia reserva de electrolito.</li> <li>• Buen funcionamiento en ciclados medios.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Tiempos de vida medios.</li> <li>• No recomendada para ciclados profundos y prolongados.</li> </ul>	
<b>Gel</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Escaso mantenimiento.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Deterioro rápido en condiciones de funcionamiento extremas de V-I.</li> </ul>	

**Tabla 1.4.** Baterías utilizadas en instalaciones solares.

En aquellas instalaciones en las que vamos a tener *descargas profundas*, elegiremos baterías tubulares estacionarias, así como en las instalaciones en las que necesitemos una capacidad elevada. Es el caso que se da en las instalaciones autónomas de viviendas.

Si la instalación solar es de pequeña dimensión, o de muy difícil mantenimiento, deberemos elegir baterías de gel, vigilando que no se produzcan ciclos de descargas profundos. Un ejemplo puede ser una instalación solar que alimenta un pequeño repetidor en lo alto de un monte.

A la hora de elegir los acumuladores, es importante tener en cuenta el efecto de la temperatura sobre los mismos. La capacidad aumenta a medida que sube la temperatura, y al revés, disminuye cuando baja la temperatura del lugar donde se encuentra ubicada. Si prevemos la posibilidad de que existan temperaturas por debajo de 0 °C en el lugar de la instalación, deberemos elegir un acumulador de capacidad mayor que la calculada en el dimensionado de la instalación, con el fin de que no haya problemas en su funcionamiento.

La construcción del acumulador se realiza conectando vasos individuales hasta obtener las condiciones de tensión y capacidad requeridas en la instalación que estamos realizando, en el caso de la utilización de baterías tubulares estacionarias. En las baterías *monoblock*, deberemos elegir aquella que sea acorde con la tensión de trabajo de la instalación y la potencia que se va a consumir en la misma.

### Vocabulario



Teniendo presente el concepto de *profundidad de descarga de una batería*, a las descargas muy acusadas se les llama **descargas profundas**, y a las ligeras, **descargas superficiales**.

### Actividades



- Consultando un catálogo de baterías tubulares estacionarias, configura un acumulador para una tensión de trabajo de 12 voltios, y que tenga una capacidad de 200 Ah.

## Elementos de una ISF

- Módulo fotovoltaico.
- Regulador de carga.
- Batería.
- Inversor.

## Importante

- La misión del **inversor** en las **instalaciones autónomas** es proporcionar una corriente alterna como la de la red eléctrica, con el fin de que se puedan conectar a la misma electrodomésticos de los utilizados habitualmente en las viviendas. En este caso, las variaciones que pueda sufrir la corriente no tienen la importancia que en el caso de los inversores de las instalaciones conectadas a la red.
- En el caso de las **instalaciones conectadas a red**, el inversor debe proporcionar una corriente alterna que sea de las mismas **características** de la **red eléctrica** a la que está conectado, tanto en forma (senoidal) como en valor eficaz (230 V) y sobre todo en la frecuencia (50 Hz); no se permiten prácticamente variaciones, con el fin de evitar perturbaciones sobre la red eléctrica de distribución.

## 8. El inversor

El inversor se encarga de convertir la corriente continua de la instalación en corriente alterna, igual a la utilizada en la red eléctrica: 220 V de valor eficaz y una frecuencia de 50 Hz.

Es un elemento imprescindible en las instalaciones conectadas a red, y estará presente en la mayoría de instalaciones autónomas, sobre todo en aquellas destinadas a la electrificación de viviendas.

Un esquema de este tipo de instalaciones es el representado en la Fig. 1.21.

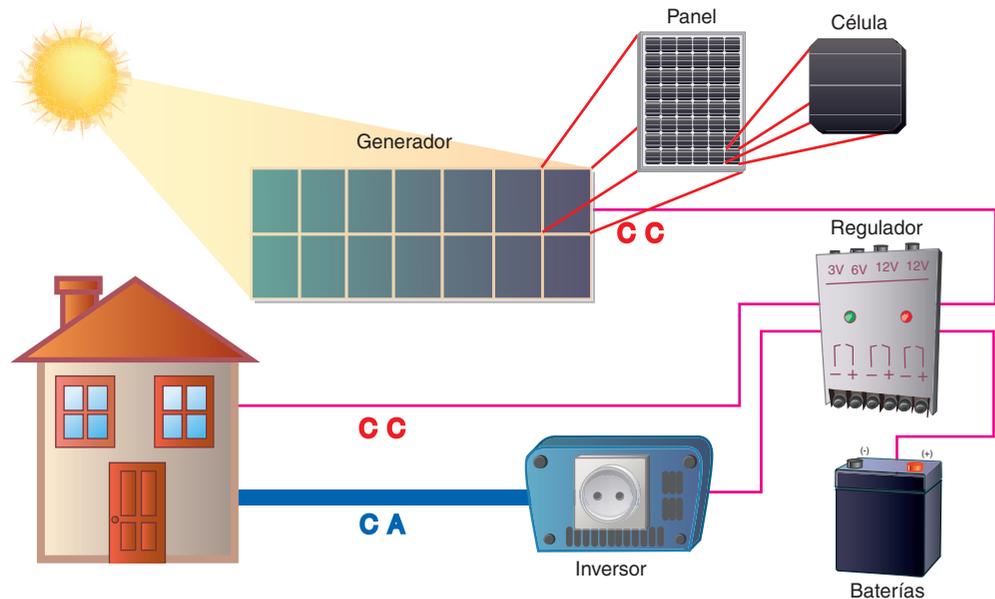


Fig. 1.21. Esquema general de una instalación autónoma con inversor.

En el caso de una instalación conectada a red, el esquema que se seguiría es el representado en la Fig. 1.22.

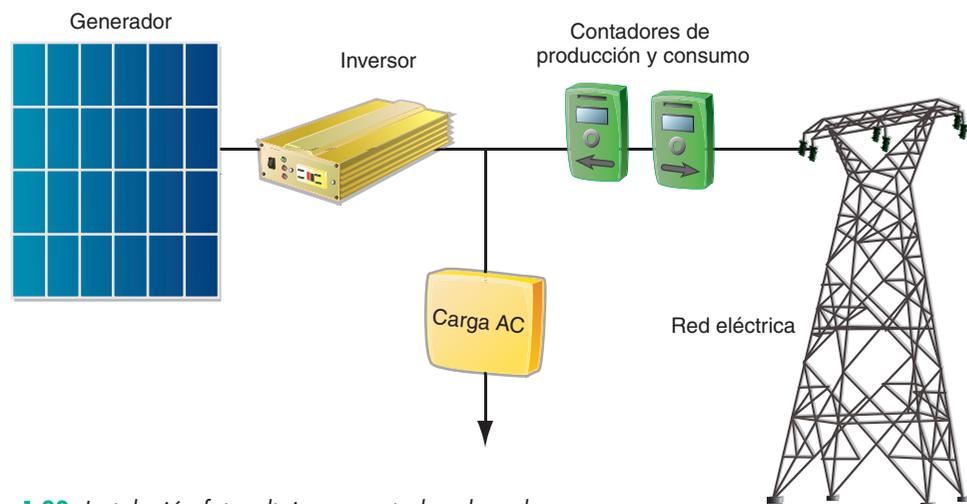


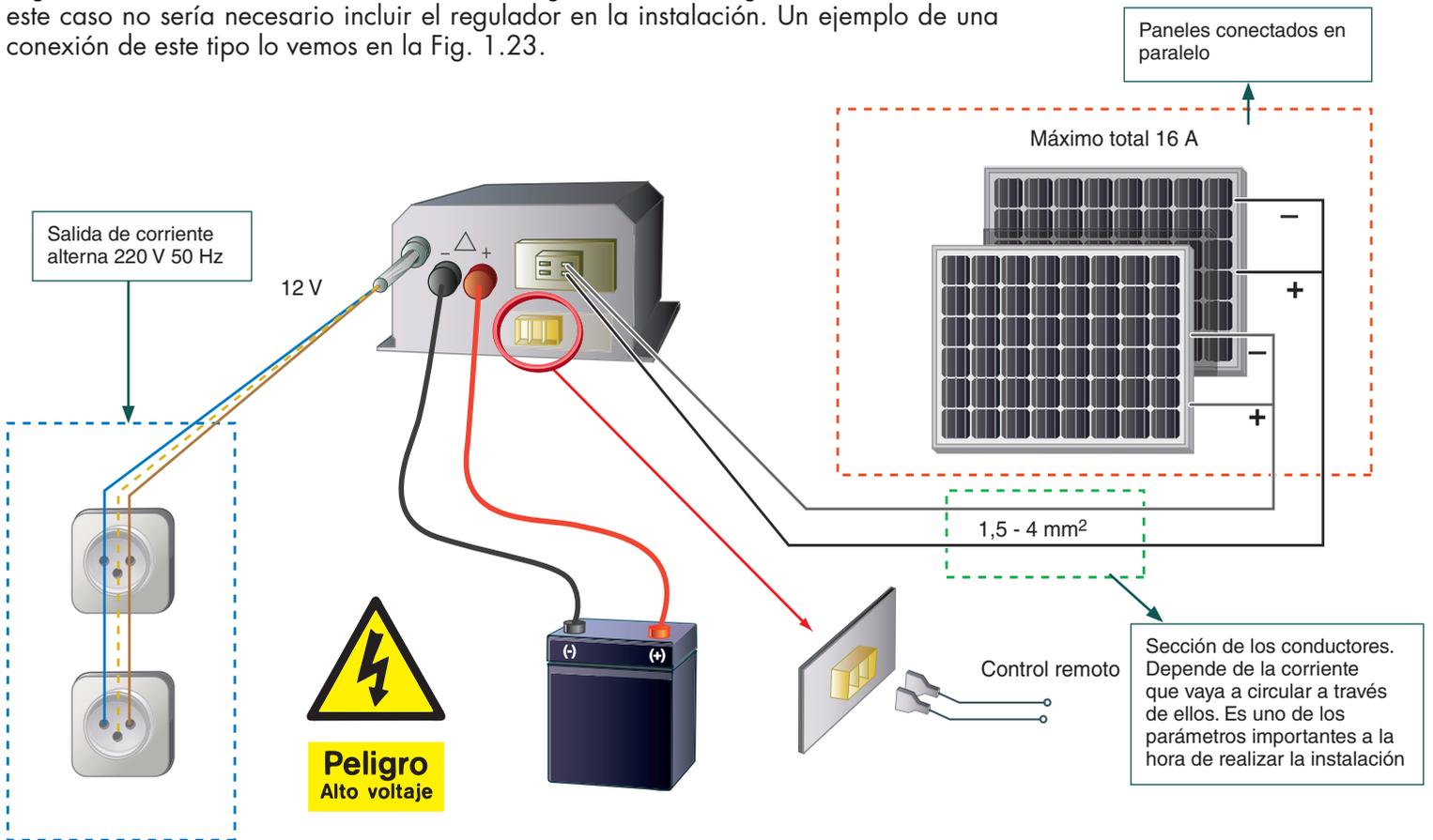
Fig. 1.22. Instalación fotovoltaica conectada a la red.

Como vemos, la principal diferencia entre las dos instalaciones es que en las autónomas se cuenta con los acumuladores para almacenar la energía y los reguladores de carga de los mismos, mientras que en las instalaciones conectadas a la red, la energía no se almacena, sino que se pone a disposición de los usuarios a través de la red eléctrica según se produce. En este tipo de instalaciones existirán equipos de medida, tanto de la energía que se vende a la red eléctrica como del propio consumo de la instalación productora.

Las características deseables para un inversor DC-AC las podemos resumir de la siguiente manera:

- **Alta eficiencia:** debe funcionar bien para un amplio rango de potencias.
- **Bajo consumo en vacío,** es decir, cuando no hay cargas conectadas.
- **Alta fiabilidad:** resistencia a los picos de arranque.
- **Protección contra cortocircuitos.**
- **Seguridad.**
- **Buena regulación de la tensión y frecuencia de salida,** que como ya hemos comentado debe ser compatible con la red eléctrica.

Algunos inversores funcionan también como reguladores de carga de las baterías. En este caso no sería necesario incluir el regulador en la instalación. Un ejemplo de una conexión de este tipo lo vemos en la Fig. 1.23.



**Fig. 1.23.** Conexión de un inversor-regulador en una instalación autónoma a 12 voltios. Además de convertir DC en AC, puede cargar las baterías del sistema.

Podemos observar el cableado, y los colores estándares utilizados en las conexiones. Así, en la parte de continua, para el polo positivo utilizaremos cable de color rojo, y para el negativo, cable de color negro. En la parte de alterna, tendremos tres conductores:

- El de color amarillo-verde para la conexión a tierra.
- El de color azul para el neutro de la instalación.
- El de color marrón para la fase.

En el Caso Práctico 9, sobre la tabla de datos de un modelo comercial, vamos a analizar qué parámetros debemos tener en cuenta a la hora de seleccionar un inversor para nuestra instalación.



## Caso práctico 9

### Análisis de una hoja de características de un inversor

Model SI	612 624 648	812 824	1212 1224 1248	1624	2324 2348	3324	3548
Input voltage (Unom) [V]	12/24/48	12/24	12/24/48	24	24V/48	24	48
Nominal power [W]	600	800	1200	1600	2300	3300	3500
« Standby » current [mA]	25/21/10	25/21	25/21/12	21	25/17	25	30
Power « ON » no load [W]	2.6	2.8	4.8	5.8	9	13	17
Power « ON » no load [W] TWINPOWER system	-----	-----	< 0.5	< 0.5	< 0.6	< 0.7	< 0.8
Maximum efficiency [%]	91	92	93 - 95	93 - 95	95	95	95
Length L x 124 (H) x 215 (W) [mm]	276	276	391	391	591	636	791
Weight [kg]	6.9	10.4	13.2	15.2	27	30	38

**Tensión de entrada:** debe coincidir con la tensión nominal de las baterías

**Potencia nominal:** es la potencia que es capaz de entregar el inversor a la instalación. Siempre será mayor que la que hayamos calculado como consumo de los equipos que van a funcionar en alterna

**Corriente en reposo**

**Rendimiento máximo:** importante, porque nos indicará la potencia real entregada por el conversor, que siempre es menor que la potencia nominal del mismo. Es un factor a tener en cuenta cuando hagamos el dimensionado de la instalación

**Potencia en vacío,** cuando no hay carga conectada

Las características de la salida del inversor están referidas a la corriente alterna.

Algunos de los valores más importantes que el fabricante nos indicará son:

Output voltage	True sine 230 Vac $\pm$ 3%
Distortion	< 2% (at Pnom)
Dynamic behaviour	From 0% to 100% load change. Normalization: 0.5 ms
Frequency	50 Hz $\pm$ 0.01% (Crystal control)

**Forma de la onda:** en este caso se trata de una onda senoidal de 230 V de valor eficaz, y que puede tener una variación del 3 %

**Distorsión:** indica la posible degradación de la onda. Es menor de un 2 % trabajando a la potencia nominal

**Frecuencia de la señal:** debe coincidir con la de la red eléctrica y ser muy estable (en este ejemplo solamente tiene variaciones de un 0,01 %)

Este inversor sería adecuado para una instalación autónoma.

### Importante

La variación de frecuencia en el inversor de la instalación puede producir armónicos (ondas cuya frecuencia es múltiplo de 50Hz). Estos armónicos, dependiendo del valor que tengan, pueden afectar gravemente a la señal, distorsionándola y cambiando sus valores. Por eso los márgenes de variación en este tipo de equipos tienen que ser muy pequeños.

Como hemos visto en el ejemplo, el fabricante nos da la descripción del tipo de onda que genera el equipo. Lo normal es utilizar inversores que den a la salida una onda senoidal, como en este caso, aunque los hay también de onda cuadrada. Estos últimos no pueden ser utilizados en las instalaciones conectadas a red.

El fabricante del inversor nos da también información sobre la posible variación que puede tener la frecuencia de salida (en el caso del ejemplo, nos indica que es de  $\pm$  0,01 % sobre el valor nominal).

En los inversores de instalaciones autónomas este factor puede no ser demasiado importante, pero en los inversores de instalaciones conectadas a la red es un parámetro que debe tenerse muy en cuenta; existe una normativa al respecto que fija cuál es el valor máximo permitido de esta posible variación, en especial los valores indicados en el pliego de condiciones técnicas para instalaciones conectadas a red, del IDAE.

## ● 8.1. Inversores en instalaciones conectadas a red

Como comentábamos antes, este equipo electrónico es el elemento central de una instalación fotovoltaica conectada a la red eléctrica. Además de realizar la conversión de continua a alterna, el inversor debe sincronizar la onda eléctrica generada con la de la corriente eléctrica de la red, para que su compatibilidad sea total. El inversor dispone de funciones de protección, para garantizar tanto la calidad de la electricidad vertida a la red como la seguridad de la propia instalación y de las personas.

Los parámetros que determinan las características y prestaciones de un inversor son los siguientes:

- **Potencia:** determinará la potencia máxima que podrá suministrar a la red eléctrica en condiciones óptimas. La gama de potencias en el mercado es enorme; sin embargo, para los sistemas domésticos existen desde 50 W (miniinversor situado en cada placa) o 400 W (para pequeños campos fotovoltaicos) hasta potencias de varios kilovatios. Muchos modelos están pensados para poderlos *conectar en paralelo*, a fin de *permitir el crecimiento de la potencia total* de la instalación.
- **Fases:** normalmente, los inversores cuya potencia es inferior a 5 kW son monofásicos. Los mayores de 15 kW suelen ser trifásicos. Muchos modelos monofásicos pueden acoplarse entre sí para generar corriente trifásica.
- **Rendimiento energético:** debería ser alto en toda la gama de potencias a las que se trabajará. Los modelos actualmente en el mercado tienen un rendimiento medio situado en torno al 90 %. El rendimiento del inversor es mayor cuanto más próximos estamos a su potencia nominal y, con el fin de optimizar el balance energético, es primordial hacer coincidir la potencia pico del campo fotovoltaico y la potencia nominal del inversor. Si queremos tener un funcionamiento óptimo de la instalación, la potencia de pico del campo fotovoltaico nunca debe ser menor que la potencia nominal del inversor.
- **Protecciones:** el inversor debería incorporar algunas protecciones generales, que, como mínimo, serían las siguientes:
  - *Interruptor automático:* dispositivo de corte automático, sobre el cual actuarán los relés de mínima y máxima tensión que controlarán la fase de la red de distribución sobre la que está conectado el inversor. El rearme del sistema de conmutación y, por tanto, de la conexión con la red de baja tensión de la instalación fotovoltaica, será también automático una vez restablecido el servicio normal en la red.
  - *Funcionamiento «en isla»:* el inversor debe contar con un dispositivo para evitar la posibilidad de funcionamiento cuando ha fallado el suministro eléctrico o su tensión ha descendido por debajo de un determinado umbral.
  - *Limitador de la tensión máxima y mínima.*
  - *Limitador de la frecuencia máxima y mínima.* El margen indicado sería del 2 %.
  - *Protección contra contactos directos.*
  - *Protección contra sobrecarga.*
  - *Protección contra cortocircuito.*
  - *Bajos niveles de emisión e inmunidad de armónicos.*

Es deseable que el estado de funcionamiento del inversor quede reflejado en indicadores luminosos o en una pantalla (funcionamiento anómalo o averías, detención de producción por avería en la red, etc.). También sería conveniente que el inversor ofreciera la posibilidad de ser monitorizado desde un ordenador. Si en la instalación se incluyen determinados sensores, puede aportar datos de radiación, generación solar, energía transformada a corriente alterna, eficiencia, etc.

### Actividades

12. Define los siguientes términos:
  - a) Potencia nominal de un inversor.
  - b) Rendimiento del inversor.
13. Busca diferencias que puede haber entre un inversor para una instalación autónoma y para una instalación conectada a red.

### Ten cuidado

Consulta siempre el manual de instalación cuando vayas a conectar un equipo. En él el fabricante especifica modos de conexión, ajustes, etc., para que el funcionamiento sea el correcto.

Es imprescindible seguir paso a paso las pautas marcadas en el manual.

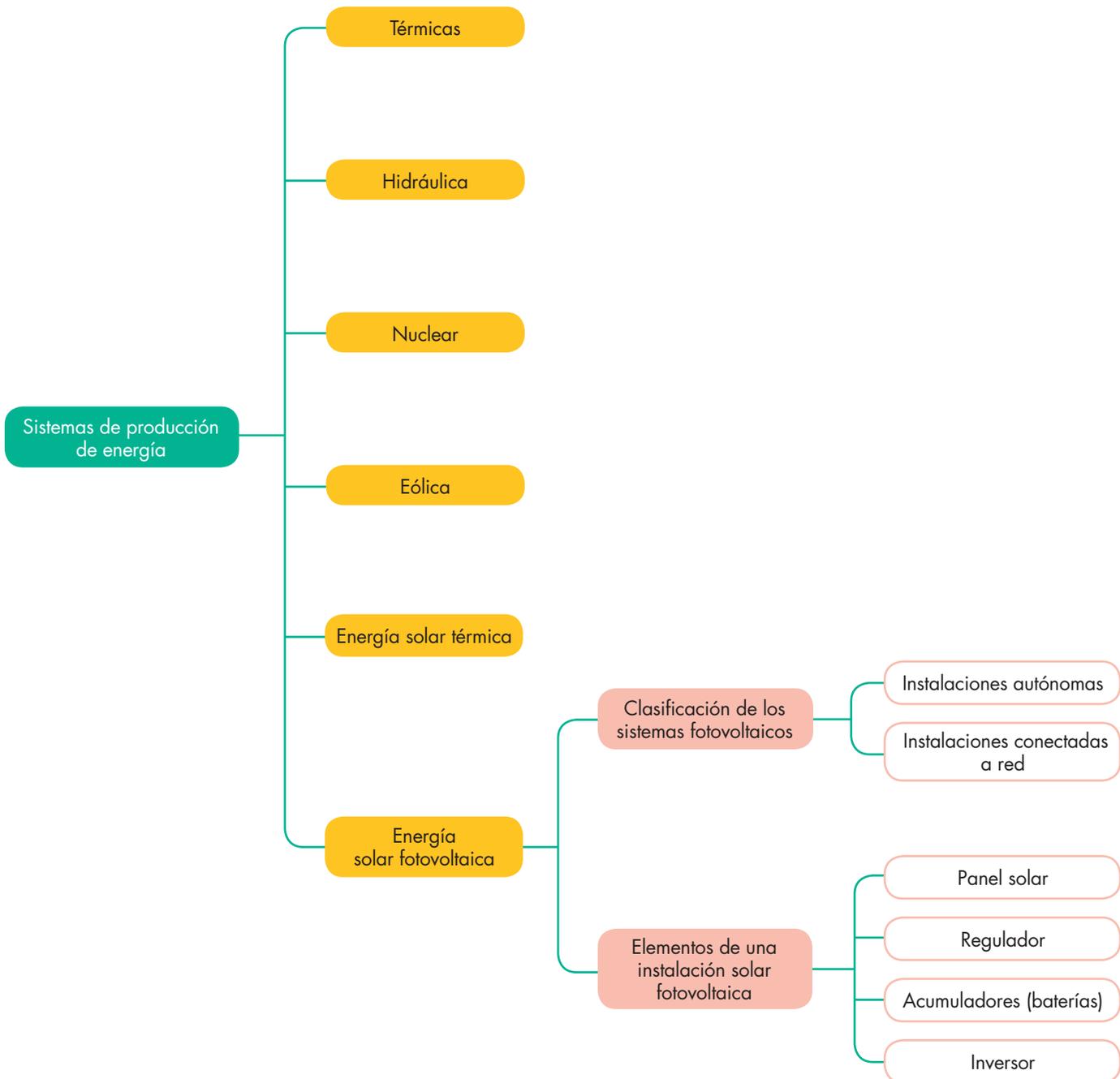
### Importante

A la hora del conexionado del inversor con el resto de la instalación, habrá que utilizar las secciones de conductores adecuadas en función de la parte que estemos conectando.

No tendrán las mismas secciones los cables de conexión con los paneles que las conexiones de monitorización del equipo.



## Síntesis



## Test de repaso



1. La energía solar fotovoltaica produce la electricidad:
  - a) Mediante el movimiento de un generador.
  - b) Directamente, al recibir la luz del Sol.
  - c) Por el calentamiento de un fluido.
  - d) Mediante el movimiento de un fluido.
2. Las instalaciones solares de producción de electricidad mediante la recepción de la luz solar se clasifican en:
  - a) Autónomas y conectadas a red.
  - b) Directas e indirectas.
  - c) Directas y autónomas.
  - d) Conectadas a red e indirectas.
3. Uno de los elementos que diferencian las instalaciones solares fotovoltaicas autónomas de las conectadas a red es:
  - a) El inversor.
  - b) Los paneles solares.
  - c) El regulador.
  - d) El generador fotovoltaico.
4. Si una célula fotovoltaica es capaz de producir una tensión de 0,6 V, ¿qué tensión podremos medir en los extremos de 10 células iguales conectadas en serie?
  - a) 10 V.
  - b) 4 V.
  - c) 0,6 V.
  - d) 6 V.
5. Si un panel solar proporciona una intensidad de 10 A y se conecta en serie con otro panel cuya intensidad es de 25 A, ¿cuál será la intensidad total?
  - a) 10 A.
  - b) 25 A.
  - c) 35 A.
  - d) 5 A.
6. La misión del regulador en una instalación fotovoltaica sin conexión a red es:
  - a) Proporcionar una tensión alterna a los aparatos conectados a la instalación.
  - b) Cargar las baterías del acumulador de la instalación.
  - c) Regular los paneles solares.
  - d) No existe este elemento.
7. El elemento con el que se fabrican las células solares es:
  - a) Germanio.
  - b) Aluminio.
  - c) Silicio.
  - d) Boro.
8. La misión que tienen las baterías en una instalación fotovoltaica es:
  - a) Almacenar energía durante un determinado número de días.
  - b) Proporcionar una potencia instantánea elevada.
  - c) Fijar la tensión de trabajo de la instalación.
  - d) Todas las respuestas son correctas.
9. En las instalaciones fotovoltaicas para viviendas se deben elegir:
  - a) Baterías estacionarias.
  - b) Baterías de automoción.
  - c) Baterías de gel.
  - d) Baterías de litio.
10. Los inversores de las instalaciones conectadas a red en España tienen que proporcionar:
  - a) Una onda senoidal de 230 V de valor eficaz y 50 Hz de frecuencia.
  - b) Una onda senoidal de 230 V de valor eficaz y 60 Hz de frecuencia.
  - c) Una onda cuadrada de 230 V de valor eficaz y 50 Hz de frecuencia.
  - d) No importa el tipo de onda que proporcionen.
11. Las instalaciones fotovoltaicas conectadas a red se dividen en
  - a) Huertos solares y edificios fotovoltaicos.
  - b) Instalaciones para telecomunicaciones.
  - c) Instalaciones autónomas y conectadas.
  - d) Instalaciones monofásicas y trifásicas.
12. Un inversor de 20 kW de potencia nominal será:
  - a) Monofásico.
  - b) Bifásico.
  - c) Trifásico.
  - d) No se podrá colocar en una instalación.

## Comprueba tu aprendizaje

### Clasificar las instalaciones fotovoltaicas

1. El aumento de instalaciones fotovoltaicas en los últimos años ha sido muy considerable. Con lo visto a lo largo de la unidad, justifica el porqué de este crecimiento en este tipo de instalaciones.
2. A partir de la clasificación vista en el Apartado 2 de la unidad, sobre las instalaciones solares, busca dos ejemplos reales de cada uno de los tipos de aplicaciones comentados.
3. Explica qué es un edificio fotovoltaico, y sus principales características.
4. Realiza un esquema de los elementos que componen una instalación solar fotovoltaica autónoma, y describe brevemente cuál es la misión de cada uno de ellos.

### Identificar los parámetros de los paneles solares

5. ¿Qué es el efecto fotovoltaico?
6. ¿Qué materiales se utilizan en la construcción de las células solares? ¿Qué características tienen, desde el punto de vista eléctrico?
7. Se desea construir un panel solar para una instalación de 12 V de tensión nominal, y una potencia de 180 W a partir de células solares, cuyas características son las siguientes:

$$VOC = 0,6 \text{ V}$$

$$ISC = 3 \text{ A}$$

Dimensiones: 12 × 12 cm

Se pide:

- a) Calcular el número de células necesarias para componer el panel solar.
  - b) Explicar cómo han de ser conectadas.
  - c) ¿Qué dimensiones tendría el panel?
8. La tensión en circuito abierto de un panel solar, facilitada por el fabricante, es de 19 V.

Esta medida se ha realizado en condiciones estándares de funcionamiento (con una temperatura ambiente de 25 °C).

Según los datos facilitados por el fabricante del panel, en su hoja de características,  $V_{oc}$  tiene un coeficiente de temperatura de  $-126 \text{ mV}/^{\circ}\text{C}$ . ¿Cuál será la tensión en circuito abierto del panel si se va a utilizar en una instalación en la que la temperatura de trabajo es de 40 °C? Justifica la respuesta.

9. Para aumentar la capacidad de un generador fotovoltaico se procede a realizar asociaciones de paneles solares con el fin de obtener los valores requeridos en la instalación. Explica cómo han de conectarse en los siguientes casos:

- a) Si se desea aumentar la tensión de salida del generador fotovoltaico.
- b) Si se desea aumentar la potencia de salida del generador.

### Describir el funcionamiento de las baterías

10. La hoja de características de un electrodoméstico de corriente continua nos proporciona los siguientes datos:

Tensión nominal: 12 V

Consumo: 480 W

El aparato va a ser conectado a una batería cuya capacidad es de 400 Ah. ¿Cuántas horas podrá estar conectado antes de que la batería pierda toda su carga?

11. Elige una configuración para una batería de un sistema solar, cuya capacidad debe ser de 362 Ah, con una tensión de trabajo de 12 voltios, a partir de los modelos dados a continuación.

GEL		Vasos de 2V		Sin mantenimiento		
Ref.	Tipo	Características				PVP Euros
		Capacidad	Peso	Medidas		
10244	400Ah (C10)	35 Kg	Largo-ancho-alto: 147 x 208 x 650 mm			
10245	600Ah (C10)	39 Kg	Largo-ancho-alto: 147 x 208 x 650 mm		consultar	
10246	800Ah (C10)	68 Kg	Largo-ancho-alto: 215 x 193 x 650 mm			
10247	1000Ah (C10)	82 Kg	Largo-ancho-alto: 215 x 235 x 650 mm			
10248	1200Ah (C10)	97 Kg	Largo-ancho-alto: 215 x 277 x 650 mm			



Fig. 1.24. Baterías de GEL. Vasos de 2 V.

### Describir el funcionamiento del regulador

12. Explica cuál es la misión del regulador en una instalación fotovoltaica autónoma.

### Describir el funcionamiento del inversor

13. Enumera las principales características de los inversores, tanto en las instalaciones autónomas como en las instalaciones conectadas a red. De todas ellas, ¿cuáles serían las más importantes a considerar en los inversores de las instalaciones conectadas a red?