

7

UNIDAD



# Instalaciones fotovoltaicas conectadas a red

## En esta unidad

### APRENDERÁS A

- Describir los componentes que forman la instalación.
- Describir los elementos de protección de la instalación.
- Analizar las posibles perturbaciones ocasionadas por la conexión.
- Analizar el comportamiento del inversor.
- Establecer los consumos eléctricos.
- Solicitar la conexión a la red eléctrica.

### ESTUDIARÁS

- Los distintos elementos de la instalación.
- Cómo solicitar la conexión a la red.
- La medida de los consumos.
- La compatibilidad electromagnética de la instalación.

### Y SERÁS CAPAZ DE

- Configurar instalaciones solares fotovoltaicas justificando la elección de los elementos que la conforman.



# 1. Introducción

Entre las instalaciones fotovoltaicas, destacan las de sistemas conectados a la red eléctrica. A lo largo de este tema, nos dedicaremos a su estudio.

La instalación fotovoltaica conectada a red se caracteriza por la inyección de energía eléctrica a la red, ya sea con ánimo de venta de la electricidad del sistema fotovoltaico, como aportación de energía a la red eléctrica gratuita, o para autoconsumo.

En un sistema fotovoltaico conectado a red se produce una conversión de la corriente continua, proporcionada por el generador fotovoltaico, en corriente alterna, de iguales características en cuanto a tensión y frecuencia que la que está circulando por la red eléctrica. Este proceso de conversión es totalmente automático, al no requerir la intervención directa del usuario.

Una de las ventajas importantes de las instalaciones fotovoltaicas conectadas a la red es que no necesitan un gran mantenimiento y tienen una vida útil estimada en más de 35 años.

En los lugares donde hay electricidad, la conexión a red de los sistemas fotovoltaicos ayuda a la reducción de emisiones de dióxido de carbono a la atmósfera. La gran importancia de este tipo de instalaciones es que generan la mayor cantidad de energía posible cuando más electricidad se demanda, que coincide con las horas en las que existe mayor cantidad de luz solar [y, por tanto, cuando mayor potencia generan los paneles solares].

Al instalar un sistema fotovoltaico conectado a la red, para venta de electricidad, disponemos de una minicentral eléctrica que inyecta kilovatios verdes a la red, para que se consuman allí donde los demanden, lo que evita pérdidas en transporte de electricidad.

El **proceso de producción** de electricidad consiste en:

1. Captación de la radiación solar mediante las células.
2. Producción de energía eléctrica en forma de corriente continua.
3. Conversión en corriente alterna mediante inversores.
4. Elevación de la tensión mediante un transformador de potencia [en el caso de conectarse a una línea de media o alta tensión].
5. Venta a la red eléctrica.

La finalidad de los sistemas fotovoltaicos conectados a la red eléctrica es maximizar anualmente la producción de energía eléctrica que se inyecta a ella. A la hora de diseñar un sistema de este tipo, debemos considerar:

- Los aspectos de integración arquitectónica y con el entorno de la instalación.
- Posibles pérdidas por sombreado, difícilmente eludibles en sistemas integrados en edificios.

Aspectos de seguridad y calidad de la energía generada, así como la ausencia de efectos perturbadores de la red eléctrica.

Las principales aplicaciones de dichos sistemas son dos:

- Plantas de generación de energía [centrales fotovoltaicas].
- Producción de electricidad en viviendas y edificios, industrias, locales comerciales, etc.



## ACTIVIDADES

1. Averigua la cantidad de energía que se produce en España en la actualidad a través de fuentes renovables, y qué porcentaje corresponde a instalaciones de energía solar fotovoltaica [recuerda que también hay otros métodos de producir electricidad a través del sol de manera indirecta]. Puedes consultar Red Eléctrica de España (REE), en [www.ree.es](http://www.ree.es).



## RECUERDA

Un caso especial de las instalaciones conectadas a red es el de las instalaciones para autoconsumo conocidas como de tipo 1, donde el propietario no vierte energía a la red eléctrica. Esto es así porque, con la normativa vigente, el usuario de estas instalaciones no percibe ninguna cuantía económica por la energía producida.



## IMPORTANTE

Se denominan kilovatios verdes aquellos que son obtenidos a partir de energías renovables.

Además de los mencionados kilovatios verdes, existen otros dos tipos de kilovatios: los eficientes, obtenidos con técnicas de cogeneración [producción de electricidad con menor emisión de CO<sub>2</sub>] y los convencionales, obtenidos con las técnicas tradicionales [centrales térmicas y nucleares, etcétera].



## ¿SABÍAS QUE...?

Se pueden encontrar instalaciones solares fotovoltaicas conectadas a red en las siguientes estructuras:

- Barreras acústicas [también llamadas antisonido] en autopistas y vías ferroviarias.
- Cubiertas de piscinas y aparcamientos, etc.



## 2. Elementos de una instalación solar fotovoltaica conectada a la red eléctrica

Como hemos comentado, las instalaciones conectadas a red se pueden encontrar en viviendas o edificios, o bien formando una central de producción eléctrica. Los componentes son iguales en ambos casos, y puede variar la potencia producida en cada tipo de instalación (y, por tanto, el tamaño del generador fotovoltaico).

En la Figura 7.1 vemos una configuración típica de una instalación conectada a red.

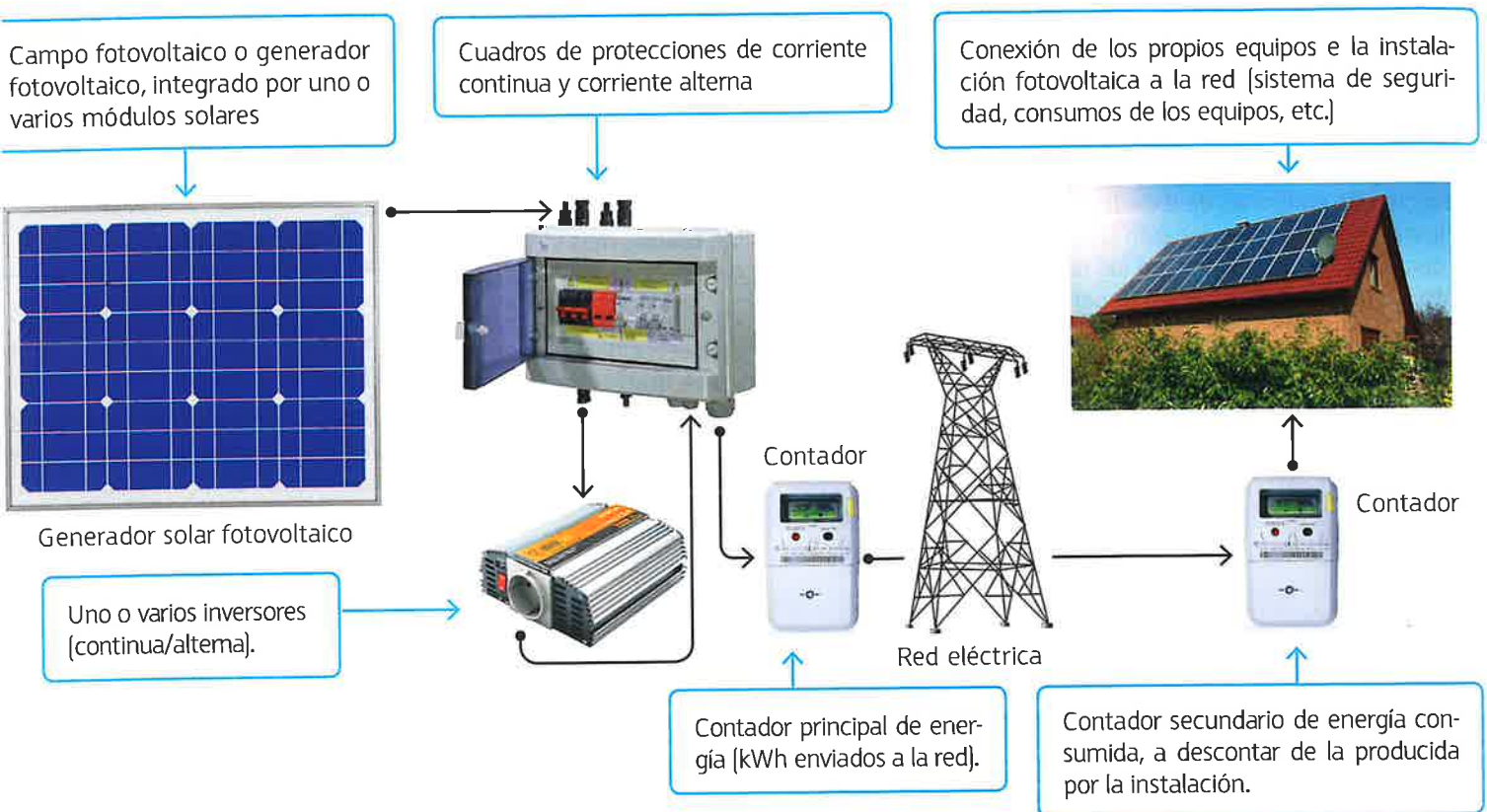


Fig. 7.1. Elementos de una instalación solar fotovoltaica conectada a red.



Fig. 7.2. Vista aérea de un huerto solar.

Estudiaremos estos componentes aplicados a las plantas de generación de energía o centrales, también llamadas huertos solares, y a edificios.

Un huerto solar (Figura 7.2) es la instalación sobre suelo de una central fotovoltaica, capaz de llegar a producir 100 kilovatios pico (100 kWp), en la cual se agrupan estaciones individuales de producción cuya potencia nominal se encuentra en torno a 5 kWp.

El límite de los 100 kWp se debe a que este valor es el máximo permitido para conectarse a una red de baja tensión.

Las instalaciones individuales pueden ser propiedad de una empresa o de particulares, cooperativas, etc.

Desde el punto de vista de los intereses de los propietarios, este modelo de instalación compartida minimiza los costes de administración, gestión, seguridad, etc.

Existen centrales fotovoltaicas con mayor potencia de producción, pero en este caso ya no se podrán conectar a la red de baja tensión, y deben tener su punto de conexión a red las características adecuadas a la potencia que van a producir y, por tanto, a la tensión a la que deben conectarse.



## A. El generador fotovoltaico

En la Unidad 4, estudiamos las diferentes posibilidades que existen para la configuración de un generador fotovoltaico. Consulta dicha unidad a fin de conocer las distintas opciones existentes en instalaciones conectadas a la red: generadores fijos y seguidores solares.

## B. El inversor

Es el elemento más importante en una instalación conectada a la red. Como características fundamentales de este elemento de la instalación, podemos citar las siguientes:

- Los inversores actúan como fuente de corriente sincronizada con la red y disponen de microprocesadores de control, y de un PLC de comunicaciones (PLC son las siglas de *programmable logic controller*, controlador lógico programable).
- Trabajan conectados por su lado de corriente continua a un generador fotovoltaico, y por su lado de corriente alterna, a un transformador que adapta la tensión de salida del inversor a la de la red.
- Transforman en corriente alterna y entregan a la red toda la potencia que el generador da en cada instante; funcionan a partir de un umbral mínimo de radiación solar.
- Permiten la desconexión-conexión automática de la instalación fotovoltaica en caso de pérdida de tensión o frecuencia de la red, lo que garantiza la seguridad para los operarios de mantenimiento de la compañía eléctrica distribuidora.
- Actúan como controlador permanente de aislamiento para la desconexión-conexión automática de la instalación fotovoltaica en caso de pérdida de resistencia de aislamiento.

## @ WEB

Las instalaciones fotovoltaicas de tipo huerto solar suelen estar monitorizadas a distancia. Son numerosas las soluciones para este fin. En los siguientes enlaces web puedes consultar algunos ejemplos al respecto:

<https://goo.gl/kob3bp>

<http://www.ismsolar.com/>

## EJEMPLO 1

### Análisis de las características de un inversor comercial de 1,5 kWp para instalación conectada a red para autoconsumo

A partir del catálogo del fabricante del inversor, vamos a analizar las principales consideraciones que se deben tener en cuenta a la hora de trabajar con este equipo.

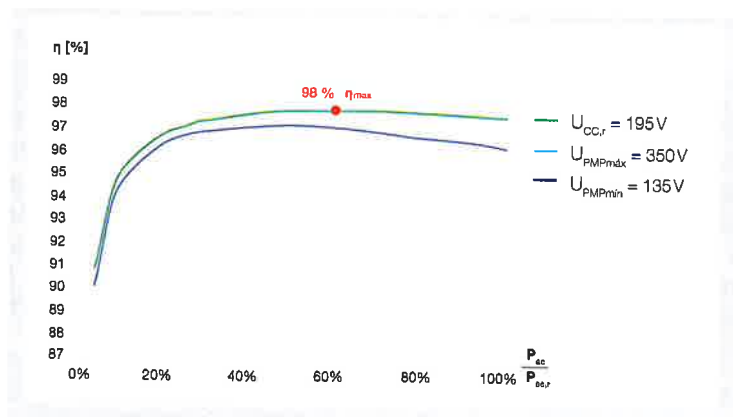
- Aspecto externo del equipo y principales características

#### Datos técnicos PIKO 1.5 MP



- Inyección monofásica
- Conversión sin transformador
- Amplio rango de tensión de entrada
- Larga duración gracias a la efectiva tecnología de refrigeración
- Paquete de comunicación integrado de serie con registro de datos, servidor web y portal solar
- Manejo e instalación sencillos guiados por menú
- Peso ligero
- Área de conexiones confortable y dispositivo de desconexión CC integrado
- Posibilidad de integración de contadores de energía

- Curva de rendimiento del inversor



## RECUERDA

La frecuencia de los inversores de conexión a red es mucho más estable que en los inversores para instalaciones autónomas.

[Continúa]

## EJEMPLO 1 (Continuación)

### Lado de entrada (CC)

Potencia fotovoltaica máx. ( $\cos \varphi = 1$ )	kWp	1,8
Tensión de entrada nominal ( $U_{CC,r}$ )	V	195
Tensión de entrada máx. ( $U_{CC,máx}$ )	V	420
Tensión de entrada mín. ( $U_{CC,mín}$ )	V	75
Tensión de entrada de inicio ( $U_{CC,inicio}$ )	V	90
Tensión PMP máx. ( $U_{PMP,máx}$ )	V	350
Tensión PMP mín. para potencia nominal CC en el modo de un seguidor ( $U_{PMP,mín}$ )	V	135
Tensión PMP mín. para potencia nominal CC en el modo de dos seguidores ( $U_{PMP,mín}$ )	V	—
Corriente de entrada máx. ( $I_{CC,máx}$ )	A	11,5
Corriente de entrada máx. con conexión en paralelo (entrada CC1+CC2)	A	—
Número de entradas CC	1	
Número de seguidores PMP indep.	1	

Parámetros fundamentales a la hora de elegir la configuración de los paneles.

Elementos de seguridad que lleva el inversor y que sirven como protección en la instalación, tanto de sus equipos como de sus usuarios.

Tiene solamente una entrada de continua.

Valores de la potencia nominal y aparente que tiene el inversor.

Conexión monofásica del inversor, proporcionará una tensión de salida de 230 V.

### Lado de salida (CA)

Potencia nominal, $\cos \varphi = 1$ ( $P_{CA,r}$ )	kW	1,5
Potencia aparente de salida máx.	kVA	1,5
$\cos \varphi_{adj}$		
Tensión de salida máx. ( $U_{CA,máx}$ )	V	276
Tensión de salida mín. ( $U_{CA,mín}$ )	V	185
Corriente de salida nominal	A	6,5
Corriente de salida máx. ( $I_{CA,máx}$ )	A	12
Corriente de cortocircuito (Peak / RMS)	A	27/12
Conexión de red		1~, AC, 230V
Frecuencia de referencia ( $f_r$ )	Hz	50
Frecuencia de red máx. ( $f_{máx}$ )	Hz	65
Frecuencia de red mín. ( $f_{mín}$ )	Hz	45
Margen de ajuste del factor de potencia $\cos \varphi_{CA,r}$		0,95...1...0,95
Factor de potencia con potencia nominal ( $\cos \varphi_{CA,r}$ )		1
Coefficiente de distorsión armónico máx.	%	<2

Es fundamental conocer en qué rango se mueve la frecuencia de salida.

El consumo en reposo resta energía de la que se va a entregar a la red. Interesa que sea lo más pequeño posible.

### Propiedades del aparato

Necesidad propia stand-by	W	<4
<b>Coefficiente de rendimiento</b>		
Coefficiente máx. de rendimiento	%	98
Coefficiente europeo de rendimiento	%	97,4
Coefficiente de rendimiento de adaptación PMP	%	99,7

El rendimiento es el parámetro más importante. AL no ser del 100%, el generador fotovoltaico deberá entregar mayor potencia de pico para mantener los valores de diseño.

### Datos del sistema

Topología: sin aislamiento galvánico		✓
-sin transformador-		
Grado de protección según IEC 60529	IP 21	
Categoría de protección según IEC 62103	II	
Categoría de sobretensión según IEC 60664-1 lado de entrada (generador fotovoltaico)	II	
Categoría de sobretensión según IEC 60664-1 lado de salida (conexión de red)	III	
Grado de contaminación	3	
Categoría medioambiental (montaje a la intemperie)	—	
Categoría medioambiental (montaje en interior)	✓	
Resistencia UV	—	
Sección mínima de cable línea de conexión CA	mm <sup>2</sup>	2,5
Sección mínima de cable línea de conexión CC	mm <sup>2</sup>	2,5
Fusible máx. lado de salida	B16	
Protección para las personas (EN 62109-2)	RCMU/RCCB Typ B	
Dispositivo de desconexión autónomo electrónico integrado	✓	
Altura	mm	608
Ancho	mm	340
Profundidad	mm	222
Peso	kg	8,3
Principio de refrigeración -convección-	—	
Principio de refrigeración -ventilador regulado-	✓	
Volumen de aire máx.	m <sup>3</sup> /h	—
Nivel de emisión sonora máx.	dBA	31
Temperatura ambiente	°C	-15...60
Altura de montaje máx. sobre el nivel del mar	m	2000 (6562 ft)
Humedad relativa del aire	%	0...95
Técnica de conexión lado de entrada - Phoenix Contact SUNCLIX	✓	
Técnica de conexión lado de salida - Connector Wieland RST25i3	✓	

### Interfaces

Ethernet (RJ45)	1
RS485 (RJ45)	2
Modbus RTU (RJ10)	1
Entradas analógicas	—
Interface PIKO BA Sensor	—

Informa sobre la comunicación con el equipo para monitorizar su estado: a través de un **display**, o conectado a una red informática con la conexión y protocolos especificados.

Las dimensiones son importantes para diseñar el soporte donde va diseñado (si fuese necesaria) y las dimensiones de la sala donde se encuentre instalado.

[Cortesía de KOSTAL Solar Electric Ibérica SL]



## C. El sistema eléctrico

El sistema eléctrico está compuesto por los siguientes elementos:

- Las cajas de conexiones, el cableado, las protecciones y las tomas a tierra.
- Los contadores tanto de venta como de consumo en centrales de producción.
- El punto de conexión a la red, con su centro de transformación si es necesario.

Un buen diseño del sistema eléctrico es fundamental para evitar pérdidas y fallos innecesarios en la planta, así como para prevenir graves accidentes.

La instalación fotovoltaica conectada a red deberá cumplir con todas las consideraciones técnicas expuestas en el Real Decreto 1699/2011 y contará con el siguiente sistema de protección (extracto del real decreto citado anteriormente):

- Un elemento de corte general que proporcione un aislamiento requerido por el Real Decreto 614/2001, de 8 de junio, sobre disposiciones mínimas para la protección de la salud y seguridad de los trabajadores frente al riesgo eléctrico.
- Interruptor automático diferencial, con el fin de proteger a las personas en el caso de derivación de algún elemento a tierra.
- Interruptor automático de la conexión para la desconexión-conexión automática de la instalación en caso de anomalía de tensión o frecuencia de la red, junto a un relé de enclavamiento. Eventualmente, la función desarrollada por este interruptor puede ser desempeñada por el interruptor o interruptores de los equipos generadores. Las funciones del interruptor automático de la conexión y el interruptor de corte general pueden ser cubiertas, eventualmente, por el mismo dispositivo.
- Protecciones de la conexión a máxima y mínima frecuencia [50,5 Hz y 48 Hz con una temporización máxima de 0,5s y 3s, respectivamente], y máxima y mínima tensión entre fases [1,15 Un y 0,85 Un]. En los sistemas eléctricos insulares y extrapeninsulares, los valores anteriores serán los recogidos en los procedimientos de operación correspondientes. La tensión para la medida de estas magnitudes se deberá tomar en el lado red del interruptor automático general, para las instalaciones en alta tensión, o de los interruptores principales de los generadores, en redes en baja tensión. En caso de actuación de la protección de máxima frecuencia, la reconexión solo se realizará cuando la frecuencia alcance un valor menor o igual a 50 Hz.
- Además, para tensión mayor de 1 kV y hasta 36 kV, inclusive, se deberá añadir el criterio de desconexión por máxima tensión homopolar.

La puesta a tierra de las instalaciones interconectadas se hará siempre de forma que no se alteren las condiciones de puesta a tierra de la red de la empresa distribuidora, asegurando que no se produzcan transferencias de defectos a la red de distribución.

La instalación deberá disponer de una separación galvánica entre la red de distribución y las instalaciones generadoras, ya sea por medio de un transformador de aislamiento o cualquier otro medio que cumpla las mismas funciones, de acuerdo con la reglamentación de seguridad y calidad industrial aplicable.

La energía generada en grandes centrales fotovoltaicas se reparte a los usuarios a través de una compleja red de distribución. Todas las plantas de potencia que utilizan energías no renovables tienen problemas tanto de contaminación como de dependencia de un combustible. La conexión a red elimina el uso de baterías y crea un sistema de consumo, lo que hace más barata la factura mensual, al mismo tiempo que la red se beneficia de la producción fotovoltaica, compensando los picos de consumo.

Una de las ventajas que tiene la producción de electricidad en plantas fotovoltaicas es la de cubrir momentos en los que se produce una gran demanda energética, y que otros sistemas no son capaces de cubrir. Es el caso de los veranos, en los que el consumo eléctrico aumenta en una gran medida, por los aires acondicionados, y son momentos en los que las centrales eólicas tienen menos producción por la falta de vientos. Sin embargo, es la época del año de mayor rendimiento para las centrales fotovoltaicas.

### ! IMPORTANTE

El cuadro de contadores de la instalación tendrá dos, alquilados a la compañía eléctrica: uno para la energía producida y otro para la consumida. En la instalación se miden los consumos propios de los inversores durante las horas nocturnas (en las que la planta no produce electricidad).

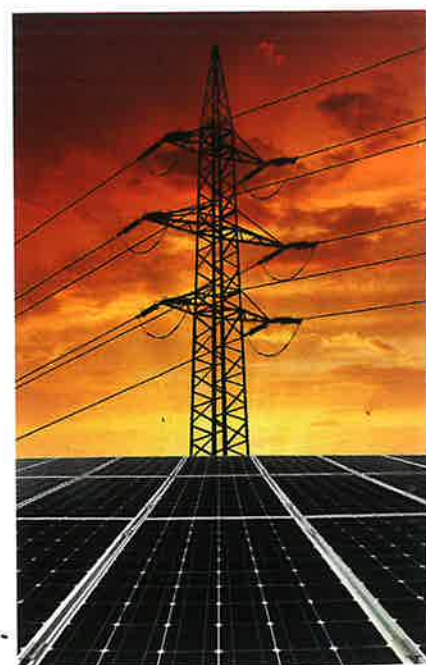


Fig. 7.3. Conexión de una central fotovoltaica a la red eléctrica. Es importante que haya un tendido de la red eléctrica cerca del emplazamiento donde se vaya a realizar la instalación fotovoltaica.

## ! IMPORTANTE

En la construcción de los paneles fotovoltaicos para los edificios se emplean células solares de silicio amorfo, de película fina (*thin film*), ya que tienen las siguientes ventajas:

- Ante situaciones desfavorables de baja radiación, como es el caso de iluminación difusa o sombras, su rendimiento es mayor.
- Su eficiencia en la producción eléctrica no se ve tan alterada por las bajas o por las altas temperaturas. Estas situaciones de sombras, calentamiento y enfriamiento de los paneles son típicas en los edificios convencionales.

Recuerda que en la Unidad 1 [Tabla 1.1] encontrarás más información sobre el silicio amorfo.

### D. Colocación de los paneles fotovoltaicos en instalaciones integradas en edificios

El otro gran grupo de instalaciones conectadas a red son las realizadas en las viviendas y edificios. Aquí se tendrán en cuenta diferentes factores, aparte de los exclusivamente técnicos; uno de los más importantes es la integración arquitectónica.

La integración de la energía solar en los edificios necesita la unificación de los aspectos de rendimiento energético y de diseño arquitectónico. Existen diferentes grados de integración arquitectónica: habitualmente, las propias superficies de los tejados o fachadas de los edificios y viviendas son utilizadas para la instalación de los módulos fotovoltaicos [ver. Unidad 4].

Constantemente se está investigando en nuevas formas para los paneles solares que se van a integrar en edificios. Un ejemplo son las llamadas tejas solares (Figura 7.4): el panel fotovoltaico va integrado en la teja, con lo que no necesita de soporte adicional, y además sirve para hacer la cubierta del edificio.



Fig. 7.4. Tejas solares: a) Todo el Tejado con teja solar. b) Integración de teja solar y normales; c) Panel solar sobre teja normal.

Como ventajas de la integración de los sistemas de energía solar instalados en edificios, y derivadas de la conexión a la red, podemos citar las siguientes:

- **Eliminación de horas punta:** la mayor producción de electricidad se realiza sobre todo en horas punta de consumo, con lo que se evita que las compañías eléctricas tengan que sobredimensionar sus instalaciones para el abastecimiento de estos picos diurnos de consumo.
- **Reducción de costes:** la energía se genera de manera adyacente a los puntos de consumo, lo que reduce las pérdidas originadas por el transporte de energía desde las centrales de generación eléctrica convencional hasta los usuarios.
- **Fuente gratuita y renovable de energía:** el gasto originado por la energía solar es únicamente el coste inicial de la instalación.
- **Bajo mantenimiento:** los módulos instalados hace 30 años continúan aún en perfecto estado operativo.
- **No contamina:** las emisiones contaminantes son inapreciables y solo se originan en los procesos de producción de las células y módulos fotovoltaicos.
- **Dotan al edificio de cierta personalidad,** al combinar tecnología, estética y ecología.

Estas ventajas cobran especial importancia sobre todo en los meses de verano, en las horas de más calor, en las cuales el uso del aire acondicionado dispara los consumos eléctricos. Es precisamente en esa franja cuando más rinde en las instalaciones fotovoltaicas.



Fig. 7.5. Ejemplo de integración de los paneles solares como elemento arquitectónico de la fachada del edificio [corresía de Inarquía].



### ACTIVIDADES

2. Una forma de integrar los paneles solares en un edificio es la realización de un muro cortina. Busca en Internet información sobre este tipo de construcción y explica brevemente en qué consiste dicha instalación.
3. En el enlace <https://goo.gl/4wQC7V> tienes información sobre diferentes tipos de tejas con paneles fotovoltaicos integrados. Basándote en la información dada en dicho enlace, contesta a la siguiente pregunta:

- a) ¿Qué energía podríamos obtener en un tejado de 90 m<sup>2</sup>?
- b) ¿Qué diferentes opciones podemos tener?

### 3. Diseño y cálculo de instalaciones fotovoltaicas conectadas a red

Como requisito previo para el diseño y dimensionado de sistemas fotovoltaicos conectados a red, es necesario hacer un análisis tanto de su viabilidad técnica como económica.

Si se decide hacer la instalación, para realizar el dimensionado se deben tener en cuenta diferentes criterios tanto si esta va a ser del tipo central solar como si se va a encontrar integrada en un edificio.

Sea cual sea el tipo de instalación, se necesita disponer de la superficie precisa para la colocación de los paneles que proporcionen la potencia pico demandada. Su orientación e inclinación establecerán la generación energética.

En el caso de instalaciones fijas, sin seguimiento solar, es aconsejable una orientación hacia el sur (si nos estamos refiriendo a instalaciones en España, o en cualquier otro lugar del hemisferio norte). El generador fotovoltaico deberá estar libre de sombras.

En el caso de que no sea posible la orientación hacia el sur, se estima que las pérdidas anuales de generación de energía serán del 0,2 % por cada grado de desviación respecto del ecuador del observador, y del 0,08 % por cada grado de desviación respecto del grado óptimo de inclinación (ángulo que maximiza la generación de energía por año).

El **ángulo óptimo de inclinación** de los paneles solares se calcula como:

$$\beta = 3,7 + 0,96 \phi$$

siendo  $\phi$  la latitud.

#### CASO PRÁCTICO 1

##### Cálculo del ángulo óptimo $\beta$ de inclinación para los paneles solares

Calcula qué inclinación deberían tener los paneles solares de una instalación de un huerto solar en la localidad de Almaraz (Cáceres), con estos colocados sobre soportes fijos.

##### Solución

Como vimos en la Unidad 2, a la hora de calcular el ángulo, lo primero que debemos hacer es obtener la posición geográfica del lugar donde se va a realizar la instalación. El dato de latitud obtenido será el siguiente:  $41,5^\circ$ .

Por tanto, el ángulo de inclinación de los paneles será:

$$\beta_{\text{óptimo}} = 41,5 - 10 = 31,5^\circ$$

Desde el punto de vista técnico, requiere una línea de distribución eléctrica próxima, con capacidad suficiente para la potencia fotovoltaica instalada, y escoger el punto de conexión al sistema de red.

Las opciones que se manejan son las siguientes:

- **Las centrales fotovoltaicas**, generalmente instalaciones de potencia superior a 100 kW, se conectan a la red eléctrica de media tensión con sofisticados sistemas de conexión a red.
- **Los sistemas de baja potencia** se pueden conectar directamente a la red de baja tensión.

En función de la potencia nominal de la instalación, la conexión a red podrá ser:

- Trifásica (400 V), aconsejada para potencias nominales superiores a 5 kW.
- Monofásica (230 V): se puede realizar mediante un inversor monofásico, aunque pueden utilizarse también módulos fotovoltaicos de corriente alterna, que constan de un microinversor cada uno. La potencia nominal de la instalación se especifica como la suma de las potencias nominales de los inversores que la componen.

#### ! IMPORTANTE

Para el cálculo del ángulo óptimo de los paneles solares en instalaciones fijas existen diferentes posibilidades:

- En las instalaciones conectadas a red se emplea la fórmula  $\beta = 3,7 + 0,96 \phi$ , siendo  $\phi$  la latitud. Con ella se busca obtener la mayor energía media a lo largo del año.
- En instalaciones autónomas se emplea  $\beta = \phi + \delta$ , siendo  $\phi$  la latitud y  $\delta$  la declinación solar, que optimiza la instalación para el funcionamiento en invierno.

En la práctica se suelen emplear otras dos fórmulas empíricas que proporcionan resultados similares:

- $\beta = \phi - 10$  para instalaciones conectadas a red.
- $\beta = \phi + 10$  para instalaciones autónomas.



Fig. 7.6. Paneles solares con el ángulo de inclinación óptimo para la instalación conectada a red.





## UN RETO

¿Eres capaz de averiguar el país del mundo que tiene la planta fotovoltaica más grande? Si lo encuentras, describe brevemente sus características.



## VÍDEO

En el siguiente enlace puedes ver cómo conectar varios paneles en paralelo, conexión necesaria en algunas configuraciones de generadores fotovoltaicos:

<https://goo.gl/85sF8B>



Fig. 7.7. Ejemplo de huerto solar en el que se puede apreciar la superficie necesaria para su montaje.

Estimaciones de posibles pérdidas	
Parámetro	Porcentaje
Angulares y espectrales	3
Polvo y suciedad	3-6
Temperatura	5-14
Diferencia entre módulos	2
Interconexión y cableado	3
No seguimiento del PMP y umbrales de arranque	3
Rendimiento de inversores	6

Tabla 7.1. Estimación de pérdidas en una instalación.

## 3.1. Diseño de un huerto solar

Vamos a ver los aspectos que se deben tener en cuenta a la hora de realizar un proyecto de este tipo.

### • Ubicación de la instalación:

- Deberá ser un lugar libre de sombras y con fácil acceso a la red eléctrica (a ser posible, cerca de una subestación que pueda redistribuir, sin grandes modificaciones, la energía producida por la instalación).
- Es conveniente que el lugar donde se va a ubicar la instalación tenga fácil acceso para camiones y maquinaria, que serán necesarios en la construcción de aquella.
- Conviene que la zona donde se va a ubicar el huerto solar tenga un alto índice de irradiación solar, puesto que la producción energética será directamente proporcional a la irradiación recibida en el generador fotovoltaico. La cantidad de energía que se vaya a inyectar a la red dependerá de la potencia de la instalación, la irradiación recibida y las pérdidas en el sistema.

### • Cantidad de energía que una instalación fotovoltaica es capaz de inyectar a la red: se puede calcular mediante la siguiente fórmula:

$$E = P_{GFV} \frac{G_{dm}(\beta)}{I_{STC}} FS \cdot PR$$

Donde:

- $P_{GFV}$  es la potencia de pico que puede entregar el generador fotovoltaico.
- $I_{STC}$  es la irradiancia en las condiciones estándares utilizadas para las medidas.
- $FS$  es un factor que considera las pérdidas por sombreado. Vale 1 en ausencia de sombras, y entre 0 y 1 cuando estas existen.
- $PR$  [siglas de *performance ratio*] es la eficiencia de la instalación en condiciones reales de trabajo. En algunos casos, engloba las pérdidas por sombreado.
- $G_{dm}(\beta)$  es la irradiación recibida sobre la superficie inclinada del panel.

La **potencia del generador fotovoltaico** ( $P_{GFV}$ ) se puede obtener como la suma de las potencias de los paneles que integran dicho generador, pero hay que tener en cuenta la tolerancia de los módulos, debido al proceso de fabricación.

El **factor de sombreado** ( $FS$ ) se debe calcular para cada instalación. En el caso de los huertos solares, la distancia entre paneles se ha de calcular de tal forma que la sombra producida por cada uno de ellos no afecte a los que tiene a su alrededor; por lo tanto, no es un parámetro tan importante como en las instalaciones integradas en edificios.

El **rendimiento global del sistema** ( $PR$ ) contiene las pérdidas energéticas asociadas a la temperatura de operación del generador y a los rendimientos del inversor. Las pérdidas asociadas al inversor son debidas a dos causas: el rendimiento de conversión continua/alterna, por lo común entre un 10% y un 15%, y el rendimiento del seguimiento del punto de máxima potencia (PMP), entre un 5% y un 10%. A estas pérdidas hay que añadir las debidas a caídas de tensión entre parámetros de módulos, y otras.

Los valores típicos de posibles pérdidas que se pueden dar en una instalación son los indicados en la Tabla 7.1.

El valor que se suele utilizar para  $PR$  está en torno a 0,7-0,78.



## ACTIVIDADES

- Analiza la hoja de características de un panel fotovoltaico. Estima el porcentaje de pérdida de potencia que tiene dicho panel cuando la temperatura ambiente aumenta 10°C sobre el valor estándar de medida.

## A. Estimación de la radiación recibida en el emplazamiento de la instalación

Es uno de los primeros cálculos que se deben realizar para el dimensionado de la instalación. A diferencia de las instalaciones autónomas, lo que nos interesa en el caso de las instalaciones conectadas a red es el valor medio anual de radiación recibida. Este valor lo podemos obtener, como hemos comentado, consultando bases de datos al respecto. Hay que tener en cuenta que lo que obtenemos de esta forma es el valor de irradiación sobre superficie horizontal, y que habrá que convertirlo al valor para superficie inclinada.

Existen varias formas de hacerlo. Para este cálculo, podemos utilizar la siguiente fórmula:

$$G_{dm}(\beta_{\text{opt}}) = \frac{G_{dm}(0)}{(1 - 4,46 \cdot 10^{-4} \cdot \beta_{\text{opt}}) - (1,19 \cdot 10^{-4} \cdot \beta_{\text{opt}}^2)}$$

donde  $G_{dm}(0)$  es la radiación sobre superficie horizontal (el valor medio anual de la radiación recibida).

### ! IMPORTANTE

Existen varios métodos que se pueden utilizar para la estimación de la radiación recibida en una superficie inclinada según el ángulo óptimo ( $\beta$  óptimo). En la Unidad 2, vimos la obtención mediante software, y en esta unidad se ve la obtención mediante fórmula.

## CASO PRÁCTICO 2

### Determinación de la radiación solar recibida en un huerto solar

Se va a realizar la instalación de un huerto solar en la localidad de Oropesa (Toledo). Haz una estimación de la radiación recibida en el emplazamiento de dicha instalación:

#### Solución

**Paso 1.º:** determinar la latitud del emplazamiento de la instalación. Podemos obtenerlo en Google Maps o en otras aplicaciones de internet que proporcionan esta información. Por ejemplo: <https://www.coordenadas.com.es>.

**Latitud de Oropesa:** 39,97°, un valor próximo a 40°.

**Paso 2.º:** Obtener la media anual de radiación recibida en el emplazamiento sobre superficie horizontal. Para ello recurrimos a la base de datos de la NASA y obtenemos la siguiente tabla:

*Parameters for Sizing and Pointing of Solar Panels and for Solar Thermal Applications:*

#### Monthly Averaged Insolation Incident On A Horizontal Surface (kWh/m²/day)

Lat 40 Lon -5.4	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec	Annual Average
22-year Average	2.06	3.00	4.30	5.21	6.18	7.37	7.54	6.61	4.98	3.14	2.18	1.72	4.53

*Minimum and Maximum Difference From Monthly Averaged Insolation (%)*

El valor que requerimos para los cálculos es el de la media anual: 4,53 kWh/m²/día.

El ángulo óptimo de elevación para los paneles solares será:  $\beta = 40 - 10 = 30^\circ$

Con estos datos vamos a aplicar la fórmula que hemos visto anteriormente:

$$G_{dm}(\beta_{\text{opt}}) = \frac{G_{dm}(0)}{(1 - 4,46 \cdot 10^{-4} \cdot \beta_{\text{opt}}) - (1,19 \cdot 10^{-4} \cdot \beta_{\text{opt}}^2)} = \frac{4,53}{(1 - 4,46 \cdot 10^{-4} \cdot 30) - (1,19 \cdot 10^{-4} \cdot 30^2)} = 5,15 \text{ kWh/m}^2/\text{día}$$

Para realizar este cálculo, también se puede utilizar alguna aplicación informática de diseño de instalaciones que permita realizar la estimación de superficies inclinadas (ver Unidad 2).

## ACTIVIDADES

5. Se desea montar un huerto solar en tu localidad y debes estimar la cantidad de radiación recibida. Para ello:

a) Consulta la base de datos de la NASA y obtén el valor de radiación sobre superficie horizontal recibida en el emplazamiento.

b) Calcula el ángulo óptimo de la instalación teniendo en cuenta que es una instalación conectada a red.

c) Realiza el cálculo utilizando la fórmula vista en el texto.

d) Utiliza la base de datos de PVGIS para obtener la radiación y compara el resultado con el anterior. ¿Hay alguna diferencia?



## IMPORTANTE

Cuando calculamos el número de paneles y obtenemos un número decimal, debemos aproximar al entero mayor para asegurarnos de que la potencia entregada por el generador es igual o superior a la prevista en el diseño. Por ejemplo, si necesitamos un generador cuya potencia de pico sea de 650 W, y la potencia de un panel es de 220, el valor de N será:

$$N = 650/220 = 2,95$$

Por tanto, necesitaremos elegir tres paneles solares.

Si la potencia de un panel es ahora de 200 W, el valor de N será:

$$N = 650/200 = 3,25$$

Debemos elegir cuatro paneles para asegurar esa potencia de pico.

## B. Cálculo de la potencia del generador fotovoltaico

Para determinar la potencia de pico que debe suministrar el generador fotovoltaico, debemos conocer:

- La energía diaria que se quiere inyectar a la red eléctrica.
- El valor de la radiación solar.
- La estimación de las pérdidas que pueden existir en la instalación.

Partimos de la fórmula vista antes para despejar el valor de la potencia del generador:

$$E = P_{GPV} \frac{G_{dm}(\beta)}{I_{STC}} FS \cdot PR \Rightarrow P_{GPV} = \frac{E \cdot I_{STC}}{G_{dm}(\beta) \cdot FS \cdot PR}$$



## EJEMPLO 2

### Cálculo de la potencia que debe entregar el generador fotovoltaico

Para la instalación del ejemplo anterior, si queremos diseñar una instalación que produzca 5 kWh de media, con un factor de rendimiento de 0,75, que engloba ya las posibles pérdidas por sombreado, el valor de la irradiación incidente es:

$$G_{dm}(\beta_{opt}) = 5,15 \text{ kWh/m}^2/\text{día}$$

Entonces la potencia del generador es:

$$P_{GPV} = \frac{E \cdot I_{STC}}{G_{dm}(\beta) \cdot FS \cdot PR} = \frac{5 \cdot 1}{5,15 \cdot 0,75} = 1,30 \text{ kWp}$$

## C. Elección de los paneles solares para configurar el generador fotovoltaico

Una vez determinada la potencia que debe entregar el generador, tenemos que elegir los paneles adecuados para su configuración. Para ello hemos de considerar:

- La tensión necesaria para que el inversor funcione de manera correcta.
- La potencia total que debe entregar el generador.

Conviene elegir elementos de alta calidad [darán mejor rendimiento] y que sean todos iguales, para evitar problemas de intensidades en las asociaciones en serie que tengamos que realizar. A la hora de la configuración, hemos de elegir primero el panel solar que queremos montar, y a partir de aquí realizar los cálculos. El número de paneles necesarios lo obtenemos dividiendo la potencia de pico que queremos en la instalación entre el valor de la potencia que es capaz de suministrar un panel.

$$N_{\text{paneles}} = \frac{\text{Potencia de pico}}{\text{Potencia de un panel}}$$

El resultado lo aproximamos al entero más cercano.

Hay que tener en cuenta los siguientes aspectos:

- El modo en que deben ir conectados dichos paneles está determinado por la tensión mínima de entrada en corriente continua que necesita el inversor.
- En muchos casos, el fabricante del inversor nos proporciona la configuración del generador fotovoltaico que hay que conectar, pero en caso de que no sea así debemos realizar los cálculos pertinentes.
- Generalmente, existe un número máximo de paneles que se pueden conectar en una cadena. El fabricante nos dará información sobre este tipo de conexión.



## RECUERDA

Al asociar paneles en serie, sumamos las tensiones de cada uno de ellos, y al asociarlos en paralelo, lo que se suma es la intensidad.

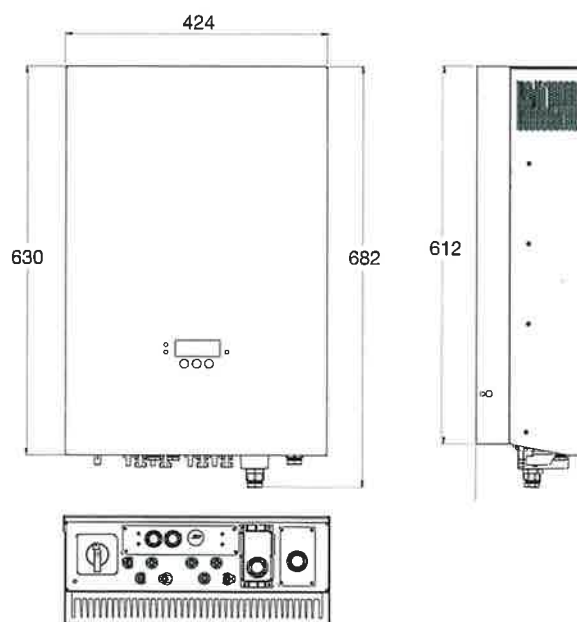


**Configuración de un generador fotovoltaico para una instalación conectada a la red**

Configurar el generador fotovoltaico para una instalación partiendo de los datos ofrecidos a continuación sobre el inversor Sirio Evo 500 y los paneles solares.

MODELO	SIRIO EVO 5000
Potencia nominal corriente alterna	5000 W
Potencia máxima corriente alterna	5000 W
<b>ENTRADA</b>	
Tensión de continua máxima en circuito abierto	800Vcc
Intervalo de ejercicio MPPT	150-720 Vcc
Rango completo de MPPT	240-720 Vcc
Intervalo de ejercicio	150-800 Vcc
Corriente de entrada máxima	13 Acc por tracker
Tensión de arranque del sistema	110 Vcc
Tensión de umbral para el suministro hacia la red	220 Vcc
Tensión de cierre	60 Vcc
Tensión de Ripple	< 3%
Número de entradas	4
Número de MPPT	2
Conectores CC	Tipo MC4 o compatibles
<b>SALIDA</b>	
Tensión de ejercicio	230 Vca
Intervalo operativo	184-276 Vca
Intervalo para la máxima potencia	200-276 Vca
Intervalo de frecuencia	47,5-51,5 Hz
Intervalo de frecuencia configurable	47-52 Hz
Corriente nominal	21,7 Aca
Corriente máxima	25 Aca
Corriente de cortocircuito	25 Aca
Componente continua introducida en red	< 108 mA
Distorsión armónica [THDi]	< 3%
Factor de potencia	de 0,9 ind. hasta 0,9 cap.
Separación galvánica	No
Conectores C.A.	Regleta de seguridad 16mm <sup>2</sup>
<b>SISTEMA</b>	
Rendimiento máximo	97,15%
Rendimiento europeo	> 96,00%
Consumo en stand-by	~9W
Consumo de noche	1W (4W si durante la noche está activo y se realiza alguna consulta)
Protecciones internas	Protección interior de tierra y control de supervisión de fallos tanto en el fallo lado de corriente continua [diferencial de Clase B segunda IEC 60755] Drenaje de sobretensión tipo 3
Protección de funcionamiento en isla	Dependiendo de las regulaciones locales
Detección de dispersión hacia tierra	SI
Disipación de calor de convección	Convección natural
Temperatura de ejercicio	-20°C-60°C [45°C sin reducción de potencia]
Temperatura de almacenamiento	-20°C-70°C
Humedad	4-100% con condensación

CARACTERÍSTICAS	
Ruido acústico	< 35dBA
Nivel de protección	IP65
Color	RAL 3020
Peso	35 kg
Tamaño [A×P×L]	424×173,5×682 mm
<b>COMUNICACIÓN</b>	
Interfaz de comunicación: RS485, USB y contacto limpio de serie, ModBUS y Ethernet opcionales (slot versión)	
Pantalla	LCD 1 líneas, 16 caracteres
<b>CERTIFICACIONES Y APROBACIONES</b>	
EMC: Directiva 2004/108/CE; EN61000-6-3: 2007; EN61000-6-2: 2005	
Directiva: Directiva 2006/95/CE; EN62109	
Supervisión de red: CEI 0-21, A70, VDE AR-N4105, VDE 0126-1-1, G59/2, Real Decreto 413/2014, PO12.3	

**Parámetros eléctricos de los paneles**

Tipo de módulo			YL215-30b
Potencia de salida	$P_{m\acute{a}x}$	W	215
Tolerancia	$\Delta P_{m\acute{a}x}$	W	
Eficiencia del módulo	$\eta_m$	%	16,3
Tensión en $P_{m\acute{a}x}$	$V_{mpp}$	V	24,6
Intensidad en $P_{m\acute{a}x}$	$I_{mpp}$	A	8,74
Tensión en circuito abierto	$V_{oc}$	V	30,7
Intensidad en cortocircuito	$I_{sc}$	A	9,15

**Solución**

**Paso 1.** Determinar el número de paneles solares requeridos. Elegimos un valor de potencia del campo fotovoltaico, entre el máximo y el mínimo aconsejados. En este caso, 5000 Wp.

Como los paneles tienen una potencia de pico de 215 W, se requerirán 24 paneles en total:

$$N_p = \frac{5000}{215} = 23,25 \text{ paneles}$$

[Continúa]

### CASO PRÁCTICO 3 (Continuación)

**Paso 2.** Determinar la forma de conexión de los paneles. Necesitamos conocer los rangos de la tensión de entrada en continua que necesita el inversor para trabajar correctamente.

Iremos conectando módulos fotovoltaicos hasta conseguir el rango de tensión de trabajo del inversor. De esta forma, aumentamos la tensión de circuito abierto del conjunto.

Las operaciones que hay que realizar son las siguientes:

- Para el valor mínimo de tensión admisible:  $150 \text{ Vcc} / 24,6 \text{ Vcc} = 6,1$  paneles
- Para el valor máximo de tensión admisible:  $720 \text{ Vcc} / 24,6 \text{ Vcc} = 29,26$  paneles

El valor de tensión proporcionado por estos 12 paneles será:  $V_p = 24,6 \cdot 12 = 295,2 \text{ V}$ , luego estaríamos dentro de los rangos admisibles.

Como se observa, para estar dentro del rango de tensión de entrada del inversor se deben colocar en serie entre 7 y 29 paneles. Tampoco debemos sobrepasar el valor de diseño. Como en nuestro caso el número total de paneles es de 24, vamos a determinar si podemos poner dos cadenas de 12 paneles en serie.

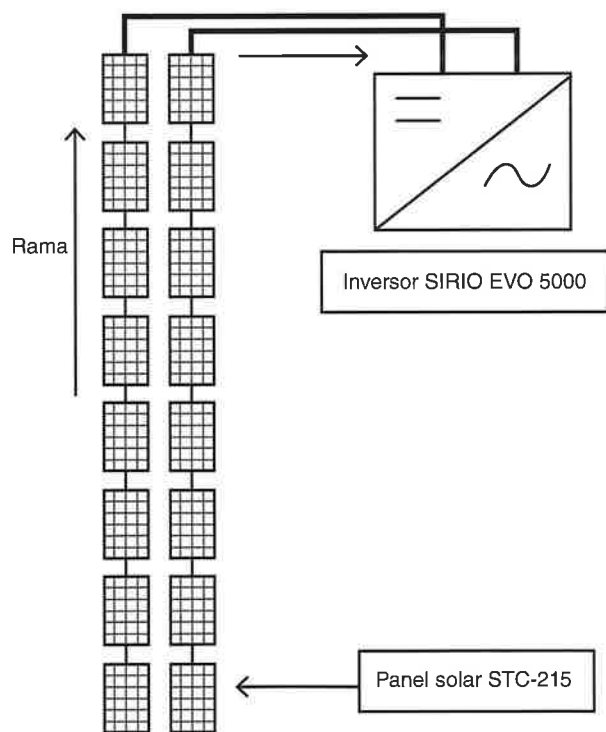
**Paso 3.** Determinar cuántas cadenas en paralelo se necesitan. Para ello habrá que partir de los valores de potencia nominal del inversor:

- Intensidad máxima en continua: el inversor tiene dos entradas cuyo valor máximo de intensidad es de 13 A [de los datos de la hoja de características] como valor máximo. Ello quiere decir que, como nuestros paneles dan una corriente de 8,74 A, solo podremos conectar una rama en cada entrada del inversor.

Combinando la configuración de paneles en serie y paralelo, podemos configurar el generador fotovoltaico, sin sobrepasar los valores máximos del inversor.

La configuración más adecuada es colocar 12 paneles en serie (que nos proporcionarán 295,2V) y dos cadenas de 12 en paralelo. La corriente total de esta configuración sería  $I = 8,74 \cdot 2 = 17,48 \text{ A}$ . Con esto nos aseguramos de estar dentro de los límites de tensión y corriente del inversor.

Por tanto, el esquema de la instalación nos quedaría de este modo:



[Cortesía de Aros Solar Technology]

Conviene sobredimensionar algo el campo fotovoltaico, aproximadamente un 10% por encima de la potencia nominal del inversor. Como podemos comprobar en las características de este, aguanta una potencia de entrada de hasta 5750 W.

Los cálculos se han realizado teniendo en cuenta que el número máximo de entradas del inversor es de dos, razón por la que hemos barajado esas cifras con el número de cadenas.

#### ! IMPORTANTE

No debe tomarse una configuración en serie que se encuentre muy cercana al mínimo de entrada del inversor, ya que los datos de partida suelen tomarse para temperaturas de célula de 25 °C, y en las condiciones reales se trabaja a mayor temperatura, con la consiguiente disminución de la tensión de trabajo del módulo.

## D. Determinación del inversor

Los inversores se caracterizan por su curva de rendimiento corriente continua / corriente alterna en función de la potencia de operación. Los inversores de conexión a red operan en busca del punto de máxima potencia del generador fotovoltaico. Es importante conocer el rendimiento de seguimiento del punto de máxima potencia del generador fotovoltaico, aparte de los rangos de tensión de operación y si conlleva o no umbrales de potencia de arranque.

Se requiere la realización de un dimensionado en el que se calcule el tamaño relativo de la potencia nominal del inversor respecto de la potencia nominal del generador.

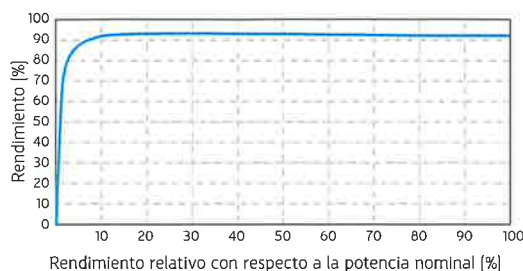


Fig. 7.8. Ejemplo de curva de rendimiento de un inversor.

Si se opta por un inversor de potencia muy superior a la potencia del generador, habrá un número elevado de horas en las que el inversor opere a bajos rendimientos. Si se escoge un inversor de potencia inferior a la máxima potencia que pueda ceder el generador, considerando los efectos combinados de irradiancia y temperatura, habrá un determinado número de horas en las que el inversor se encuentre operando en limitación de potencia o esté parado.

Es aconsejable que la potencia del inversor sea entre un 70% y un 90% de la potencia nominal del generador fotovoltaico. Este valor cambiará en función de las características climatológicas del lugar de la instalación.

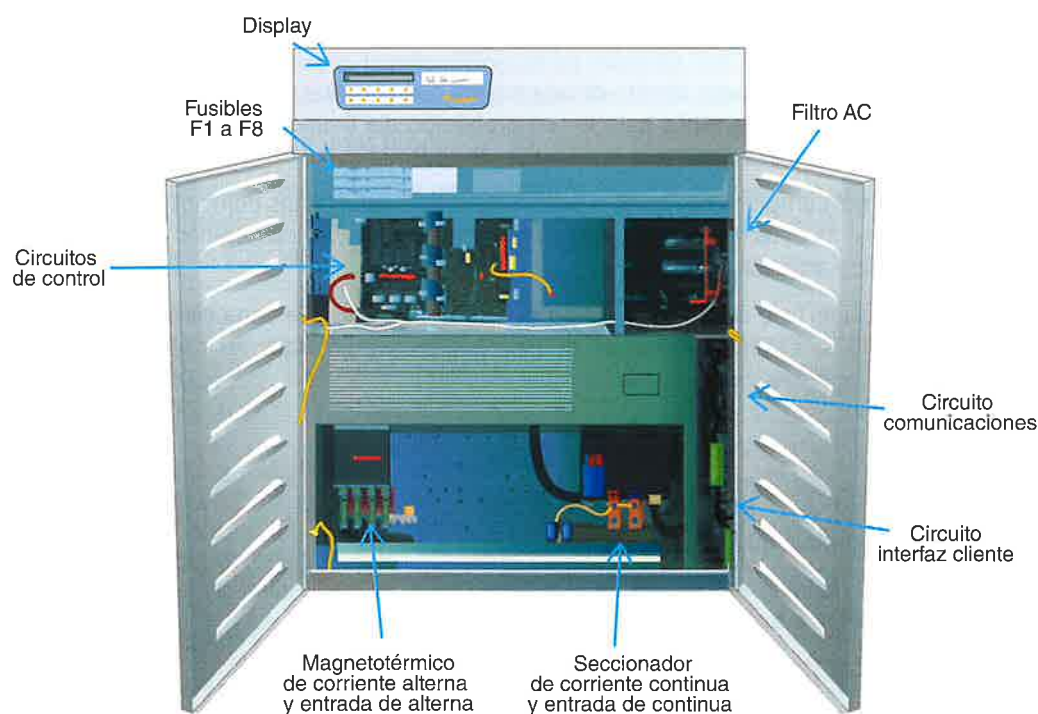


Fig. 7.9. Ejemplo de la configuración de un inversor de 100 kW.



### TEN CUIDADO

Antes de manipular cualquier elemento de la instalación, ya sea para su mantenimiento, conexión o con otro propósito, es imprescindible leer el manual de funcionamiento del equipo, facilitado por el fabricante.

Después, habrá que adoptar las medidas de seguridad pertinentes según el tipo de operación que vayamos a desarrollar (ver Unidad 8).



### VÍDEO

En el siguiente enlace puedes ver el montaje de un microinversor en una instalación de autoconsumo:

<https://goo.gl/1PJGgX>



### ACTIVIDADES

- En el enlace <https://goo.gl/Xm6iliw> tienes la información del inversor Solarmax S-6000. Configura un generador fotovoltaico adecuado para él con los datos del panel propuesto en el caso práctico 3.



Consulta en el siguiente enlace el documento completo sobre la normativa de instalaciones fotovoltaicas obligatorias en edificios:

<https://goo.gl/dUkV3k>

### 3.2. Diseño de instalaciones integradas en edificios

Desde 2006, a través del código técnico de la edificación (CTE) y el documento básico de ahorro de energía (DB-HE), se definen una serie de edificios que están obligados a incorporar instalaciones solares fotovoltaicas. Estos edificios los podemos ver en la Tabla 7.2.

Tipos de uso
Hipermercado
Multitienda y centros de ocio
Nave de almacenamiento
Administrativos
Hoteles y hostales
Hospitales y clínicas privadas
Pabellones de recintos feriales

Tabla 7.2. Edificios afectados por el CTE.



Fig. 7.10. Instalación solar fotovoltaica en una nave industrial.

En la última revisión del CTE (año 2013), se cambian los parámetros establecidos para las instalaciones en estos edificios. Es de aplicación a:

- Edificios de nueva construcción y edificios existentes que se reformen íntegramente, o en los que se produzca un cambio de uso característico, para los usos indicados en la tabla, cuando se superen los 5 000 m<sup>2</sup> de superficie construida.
- Ampliaciones en edificios existentes, cuando la ampliación corresponda a alguno de los usos establecidos en la tabla y tal ampliación supere los 5 000 m<sup>2</sup> de superficie construida. Se considerará parte de la superficie construida la correspondiente a aparcamiento subterráneo (si existe); no así las zonas exteriores comunes.

En el caso de edificios ejecutados dentro de una misma parcela catastral, destinados a cualquiera de los usos recogidos en la tabla, para la comprobación del límite establecido en 5 000 m<sup>2</sup>, se considerará la suma de la superficie construida de todos ellos.

Quedan exentos del cumplimiento total o parcial de esta exigencia los edificios históricos protegidos cuando así lo determine el órgano competente que deba dictaminar en materia de protección histórico-artística.

En función de la superficie construida, el tipo de uso del edificio y la zona climática donde se encuentre ubicado, se calcula la potencia de pico que se debe instalar en cada uno de ellos, para lo que ha de aplicarse la siguiente fórmula:

$$P = C \cdot (0,002 \cdot S - 5)$$

Siendo:

- $P$  la potencia nominal que se debe instalar [kW].
- $C$  el coeficiente definido en la tabla de la página siguiente en función de la zona climática establecida en el mapa de zonas climáticas.
- $S$  la superficie construida del edificio [m<sup>2</sup>].

La superficie que se debe considerar para el caso de edificios destinados a cualquiera de los usos recogidos en la tabla 7.2, ejecutados dentro de una misma parcela catastral, será la suma de todas ellas.

En todos los casos, la potencia pico mínima del generador será al menos igual a la potencia nominal del inversor. La potencia nominal máxima obligatoria que se debe instalar será, en todos los casos, de 100 kW. Con esta potencia máxima, nos aseguramos de que la conexión a la red eléctrica se realiza en baja tensión, lo que facilita la instalación del punto de conexión a red.

Estas instalaciones se están montando en la actualidad para autoconsumo, más para abaratar costes en la factura eléctrica que para vender energía a la red.

El coeficiente  $C$  es asignado en función de la zona climática donde se encuentra el edificio. Este coeficiente se ha calculado en función de los mapas de radiación sobre España. Un ejemplo de este mapa es el proporcionado por la Agencia Estatal de Meteorología (AEMET), que divide España en regiones [Figura 7.11].



Zona climática	Coeficiente $C$
Zona I	1
Zona II	1,1
Zona III	1,2
Zona IV	1,3
Zona V	1,4

Fig. 7.11. Mapa de las zonas climáticas en España y tabla de coeficientes climáticos.

Desde el punto de vista técnico, la colocación de los módulos debe ser tal que se minimicen las pérdidas por la posible falta de orientación y elevación de los paneles solares.

Además, se debe evitar que unos produzcan sombras a otros.

Los valores de pérdidas se fijan como un porcentaje sobre lo que sería la ubicación óptima de los paneles [orientados al sur y con una inclinación igual a la latitud menos  $10^\circ$ ], y nunca deben ser superiores a los aportados en la Tabla 7.3:

Casos	Orientación e inclinación	Sombras	Total
General	10 %	10 %	15 %
Superposición	20 %	15 %	30 %
Integración arquitectónica	40 %	20 %	50 %

Tabla 7.3. Pérdidas posibles en la instalación de un edificio.

El cálculo de las pérdidas viene perfectamente definido en el CTE. A la hora del diseño de la instalación, será muy importante el cálculo de las sombras (se pueden utilizar mapas de sombreado para ello), la distancia entre paneles y, como ya hemos comentado, la orientación e inclinación de estos.

A la hora de colocar los paneles en la cubierta del edificio, se debe garantizar la estanqueidad de esta cuando se fijan los soportes. También habrá que considerar la posible sobrecarga sobre la estructura del edificio.

Se debe asegurar la ventilación de los módulos para evitar, en la medida de lo posible, sobrecalentamientos que afecten al rendimiento de los módulos.

## VÍDEO

En el siguiente enlace puedes ver diferentes opciones para una instalación de autoconsumo:

<https://goo.gl/AVm5V5>

La tendencia actual en la integración arquitectónica de los paneles solares es hacia la doble utilización del módulo: por un lado, como generador de energía y, por otro, como elemento estético y funcional en cuanto al aislamiento térmico y acústico. Se tiende a que los módulos no ocupen un espacio extra en el edificio, sino que estén superpuestos en paralelo a la envolvente de este.

La conexión a red de una instalación en un edificio puede suponer un problema en el caso de que la potencia instalada sea elevada y se necesite una conexión a una red de media tensión, que precisará ineludiblemente de un centro de transformación y, por tanto, encarecerá el coste de la instalación fotovoltaica.



Fig. 7.12. Colocación del generador fotovoltaico sobre el tejado de la nave industrial; se ha respetado la distancia entre filas de módulos para evitar los sombreados.

## CASO PRÁCTICO 4

Se desea realizar una instalación solar en una nave de almacenamiento situada en la localidad de Segovia. La nave tiene una superficie de  $14\,000\text{ m}^2$ , y se estima que, por la orientación y posición del edificio, se pueden producir unas pérdidas en torno al 25% de las condiciones ideales. Calcula la potencia de pico que se debe instalar en el edificio y la producción de energía que puede generar.

### Solución

Lo primero en lo que debemos fijarnos es en qué zona climática nos encontramos, con el fin de obtener de la tabla correspondiente el coeficiente  $C$ . Consultando el mapa, vemos que estamos en la zona III, luego  $C = 1,2$ . La fórmula para el cálculo de la potencia a instalar será:

$$P = C \cdot (0,002 \cdot S - 5)$$

Sustituyendo valores, tendremos:

$$P = 1,2 \cdot (0,002 \cdot 14\,000 - 5) = 27,6\text{ kW}$$

A partir de este dato, haríamos la configuración del generador fotovoltaico, tal como hemos visto en el caso práctico anterior. No hay que olvidar que el primer equipo que debe elegirse es el inversor, para conocer los rangos de tensión de entrada que necesitamos y decidir, en consecuencia, cómo conectar los diferentes módulos (hay que elegir también un determinado panel), en serie o paralelo.

Es importante ver dónde se van a ubicar los paneles y qué tipo de soporte vamos a necesitar para su instalación. En este tipo de edificios, lo normal es que vayan instalados sobre la cubierta, lo que puede hacer que se produzcan sombras entre ellos (si se ha calculado correctamente el valor de la distancia entre filas de módulos, esto no debería suceder), factor que es recogido en el porcentaje que se da en el enunciado. Un ejemplo de posible colocación sería el mostrado en la Figura 7.12.

Para saber la energía media producida:

- Calculamos la energía en condiciones óptimas de inclinación y orientación, proceso visto anteriormente, a partir de los datos de localización geográfica, y de una base de datos.
- Restamos a ese valor el 20% debido a las pérdidas en la instalación.
- La otra solución es aplicar la fórmula vista en las instalaciones de huerto solar, con un coeficiente  $PR = 0,75$ .

## VÍDEO

En el siguiente enlace puedes ver un vídeo sobre el funcionamiento e instalación de un inversor de conexión a red:

<https://goo.gl/1WFTv9>



## ACTIVIDADES

7. Calcula la potencia que se debe instalar en un supermercado de  $7\,000\text{ m}^2$  en Gandía (Valencia).
8. En Ribadeo (Lugo), se ha construido un complejo turístico que consta de los siguientes elementos:
  - a) Dos hoteles, con una superficie de  $1\,500\text{ m}^2$  y  $3\,000\text{ m}^2$ , respectivamente.
  - b) Un supermercado de  $2\,000\text{ m}^2$  de superficie construida.
  - c) Un centro de ocio con  $1\,000\text{ m}^2$  de superficie.

Estudia la obligatoriedad de realizar una instalación fotovoltaica en el complejo. En caso afirmativo, calcula la potencia a instalar en ella.



## 4. Interacción de la instalación con la red eléctrica

Como nuestra instalación fotovoltaica va a estar inyectando energía a la red eléctrica, deberá cumplir una serie de requisitos en cuanto a la señal suministrada, con el fin de que no se produzcan perturbaciones o problemas derivados de dicha conexión. Analizaremos alguno de los aspectos que han de tenerse en cuenta.

### 4.1. Análisis de posibles perturbaciones y calidad de suministro

En la interacción del sistema fotovoltaico con la red eléctrica, es preciso que el sistema no trastorne las condiciones de seguridad de la red, del mismo modo que debe inyectarse energía siguiendo algunos requerimientos de calidad.

Este tema debe tenerse en cuenta de forma muy especial en instalaciones de cierta potencia. La reglamentación deja bastantes lagunas, que han de cubrirse con la experiencia acumulada en estos sistemas, recurriendo a la amplia bibliografía existente, así como a informes sectoriales.

La reglamentación vigente marca las condiciones de la conexión a la red de una instalación fotovoltaica. Los puntos, extraídos del Real Decreto 1699/2011, que han de tenerse en cuenta son los siguientes:

#### Artículo 12: Condiciones de conexión

1. Los esquemas de conexión deben responder al principio de minimizar pérdidas en el sistema, favoreciendo el mantenimiento de la seguridad y calidad de suministro y posibilitando el trabajo en isla, sobre sus propios consumos, nunca alimentando a otros usuarios de la red. Las configuraciones de conexión deberán asegurar la fiabilidad de las medidas de energía producida y consumida.
2. Si la potencia nominal de la instalación de generación a conectar a la red de distribución es superior a 5 kW, la conexión de la instalación a la red será trifásica con un desequilibrio entre fases inferior a 5 kW.
3. La contribución de los generadores al incremento o la caída de tensión en la línea de distribución de baja o media tensión, entre el centro de transformación o la subestación de origen donde se efectúe la regulación de la tensión y el punto de conexión, no debe ser superior al 2,5% de la tensión nominal de la red de baja o media tensión, según corresponda.
4. El factor de potencia de la energía suministrada a la red de la empresa distribuidora debe ser lo más próximo posible a la unidad y, en todo caso, superior a 0,98 cuando la instalación trabaje a potencias superiores al 25% de su potencia nominal.

#### Artículo 13. Condiciones específicas para la conexión en redes interiores

1. La conexión se realizará en el punto de la red interior de su titularidad más cercano a la caja general de protección, de tal forma que permita aislar simultáneamente ambas instalaciones del sistema eléctrico.
2. El titular de la red interior habrá de ser el mismo para todos los equipos de consumo e instalaciones de generación que tuviera conectados en su red. En este caso, deberá figurar una anotación al margen en la inscripción definitiva de la instalación de producción, tanto en el registro autonómico como en el registro administrativo de instalaciones de producción de energía eléctrica dependiente de la Dirección General de Política Energética y Minas.
3. Las instalaciones de producción conectadas a una red interior no podrán ser de potencia superior a 100 kW y, en todo caso, no podrán superar la capacidad disponible en el punto de conexión a la red de distribución, ni la potencia adscrita al suministro.



#### IMPORTANTE

En algunas de las instalaciones de autoconsumo se utilizan inversores denominados *de inyección cero*. Se caracterizan por que, a pesar de estar conectados a la red eléctrica, no vierten excedentes de producción de energía de la instalación fotovoltaica.



#### VÍDEO

En el siguiente enlace puedes ver un ejemplo de una instalación con inyección cero:

<https://goo.gl/igM7pA>



Fig. 7.13. Punto de conexión a red de la instalación fotovoltaica.

## ABC VOCABULARIO

**THD (total harmonic distortion):** distorsión armónica total referida a la tensión.

**ITHD (input total harmonic distortion):** distorsión armónica referida a la corriente.

Las distorsiones de este tipo son debidas a la presencia de armónicos (ondas de frecuencias múltiplo de la frecuencia de la onda principal).



Fig. 7.14. Ejemplo de equipo de medida del consumo del usuario de la instalación, en el caso de que esté acogido a la modalidad de autoconsumo de tipo 2.

## ! IMPORTANTE

La normativa para los aparatos de medida de consumos está definida en el Real Decreto 875/1984, de 28 de marzo, por el que se aprueba el Reglamento para la aprobación de modelo y verificación primitiva de los contadores de inducción de uso corriente (clase 2) en conexión directa, nuevos, a tarifa simple o a tarifas múltiples, destinados a la medida de la energía en corriente monofásica y polifásica de frecuencia 50 Hz.

Con respecto a la calidad que debe tener la señal que se inyecta a la red, podemos hacer las siguientes consideraciones:

- La energía inyectada a la red eléctrica por el sistema fotovoltaico debe cumplir las siguientes características:
  - Distorsión armónica total de la onda de corriente inferior al 5% ( $ITHD < 5\%$ ) para una THD de la onda de tensión inferior al 2%. Este requerimiento se define para el inversor operando a potencia nominal. La ITHD se incrementa a medida que se reduce la potencia de operación del inversor, y puede alcanzar valores superiores al 25% operando al 10% de la potencia nominal.
  - Inyección con un factor de potencia unidad o minimización de la energía reactiva.
  - No inyección de corriente continua a la red eléctrica. Este requerimiento se traduce en que la instalación deberá disponer de una separación galvánica entre la red de distribución de baja tensión y las instalaciones fotovoltaicas, sea por medio de un transformador de aislamiento o cualquier otro medio, basado en el desarrollo tecnológico, que cumpla las mismas funciones.

En general, este aislamiento galvánico va incorporado al inversor a modo de transformador en baja frecuencia, aunque se permite el uso de transformadores en alta frecuencia, y también está relacionado con el tipo de protecciones contra contactos indirectos que se han de tomar en la instalación.

- En cuanto a niveles de armónicos y compatibilidad electromagnética, todos los elementos de la instalación deberán cumplir con la reglamentación vigente, de forma que los certificados que así lo acrediten habrán de incluirse en la documentación que se debe presentar cuando se haga la solicitud de conexión a red.

## 4.2. Medidas de los consumos eléctricos

Las instalaciones fotovoltaicas, como ya hemos comentado, llevan generalmente dos tipos de contadores: uno para facturar la energía producida y otro para medir los consumos que puedan existir en la instalación.

El caso particular lo encontramos en las instalaciones conectadas a red para autoconsumo, reguladas por el Real Decreto 900/2015. Este real decreto define dos tipos de instalaciones y las particularidades que deben tener los equipos de medida para ellos. Algunos aspectos que hay que considerar son los siguientes:

- Los puntos de medida de las instalaciones acogidas a las modalidades de autoconsumo se ajustarán a los requisitos y condiciones establecidos en el Reglamento unificado de puntos de medida del sistema eléctrico aprobado por el Real Decreto 1110/2007, de 24 de agosto, y a la reglamentación vigente en materia de medida y seguridad y calidad industrial, cumpliendo los requisitos necesarios para permitir y garantizar la correcta medida y facturación de la energía circulada.
- Los equipos de medida de las instalaciones acogidas a la modalidad de autoconsumo tipo 1 tendrán la misma precisión y requisitos de comunicación que les corresponda como tipo frontera de consumidor. (Consultar el Real Decreto de 2007 para ver qué tipo de consumidor final es el usuario, dentro de los cinco tipos existentes).
- Los sujetos consumidores acogidos a esta modalidad de autoconsumo dispondrán de los equipos de medida necesarios para la facturación de los precios, tarifas, cargos, peajes y otros costes y servicios del sistema que les resulten de aplicación. A estos efectos, deberán disponer de un equipo de medida que registre la energía neta generada de la instalación de generación y de otro equipo de medida independiente en el punto frontera de la instalación.
- Con carácter general, los sujetos acogidos a la modalidad de autoconsumo tipo 2 deberán disponer de:
  - Un equipo de medida bidireccional que mida la energía generada neta.
  - Un equipo de medida que registre la energía consumida total por el consumidor asociado.
  - Potestativamente, un equipo de medida bidireccional ubicado en el punto frontera de la instalación.

## 5. Seguridad y protecciones en la instalación

En la Unidad 8, veremos detalladamente cuáles son las medidas de seguridad que debemos tener en cuenta a la hora de realizar una instalación fotovoltaica. En este apartado, en cambio, destacaremos cuáles son esas medidas, desde el punto de vista eléctrico, en una instalación conectada a red. Veamos, pues, los aspectos que han de tenerse en cuenta respecto a la seguridad a la hora de configurar la instalación.

Para la parte de **corriente continua** de la instalación:

1. La estructura del generador y todas las partes metálicas de la instalación están obligadas a tener una buena toma de tierra, de acuerdo con la normativa aplicable (por ejemplo, el Reglamento Electrotécnico para Baja Tensión, REBT).
2. La configuración eléctrica del generador fotovoltaico podrá ser flotante: así, ninguno de los polos, ni el positivo ni el negativo, estará conectado a la tierra de la instalación.

Asimismo, no debe olvidarse que, para prevenir riesgos frente a contactos indirectos en la parte de corriente continua de la instalación, es recomendable que esta disponga de un sistema de vigilancia permanente de aislamiento de ambos polos respecto de derivas a tierra, que pueda ir incorporado en el propio inversor.

3. Es aconsejable la utilización de descargadores de sobretensión o varistores situados entre los terminales positivo y negativo y tierra.

En la parte de **corriente alterna**, las protecciones de seguridad que pueden estar incorporadas en el inversor son las siguientes:

1. El sistema se tendría que desconectar si la tensión o la frecuencia de la tensión de la red están fuera de los siguientes rangos de operación:
  - Máxima y mínima tensión [1,1 y 0,85 de la tensión nominal, respectivamente].
  - Máxima y mínima frecuencia [51 y 49 Hz, respectivamente].
2. El sistema ha de disponer de una protección en modo isla contra la operación.

La prevención de la operación en modo isla consiste en que el sistema fotovoltaico no debe continuar generando energía mientras esté desconectada la sección de la red de distribución en baja tensión donde esté conectado.

La finalidad de esta protección es evitar el peligro que originaría para las labores de operación y mantenimiento de redes locales efectuadas por las compañías eléctricas, así como eludir daños potenciales a otros usuarios.

Cuando la empresa eléctrica abre el contador en su centro de transformación para dejar sin tensión una zona concreta de una red local de distribución eléctrica, todos los sistemas fotovoltaicos conectados a ella se deben desconectar automáticamente en un tiempo menor al equivalente a 6 ciclos de red [120 ms para 50 Hz].

La prevención de la operación en modo isla, habitualmente incorporada en el inversor, podrá estar activa, gracias a la monitorización de la impedancia de la red eléctrica, o pasiva, mediante la monitorización de las variaciones de frecuencia y tensión.

El sistema de protección de modo antiisla es un sistema de desconexión automática de la instalación fotovoltaica, ante un fallo de la red eléctrica, bien por avería o bien por corte de la conexión, para realizar labores en la instalación. Cada fabricante utiliza una técnica distinta para este sistema, por lo que siempre es conveniente consultar el manual del inversor que se está instalando para verificar el funcionamiento.

El fin del sistema es evitar accidentes en las operaciones de mantenimiento de la instalación.

### @ WEB

En el siguiente enlace tienes un documento muy interesante sobre diferentes protecciones eléctricas para corriente continua:

<https://goo.gl/eLZqBo>

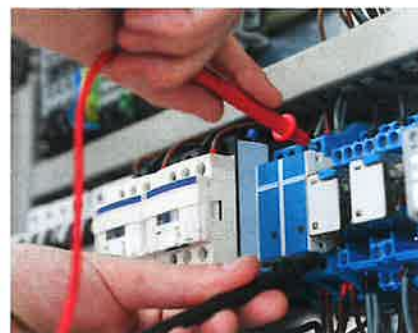


Fig. 7.15. Comprobación de tensiones en un cuadro de protecciones de una instalación solar fotovoltaica.



### ACTIVIDADES

9. Investiga en Internet qué tipo de inversores podemos utilizar en las instalaciones de autoconsumo. Elabora un documento donde reflejes las ventajas e inconvenientes que presenta cada uno de ellos.



## PRÁCTICA FINAL

### Estudio de una instalación fotovoltaica conectada a la red eléctrica

#### Objetivo de la práctica:

Comprobar el funcionamiento de la instalación y su comportamiento ante la conexión de cargas de consumo, y analizar las pérdidas que se pueden producir.

#### Materiales necesarios:

- Dos paneles fotovoltaicos y su soporte correspondiente.
- Contador de kilovatios hora.
- Inclínómetro.
- Inversor.
- Brújula.
- Polímetro.

#### Procedimiento:

##### 1. Comprobación de la energía producida por la instalación. Pasos que hay que seguir:

- Conectar los paneles solares en paralelo.
- Realizar la adecuada orientación de estos en el punto óptimo, y conectarlos al inversor.
- Colocar a la salida del inversor el contador de energía producida.
- Tras mantener la instalación funcionando durante dos horas seguidas, comprobar la cantidad de energía producida y anotar los resultados.

##### 2. Comprobación de las posibles pérdidas en la instalación.

###### – Pérdidas por apuntamiento de los paneles

A partir de las condiciones del apartado anterior, vamos a hacer dos variaciones:

- a) Cambiamos el ángulo de elevación, y mantenemos la instalación funcionando la misma cantidad de horas que en el caso anterior. Anotamos los resultados y comparamos con los obtenidos en el caso óptimo.
- b) Cambiamos la orientación al sur, y tomamos dos medidas: girando  $45^\circ$  en sentido horario y girando  $90^\circ$  también en sentido horario. Realizamos las medidas en las mismas condiciones y comparamos los resultados con los obtenidos anteriormente.

###### – Pérdidas por sombreado

En las condiciones anteriores, produciremos diferentes sombras en los paneles y mediremos a la salida de estos con el polímetro las variaciones de intensidad o tensión y, por tanto, de potencia de pico, que se producen en los paneles. Calcula la potencia de pico para las siguientes situaciones:

- a) Sombreado parcial de una célula del panel.
- b) Sombreado extenso en la parte central del panel.
- c) Sombreado de una fila y una columna de células en el panel.

##### 3. Influencia de los consumos.

Enchufar a la salida del inversor aparatos hasta que se sobrepase el valor máximo de potencia que puede entregar y comprobar qué ocurre en la instalación.

##### 4. Realizar una memoria donde se recojan los resultados obtenidos y las conclusiones.

a)

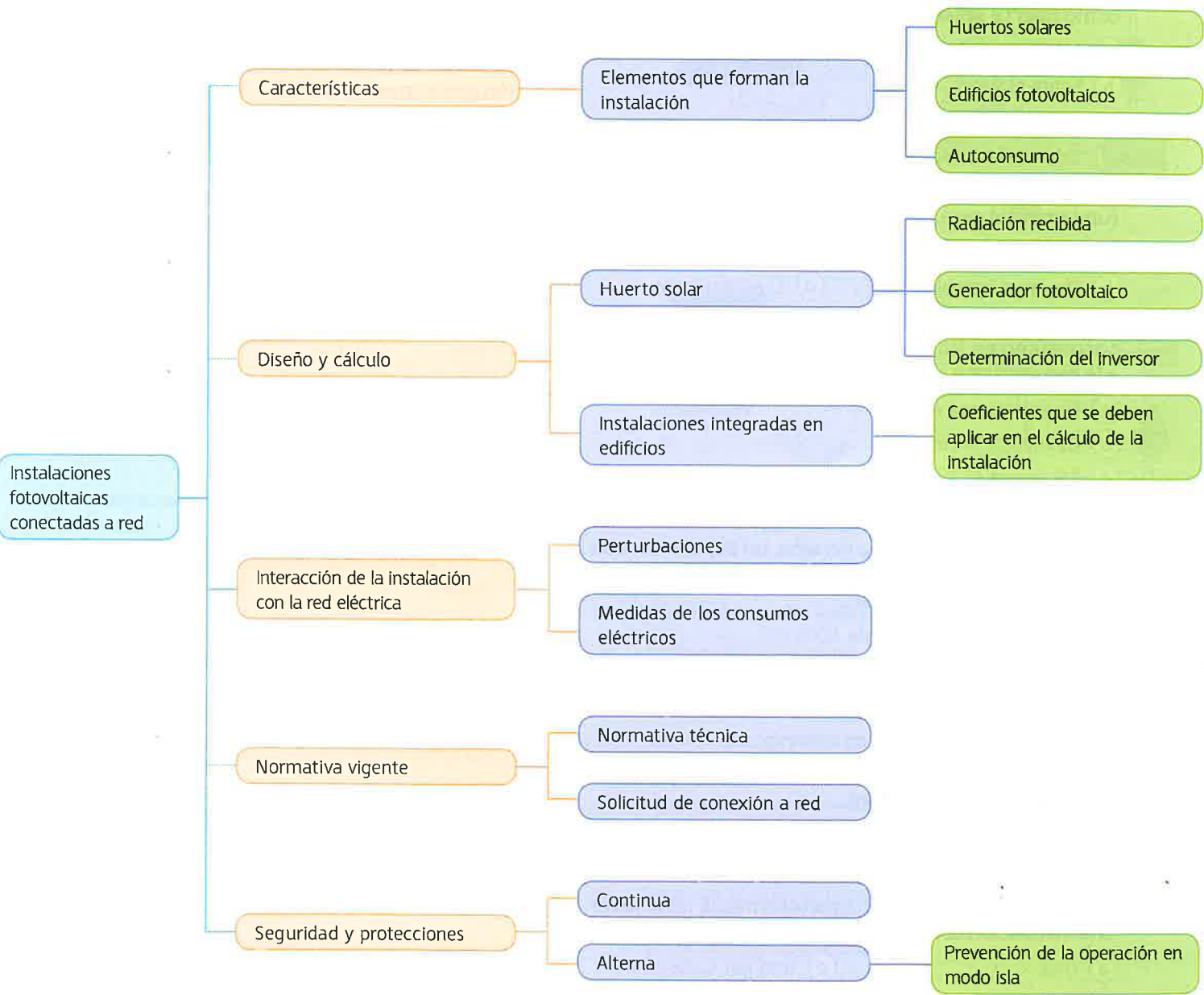


b)



c)





1. Un inversor para conexión a la red en una instalación fotovoltaica en España debe entregar:  
(a) Una onda senoidal de frecuencia de 50 Hz.  
(b) Una onda cuadrada de frecuencia de 50 Hz.  
(c) Una onda senoidal de frecuencia de 60 Hz.  
(d) Una onda cuadrada de frecuencia de 60 Hz.
2. La ubicación de una instalación de las denominadas como huerto solar será...  
(a) Sobre el tejado de un edificio.  
(b) Sobre el suelo.  
(c) Sobre la cubierta de una nave.  
(d) Sobre la fachada de un edificio.
3. En las instalaciones conectadas a red, el elemento fundamental será...  
(a) El inversor. (c) El regulador.  
(b) El campo fotovoltaico. (d) El acumulador.
4. Los inversores utilizados en las instalaciones de autoconsumo en las cuales no se quiere verter energía a la red eléctrica se denominan...  
(a) De inyección a red.  
(b) De inyección cero.  
(c) Sin inyección a red.  
(d) No existen estos inversores.
5. Según el CTE, en su última versión, un supermercado de nueva construcción está obligado a colocar una instalación fotovoltaica si...  
(a) Tiene construidos más de 1000 m<sup>2</sup>.  
(b) Su superficie es de 2500 m<sup>2</sup>.  
(c) Su superficie es de 3500 m<sup>2</sup>.  
(d) Su superficie es mayor de 5000 m<sup>2</sup>.
6. La conexión a la red de una instalación cuya potencia nominal sea de 20 kW será...  
(a) Monofásica. (c) Cuatrifásica.  
(b) Trifásica. (d) Es indiferente.
7. ¿Cuántos interruptores magnetotérmicos debe llevar una instalación conectada a la red?:  
(a) Uno. (c) Uno por cada inversor.  
(b) Dos. (d) Dos por cada inversor.
8. Una forma rápida de calcular el ángulo de inclinación óptimo para los paneles fotovoltaicos de una instalación con conexión a red es...  
(a) Restar 10° a la latitud del lugar.  
(b) Sumar 10° a la latitud del lugar.  
(c) Será el mismo que la latitud del lugar.  
(d) Será el mismo que la longitud del lugar.
9. Si consideramos la potencia nominal del inversor y la potencia de pico del campo fotovoltaico que lleva conectado, la relación ideal será...  
(a) La del inversor será aproximadamente la misma del campo fotovoltaico.  
(b) La del inversor será el 50% de la potencia del campo fotovoltaico.  
(c) La del inversor será el 90% de la del campo fotovoltaico.  
(d) Ninguna de las respuestas anteriores es correcta.
10. ¿Cuántos contadores de energía tendrá una instalación con conexión a red?  
(a) Uno para saber la energía producida.  
(b) Uno para saber el consumo de la instalación.  
(c) Ninguno.  
(d) Dos: uno para la energía producida y otro para la consumida en la instalación.
11. ¿Cuántas zonas climáticas, según el mapa de la AEMET, existen en España?  
(a) Dos. (b) Tres. (c) Cuatro. (d) Cinco.
12. Para el cálculo de la superficie construida en un edificio obligado a colocar una instalación fotovoltaica según el CTE, que dispone de un aparcamiento subterráneo, se tiene en cuenta...  
(a) Toda la edificación sin incluir el aparcamiento subterráneo.  
(b) Toda la edificación incluyendo el aparcamiento subterráneo.  
(c) Solamente el aparcamiento subterráneo.  
(d) Solamente las dos primeras plantas.
13. La potencia máxima nominal a instalar en los edificios obligados a colocar una instalación fotovoltaica será...  
(a) 10 kW. (c) 100 kW.  
(b) 50 kW. (d) 1000 kW.
14. Un inversor de conexión a red se desconectará de esta cuando exista una variación de la frecuencia en la red de...  
(a) 40 a 42 Hz.  
(b) 60 Hz.  
(c) 49 a 51 Hz.  
(d) No se desconectará nunca.
15. El sistema de protección de modo antiisla...  
(a) Conecta el inversor a la red.  
(b) Desconecta el inversor automáticamente.  
(c) No efectúa ninguna operación.  
(d) Sirve solo para inversores de autoconsumo.



## COMPRUEBA TU APRENDIZAJE

### Describir los componentes que forman la instalación

1. En un complejo residencial de la localidad de Orellana (Badajoz), se han construido los siguientes edificios:

- Un hipermercado cuya superficie es de 7 000 m<sup>2</sup>.
- Un hotel de 4 500 m<sup>2</sup> de superficie.
- Un centro de ocio de 8 000 m<sup>2</sup> de superficie.

A la vista de estos datos, y teniendo en cuenta lo expuesto en la unidad, se pide:

- Potencia fotovoltaica obligatoria que se debe instalar en función de las características de los edificios.
  - Cálculo de la radiación recibida en el emplazamiento de la instalación.
  - Cantidad de energía que puede inyectar la instalación, como media anual.
  - Elementos que formarían la instalación. Elige de un catálogo modelos comerciales de paneles solares e inversores con los que se podría realizar la configuración de la instalación calculada.
2. Se desea instalar un huerto solar, con una producción de 1 MWh por día, en la localidad de Valladolid. Se pide:
- Radiación recibida en el emplazamiento, con el ángulo óptimo de inclinación.
  - Potencia de pico del generador fotovoltaico que se va a instalar.
  - Elección de los inversores adecuados para la instalación que se va a realizar.
3. ¿Qué es el coeficiente C que se utiliza en las fórmulas para el cálculo de instalaciones en edificios? ¿Para qué sirve? ¿Cómo se asigna?

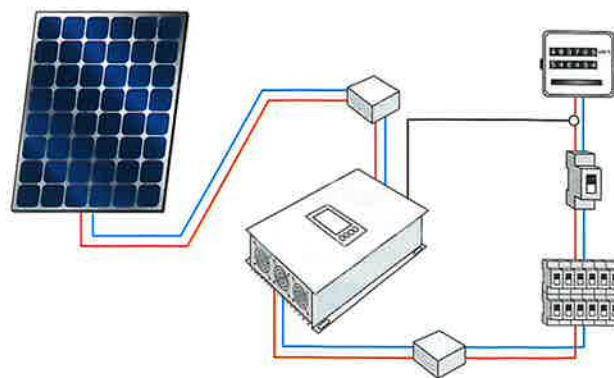
### Analizar el comportamiento del inversor

En el enlace <https://goo.gl/CUQLPb> tienes la ficha técnica de un inversor para conexión a red. En función de los datos aportados por el fabricante, contesta a las siguientes preguntas:

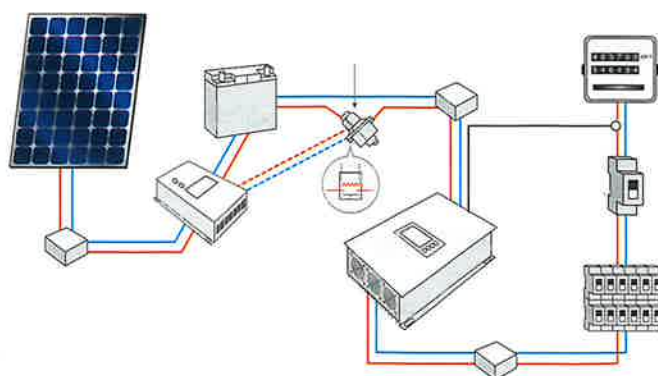
- Tipo de conexión a la red.
- Si elegimos el modelo 5TLM:
  - ¿Cuál es la potencia nominal del inversor?
  - ¿Cuál sería el valor de la potencia de pico del campo fotovoltaico que se va a conectar en él?
  - ¿Cuál es el rango de tensiones de entrada en corriente continua que admite?
  - ¿Cuál es su rendimiento?
  - ¿Qué rango de temperaturas de funcionamiento tiene el equipo?

4. En los siguientes esquemas tienes dos formas de conectar un inversor en una instalación de autoconsumo, con vertido o a la red:

Sin baterías



Con baterías



[Cortesía de Martín Solar]

Explica detenidamente las diferencias entre los dos montajes. Utiliza para ello la información proporcionada en la siguiente página web:

<https://goo.gl/sBE8m1>

5. Además de los inversores con sistemas de inyección cero a red, existen otros modelos, denominados híbridos. Explica en qué consisten estos inversores, destacando las ventajas que pueden tener en las instalaciones de autoconsumo.

Para ello te puedes basar en la información existente en la siguiente página web donde hay un apartado dedicado a la venta de este tipo de equipos:

<http://martinsolar.es/>

### Establecer los consumos eléctricos

6. Haz una lista con los sets electrodomésticos que más se utilicen en tu casa y calcula su consumo energético a lo largo de un año.