



Instalaciones solares fotovoltaicas

Consulte nuestra página web: **www.sintesis.com**
En ella encontrará el catálogo completo y comentado



Queda prohibida, salvo excepción prevista en la ley, cualquier forma de reproducción, distribución, comunicación pública y transformación de esta obra sin contar con autorización de los titulares de la propiedad intelectual. La infracción de los

derechos mencionados puede ser constitutiva de delito contra la propiedad intelectual (arts. 270 y sigs. Código Penal). El Centro Español de Derechos Reprográficos (www.cedro.org) vela por el respeto de los citados derechos.

Instalaciones solares fotovoltaicas

Juan José Guerrero García

© Juan José Guerrero García

© EDITORIAL SÍNTESIS, S. A.
Vallehermoso, 34. 28015 Madrid
Teléfono 91 593 20 98
<http://www.sintesis.com>

ISBN: 978-84-9171-351-7
Depósito Legal: M-16.546-2019

Impreso en España - Printed in Spain

Reservados todos los derechos. Está prohibido, bajo las sanciones penales y el resarcimiento civil previstos en las leyes, reproducir, registrar o transmitir esta publicación, íntegra o parcialmente, por cualquier sistema de recuperación y por cualquier medio, sea mecánico, electrónico, magnético, electroóptico, por fotocopia o por cualquier otro, sin la autorización previa por escrito de Editorial Síntesis, S. A.

Índice

PRESENTACIÓN	9
1. LA ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA Y LA RADIACIÓN SOLAR	11
Objetivos	11
Mapa conceptual	12
Glosario	13
1.1. Introducción	13
1.2. La energía solar fotovoltaica	14
1.2.1. Cómo se produce la energía solar fotovoltaica y cómo se usa	15
1.2.2. Por qué aprovechar la energía solar fotovoltaica	16
1.3. La célula o celda solar fotovoltaica	17
1.3.1. El efecto fotovoltaico	17
1.3.2. Qué es y cómo funciona una célula o celda solar fotovoltaica	18
1.4. La radiación solar	20
1.4.1. Tipos de radiación solar	22
1.4.2. Niveles de radiación	23
1.4.3. Zonas climáticas y mapa solar. Horas solares pico (HSP)	27
Resumen	29
Ejercicios propuestos	29
Práctica n.º 1	30
Actividades de autoevaluación	30
2. PANELES SOLARES FOTOVOLTAICOS	33
Objetivos	33
Mapa conceptual	34
Glosario	35

2.1.	Introducción	35
2.2.	Elementos que componen un panel solar fotovoltaico	35
2.3.	Tipos de paneles solares fotovoltaicos según el tipo de célula utilizada en su fabricación	36
2.3.1.	Paneles con sistemas de concentración mediante superficies reflectantes	39
2.4.	Principales parámetros de los paneles solares fotovoltaicos y su interpretación	40
2.4.1.	Curvas características	42
2.5.	Sistemas de agrupamiento de paneles	43
2.5.1.	Conexionado en serie	43
2.5.2.	Conexionado en paralelo	44
2.5.3.	Conexionado mixto (serie-paralelo)	45
2.6.	Orientación e inclinación de paneles	46
2.7.	Sombras sobre los paneles y sus consecuencias	48
	Resumen	52
	Ejercicios propuestos	53
	Práctica n.º 2	54
	Actividades de autoevaluación	55
3.	PRINCIPALES COMPONENTES DE LAS INSTALACIONES SOLARES FOTOVOLTAICAS	57
	Objetivos	57
	Mapa conceptual	58
	Glosario	59
3.1.	Introducción	59
3.2.	Generador fotovoltaico	60
3.3.	Baterías y acumuladores	61
3.3.1.	Tipos de baterías	61
3.3.2.	Características principales de las baterías	65
3.4.	Reguladores de carga	67
3.4.1.	Tipos de reguladores	68
3.4.2.	Características principales de los reguladores	69
3.5.	Inversores CC-CA	70
3.5.1.	Tipos de inversores	70
3.5.2.	Características principales de los inversores	72
3.6.	Esquemas y simbología utilizada en las instalaciones solares fotovoltaicas	73
3.6.1.	Esquema unifilar	74
3.6.2.	Esquema ampliado o desarrollado	75
	Resumen	76
	Ejercicios propuestos	76
	Práctica n.º 3	77
	Actividades de autoevaluación	78
4.	ESTRUCTURAS PARA SOPORTE DE PANELES SOLARES	81
	Objetivos	81
	Mapa conceptual	82
	Glosario	83
4.1.	Introducción	83

4.2.	Estructuras fijas	85
4.2.1.	Estructuras para poste o mástil	85
4.2.2.	Estructuras para suelo	86
4.2.3.	Estructuras para pared	88
4.2.4.	Estructuras para cubierta	89
4.3.	Estructuras móviles	90
4.3.1.	Seguidores solares de un eje	91
4.3.2.	Seguidores solares de dos ejes	92
4.4.	Aspectos a considerar en el montaje de las estructuras de soporte	93
4.5.	Fuerza del viento ejercida sobre el generador fotovoltaico	94
4.6.	Integración arquitectónica y urbanística de los generadores fotovoltaicos ..	95
	Resumen	97
	Ejercicios propuestos	98
	Práctica n.º 4.....	99
	Actividades de autoevaluación	99
5.	INSTALACIONES SOLARES FOTOVOLTAICAS AISLADAS Y DE CONEXIÓN A RED. CÁLCULO Y SELECCIÓN DE COMPONENTES DE UNA INSTALACIÓN SOLAR FOTOVOLTAICA AISLADA	101
	Objetivos	101
	Mapa conceptual	102
	Glosario	102
5.1.	Introducción	103
5.2.	Consideraciones previas al cálculo de una instalación solar fotovoltaica	103
5.2.1.	Visita al lugar donde pretende llevarse a cabo la instalación	103
5.2.2.	Principales tipos de instalaciones que pueden encontrarse	104
5.2.3.	Instalación del generador auxiliar	104
5.3.	Cálculo de los principales elementos que componen una instalación solar fotovoltaica aislada	105
5.3.1.	Cálculo del generador fotovoltaico	105
5.3.2.	Cálculo de las baterías (o acumulador)	108
5.3.3.	Cálculo del regulador	110
5.3.4.	Cálculo del inversor	110
5.3.5.	Cálculo de la sección de conductores eléctricos activos. Caídas de tensión	112
5.4.	Puesta a tierra de la instalación. Conductores de protección	114
5.5.	Cuadro resumen de los principales componentes que forman parte de la instalación solar fotovoltaica	116
5.6.	Instalación solar FV conectada a red. Principios básicos	116
	Resumen	117
	Ejercicios propuestos	118
	Práctica n.º 5.....	119
	Actividades de autoevaluación	119
6.	MANTENIMIENTO Y CONSERVACIÓN DE INSTALACIONES SOLARES FOTOVOLTAICAS	121
	Objetivos	121
	Mapa conceptual	122

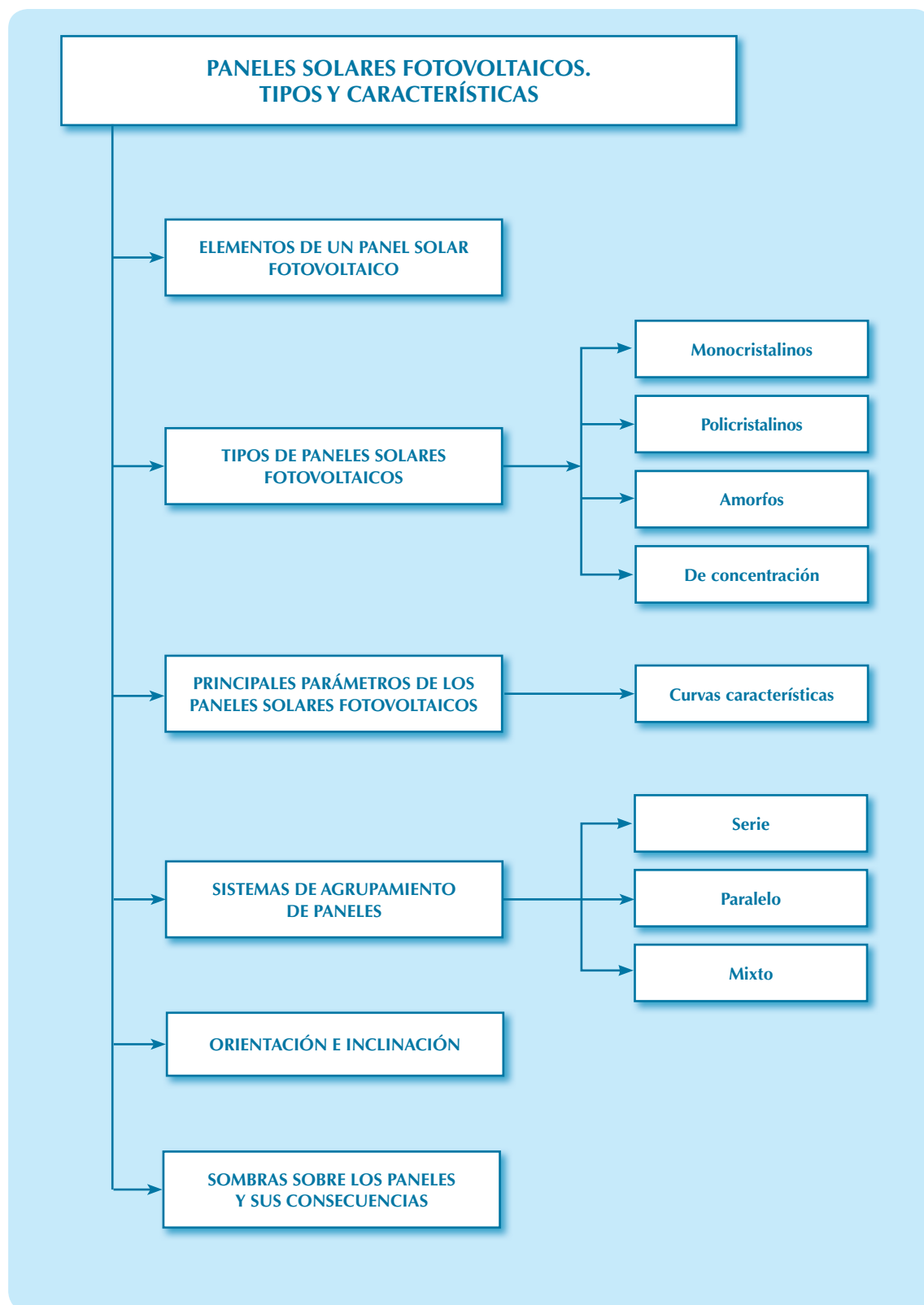
Glosario	122
6.1. Introducción	123
6.2. Tipos de mantenimiento en las instalaciones solares fotovoltaicas	123
6.2.1. Mantenimiento preventivo	123
6.2.2. Mantenimiento correctivo	124
6.3. Planes de mantenimiento	124
6.3.1. Plan de mantenimiento preventivo	125
6.3.2. Labores preventivas	128
6.3.3. Plan de mantenimiento correctivo	131
6.4. Averías más usuales en las instalaciones solares fotovoltaicas y causas que pueden provocarlas	132
6.5. Herramientas e instrumentos de medida	133
Resumen	134
Ejercicios propuestos	135
Práctica n.º 6	136
Actividades de autoevaluación	136
 7. NORMATIVA, PREVENCIÓN DE RIESGOS LABORALES, GESTIÓN DE RESIDUOS Y PROTECCIÓN MEDIOAMBIENTAL	 139
Objetivos	139
Mapa conceptual	140
Glosario	140
7.1. Introducción	141
7.2. Marco legal que afecta a las instalaciones solares fotovoltaicas y su legalización	142
7.2.1. Instalaciones solares fotovoltaicas aisladas	142
7.2.2. Instalaciones solares fotovoltaicas conectadas a red	143
7.2.3. Requisitos para legalizar una instalación solar fotovoltaica aislada	143
7.2.4. Requisitos para legalizar una instalación solar fotovoltaica conectada a red	145
7.3. Evaluación de riesgos, equipos de protección y elementos de seguridad en una instalación solar fotovoltaica	146
7.3.1. Señalización	146
7.3.2. Equipos de protección individual (EPI)	148
7.4. Principales riesgos asociados a una instalación solar fotovoltaica	150
7.4.1. Riesgos eléctricos	150
7.4.2. Riesgos derivados de trabajos en altura	151
7.4.3. Otros riesgos	152
7.5. Gestión de residuos	152
7.6. Aspectos medioambientales de las instalaciones solares fotovoltaicas	153
7.6.1. El uso de la tierra	154
7.6.2. El uso del agua	154
7.6.3. El uso de materiales peligrosos	154
7.6.4. Las emisiones que afectan al calentamiento global de la atmósfera	155
7.6.5. El impacto visual	155
Resumen	156
Ejercicios propuestos	156
Práctica n.º 7	157
Actividades de autoevaluación	158

Paneles solares fotovoltaicos

Objetivos

- ✓ Diferenciar los elementos que componen los paneles solares fotovoltaicos.
- ✓ Aprender a distinguir los tipos de paneles solares fotovoltaicos y sus características según el tipo de célula empleada en su fabricación.
- ✓ Identificar los principales parámetros que definen el comportamiento de los paneles solares fotovoltaicos y saber interpretar sus curvas características.
- ✓ Conocer los sistemas de agrupamiento que existen de los paneles solares fotovoltaicos.
- ✓ Aprender a calcular la orientación e inclinación que deben tener los paneles solares fotovoltaicos.
- ✓ Saber cómo influyen las sombras proyectadas sobre los paneles solares fotovoltaicos en su rendimiento y cómo pueden evitarse.

Mapa conceptual



Glosario

Borne. Cada una de las partes metálicas de una máquina o dispositivo eléctrico donde se produce la conexión con el circuito eléctrico exterior a él.

Brújula. Instrumento de orientación que utiliza una aguja imantada para señalar el norte geográfico terrestre.

Bypass. Expresión inglesa que significa “desviar” o “derivar” y, por lo tanto, se emplea para hacer referencia a una derivación, desvío o corte de una ruta.

Corriente continua. Corriente de intensidad constante en la que el movimiento de las cargas siempre tiene lugar en el mismo sentido.

Orografía. Rama de la geografía que analiza, describe y clasifica las formas del relieve terrestre y que aporta conocimiento e información sobre las condiciones y circunstancias de este.

2.1. Introducción

Como se ha indicado en el apartado 1.3.2, los paneles solares fotovoltaicos están formados por una determinada cantidad de redes de células conectadas en serie para aumentar la tensión de salida hasta el valor deseado (usualmente 12, 24 o 36 V) y en paralelo para incrementar la corriente eléctrica que es capaz de proporcionar el conjunto.

Son los elementos principales de toda instalación solar para generación de electricidad y se fabrican en distintos tipos, tensiones, dimensiones y potencias para poder elegir el modelo que mejor se adapte a cada caso.

Actualmente y debido a la cada vez más demandada integración arquitectónica y urbanística de estas instalaciones, pueden encontrarse no solo en grandes huertos solares o sobre los tejados de las viviendas, sino también formando parte de las propias estructuras de los edificios (por ejemplo, sustituyendo a las ventanas convencionales), en parques y jardines de las ciudades y en carreteras para iluminación de paneles y farolas, etc...

2.2. Elementos que componen un panel solar fotovoltaico

Las células que forman los paneles solares fotovoltaicos se rodean de ciertos elementos con el fin de protegerlas de los agentes externos y dotar a aquellos de la rigidez necesaria para que puedan acoplarse posteriormente a las estructuras que los soportan. Asimismo, deben preverse las conexiones precisas para que los paneles puedan conectarse entre sí y al resto de los componentes de la instalación. Estos elementos son los siguientes:

1. *Encapsulado*: su misión es proteger las células solares y sus contactos. Los materiales que se utilizan proporcionan una excelente transmisión a la radiación solar y mínima degradación frente a los rayos ultravioleta.
2. *Cubierta exterior*: tiene como función proteger a la parte expuesta a la radiación de la acción de elementos externos. Se utiliza vidrio templado con alto contenido en hierro, que facilita la transmisión de la luz y tiene gran capacidad de resistencia a las condiciones climatológicas más adversas y a los impactos, pudiendo soportar también sin problemas cambios bruscos de temperatura.
3. *Cubierta posterior*: destinada a la protección trasera del panel fotovoltaico, en especial contra los agentes atmosféricos, ejerce de barrera contra la humedad. Normalmente son de color blanco, ya que esto favorece el rendimiento del panel debido a que vuelven a reflejar sobre las células la luz que ha pasado entre los intersticios de estas.
4. *Marco de metal*: suele fabricarse de aluminio. Asegura rigidez mecánica y estanqueidad al conjunto y se dota de un sistema que permite su acoplamiento a otros paneles y a la estructura soporte.
5. *Caja de conexiones*: incorpora los bornes para la conexión del panel.
6. *Diodos de bypass*: protegen de posibles daños causados por sombras parciales en la superficie del panel. Van ubicados en la caja de conexiones.

En la figura 2.1, se observan las diferentes partes de las que se compone un panel solar fotovoltaico.

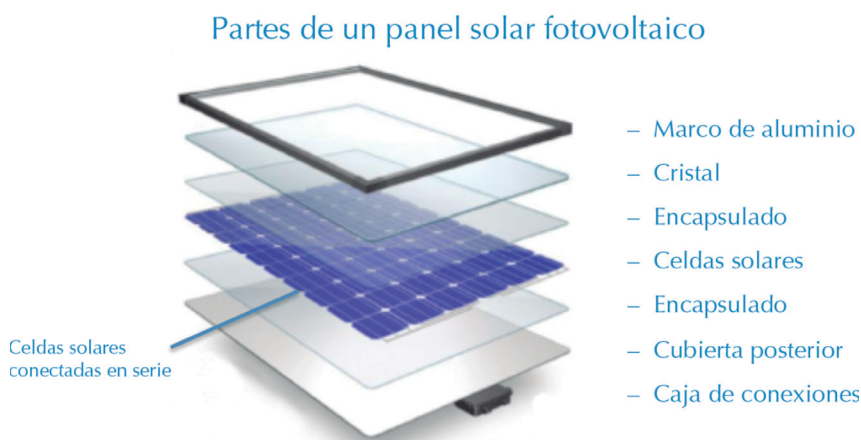


Figura 2.1

Partes de un panel solar fotovoltaico

Fuente: Carlos Paz SOLAR©

2.3. Tipos de paneles solares fotovoltaicos según el tipo de célula utilizada en su fabricación

En función del tipo de célula utilizada en su construcción, se distinguen principalmente entre tres tipos de paneles solares fotovoltaicos (figura 2.2): monocristalinos, policristalinos y amorfos (o de capa fina). Las principales características de los distintos tipos de paneles solares se detallan a continuación y en el cuadro 2.1.

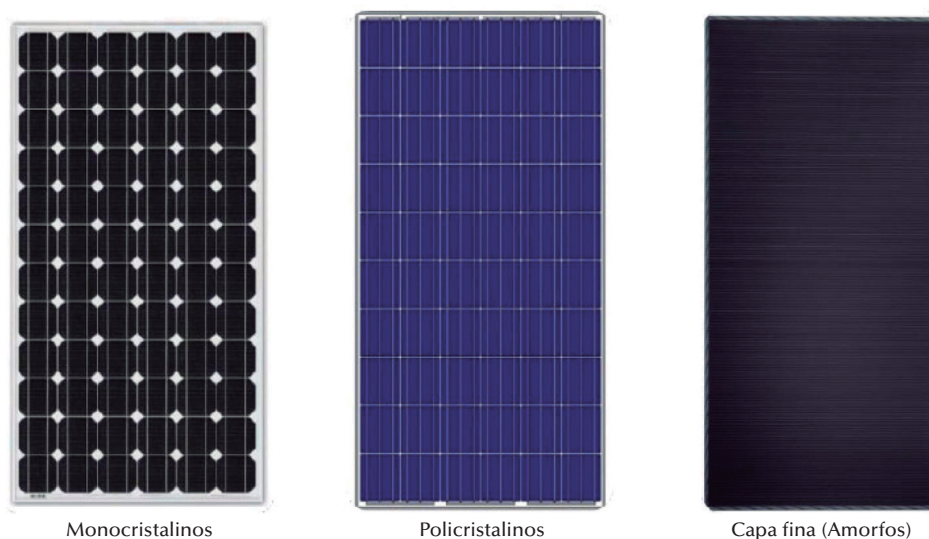


Figura 2.2
Paneles solares según el tipo de célula, Tritec®

1. *Paneles solares de silicio monocristalino.* Fueron los primeros en fabricarse a principios de los años cincuenta del siglo xx. Sus células están compuestas de silicio puro que se somete a múltiples fases de cristalización hasta obtener un solo tipo de cristal. Posteriormente, se someten al proceso de dopado con boro y fósforo y adquieren una forma cilíndrica una vez solidificados. Finalmente, se les da forma cuadrada y se recortan o redondean sus esquinas.
2. *Paneles solares de silicio policristalino.* Empezaron a utilizarse en la década de los años ochenta del siglo pasado. Se fabrican mediante células de silicio puro sometido a menos fases de cristalización que las monocristalinas, por lo que resultan con múltiples tipos de cristales. También se someten al proceso de dopado, como en el caso anterior, y solidifican en un molde perfectamente cuadrado, por lo que, al cortarse para obtener las células, estas presentan dicha forma.
3. *Paneles solares de silicio amorfo o de capa fina.* Son los más modernos y se fabrican con silicio sin cristalizar, depositando en forma de vapor una película de dicho elemento encima de una superficie de metal, plástico u otro material. A causa de su menor densidad de potencia, requieren como mínimo el doble de espacio que el resto de las placas solares para conseguir los mismos vatios.



Actividad propuesta 2.1

Localiza las hojas de características de paneles solares fotovoltaicos de los tres tipos y de potencias similares y compara en un cuadro las siguientes:

- Dimensiones.
- Rendimiento (eficiencia).
- Vida útil.
- Precio.

CUADRO 2.1**Principales características de los distintos tipos de paneles solares**

Monocristalino	Policristalino	Amorfo
Aparecen en la década de los cincuenta del siglo pasado.	Empezaron a utilizarse en la década de los ochenta.	Técnica de fabricación reciente.
Fabricados con células de silicio puro de un solo tipo de cristal.	Fabricados con células de silicio puro de múltiples tipos de cristales.	Fabricados con células de silicio amorfo (no cristalizado).
Células de forma cuadrada con las esquinas recortadas y color azul homogéneo.	Células de forma cuadrada y color azul en distintos tonos.	Células de forma cuadrada no definidas a simple vista y color marrón o gris oscuro homogéneo.
Lentitud en el proceso de calentamiento.	Rapidez en el proceso de calentamiento.	Rapidez en el proceso de calentamiento.
Altos costes de fabricación.	Reducción de los costes de fabricación.	Bajos costes de fabricación.
Rendimiento elevado (15-20%).	Rendimiento medio (13-16%).	Rendimiento bajo (7-13%).
Buen funcionamiento en condiciones de poca radiación solar directa.	Limitado funcionamiento en condiciones de poca radiación solar directa.	Excelente funcionamiento en condiciones de poca radiación solar directa.
Deben montarse siempre sobre un soporte rígido.	Deben montarse siempre sobre un soporte rígido.	Pueden montarse sobre soportes flexibles.
Poca resistencia al aumento de temperatura, con elevada pérdida de eficiencia.	Buena resistencia al aumento de temperatura, con reducida pérdida de eficiencia.	Excelente resistencia al aumento de temperatura, con casi nula pérdida de eficiencia.
Buen comportamiento incluso en condiciones de baja radiación solar.	Necesitan un discreto índice de radiación para funcionar correctamente.	Necesitan muy poco índice de radiación para funcionar correctamente.
Larga vida útil.	Menos vida útil que los monocristalinos.	Vida útil más corta que las dos anteriores.
Se recomienda su instalación en zonas frías, con tendencias a tormentas, lluvia o niebla y bajos índices de radiación solar.	Se recomienda su instalación en zonas cálidas, con altos índices de radiación solar.	Se recomienda su instalación en zonas templadas, con abundante radiación difusa y donde el espacio no sea un problema.

Mención especial merece una nueva tecnología que está llamada a revolucionar el mundo de la energía solar fotovoltaica. Se trata de un tipo de panel solar de muy pequeño espesor, muy barato de producir y que, según dicen sus desarrolladores, presenta el mayor nivel de eficiencia de todos los materiales empleados hasta ahora.

Este nuevo tipo de panel está basado en el compuesto cobre indio galio diselenido (CIGS) y se prevé que, en un futuro no muy lejano y debido a su competitiva relación entre producción de energía/costo, pueda llegar a sustituir a los combustibles fósiles como fuente energética.



PARA SABER MÁS

Los nuevos métodos de producción también permiten fabricar células flexibles que ofrecen posibilidades que la rigidez de los paneles tradicionales no permite. Además de otras aplicaciones especiales, sirven para cargar aparatos eléctricos de poca potencia, como teléfonos móviles y pequeñas linternas leds o para suministrar tensión a lámparas de bajo consumo. Es cada vez más normal encontrarlas en ciertos tipos de ropa, mochilas, sombrillas, tiendas de campaña, embarcaciones, etc.

2.3.1. Paneles con sistemas de concentración mediante superficies reflectantes

Este tipo de tecnología se conoce con el nombre de *CPV* (*concentrator photo voltaics*), por sus siglas en inglés. Se trata de una tecnología que funciona de manera similar a la energía fotovoltaica tradicional, pero concentrando una gran cantidad de radiación solar en una pequeña área de celdas fotovoltaicas para generar electricidad.

Las células solares usadas en las CPV están fabricadas con materiales semiconductores compuestos, como el arseniuro de galio, que aprovechan la radiación solar con una eficiencia de un 40%, el doble que las convencionales de silicio de mayor rendimiento.

No obstante, debido a que los materiales que se utilizan son muy caros, se fabrican células muy pequeñas (entre 2 mm² y 2 cm² de superficie) y, para contrarrestar este reducido tamaño, se utilizan diversos medios, como espejos, lentes, prismas, etc..., que se encargan de concentrar los rayos solares sobre las células, multiplicando casi por 1000 su intensidad (figura 2.3).



Figura 2.3
Instalaciones solares CPV

Comoquiera que estos equipos solo aprovechan la radiación solar directa, deben contar con un sistema de seguimiento solar en dos ejes que, mediante unos soportes especiales y unas sondas, hacen que los paneles fotovoltaicos instalados reciban siempre los rayos del sol perpendicularmente.

Suelen utilizarse en zonas de muy poca nubosidad y con pocas brumas, normalmente en el interior, alejadas de las costas.

Esta tecnología empezó a utilizarse por los EE. UU. en los paneles solares de los satélites y las naves espaciales, donde se requieren placas que aprovechen el máximo de energía solar en la mínima superficie posible.

Actualmente, el gran desarrollo de las energías renovables está devolviendo el interés por las CPV y su aplicación a sistemas fotovoltaicos de todo tipo.

Las nuevas células de tercera generación ya alcanzan una eficiencia cercana al 50%, lo que contribuye a reducir el coste de estas instalaciones en gran medida. De seguir en esta línea, las CPV podrían llegar a ser competitivas en pocos años, desplazando a las instalaciones fotovoltaicas convencionales.



SABÍAS QUE...

Además de los EE. UU., Alemania y España son los países más avanzados del mundo en este ámbito. En España, se creó en el año 2006 el Instituto de Sistemas Fotovoltaicos de Concentración (ISFOC). Con sede en Puertollano (Ciudad Real), se trata de un centro de I+D pionero en el mundo, en el que se estudia el desarrollo de esta tecnología y su aplicación en todos los ámbitos.

2.4. Principales parámetros de los paneles solares fotovoltaicos y su interpretación

Cuando llega el momento de seleccionar los paneles solares para una instalación fotovoltaica, debe saberse qué características ofrecen los distintos fabricantes con el fin de elegir aquellos que mejor se adapten a nuestras necesidades.

Entre ellas, cabe destacar las siguientes:

1. *La corriente de cortocircuito (I_{sc} o I_{cc})*. Se expresa en amperios (A) y es el valor de la corriente que circula por el panel cuando se cortocircuitan sus terminales (siendo entonces la tensión nula, $V = 0$). Es la máxima que podría suministrar en un caso ideal y según el nivel de radiación incidente considerada.
2. *La tensión a circuito abierto (V_{oc} o V_{ca})*. Se expresa en voltios (V) y se obtiene al dejar los terminales del panel en circuito abierto (sin conectar ninguna carga y, por tanto, $I = 0$). Entre ellos, aparece entonces una tensión que será la máxima que puede ofrecer el panel en las condiciones de radiación incidente considerada.
3. *La potencia máxima ($P_{máx}$) o potencia pico*. Se expresa en vatios pico (Wp) y es el punto de trabajo en el que la potencia entregada por el panel solar a la carga externa es máxima.

La potencia P entregada por el panel en un momento determinado es $P = I \times V$. El punto de trabajo correspondiente a la $P_{\text{máx}}$ ($V_{\text{pmáx}}$, $I_{\text{pmáx}}$) determina los valores de la tensión y la corriente en el punto de máxima potencia (no confundir con tensión de circuito abierto y corriente de cortocircuito), siendo: $P_{\text{máx}} = I_{\text{pmáx}}$ (o I_{mp}) $\times V_{\text{pmáx}}$ (o V_{mp}).

4. *El factor de forma (FF)*. Es la relación entre la potencia máxima ($P_{\text{máx}} = V_{\text{mp}} \times I_{\text{mp}}$) y el producto de $I_{\text{sc}} \times V_{\text{oc}}$. Cuanto mayor es su valor, más calidad tiene la célula (y, por tanto, el panel).

Por lo general, un valor bajo de FF está asociado con la existencias de pérdidas de eficiencia en el dispositivo, mientras que un panel de buena calidad suele tener valores de FF superiores a 0,70.

5. *La eficiencia o rendimiento*. Se expresa habitualmente como un porcentaje (%) y es la relación entre la potencia eléctrica pico entregada por el panel y la potencia de la radiación que incide sobre él: $\eta = W_p/W_r$.

Estos son los principales parámetros que van a valorarse a la hora de seleccionar un panel solar y que están medidos bajo una serie de condiciones de trabajo aceptadas internacionalmente —conocidas como *condiciones estándar de medida* (CEM o STC, del inglés *standard test conditions*—, que se definen para 1000 W/m² de irradiancia, con una distribución espectral AM1.5G y 25 °C de temperatura y que se encuentran en las fichas técnicas proporcionadas por los distintos fabricantes.

Aunque en la práctica las condiciones de trabajo van a diferir de las utilizadas por los fabricantes para calcular los parámetros del panel, estos van a servir de guía para, como se ha indicado anteriormente, seleccionar el más adecuado a la instalación de la que se trate. Como resumen, en el cuadro 2.2 se muestran los principales parámetros de un panel solar fotovoltaico de 250 Wp.

CUADRO 2.2
Principales características de un panel solar fotovoltaico

Datos eléctricos (STC ⁴)	Notación	Valor	Unidad de medida
Potencia nominal	P_{max}	250	Wp
Tensión en circuito abierto	V_{oc}	37,6	V
Corriente de cortocircuito	I_{sc}	8,68	A
Tensión en el punto de máxima potencia	V_{mpp}	30,9	V
Corriente en el punto de máxima potencia	I_{mpp}	8,10	A
Coeficiente de rendimiento del módulo	η	15,2	%
Tensión de sistema de máxima admisible		1	kVcc
Corriente inversa máxima		15	A
Rango de temperatura		−40, +90	°C
Coeficiente de temperatura	P_{max}	−0,440	%/°C
Coeficiente de temperatura	V_{oc}	−0,329	%/°C
Coeficiente de temperatura	I_{sc}	+0,038	%/°C

2.4.1. Curvas características

La curva de trabajo más característica de un panel fotovoltaico es la curva $I-V$ (intensidad-tensión), como la representada en la figura 2.4.

Dicha curva está determinada por todos los valores de corriente y voltaje para un determinado panel fotovoltaico bajo unas condiciones ambientales fijadas de temperatura y radiación solar ($25\text{ }^{\circ}\text{C}$ y 1000 W/m^2), como vimos con anterioridad.

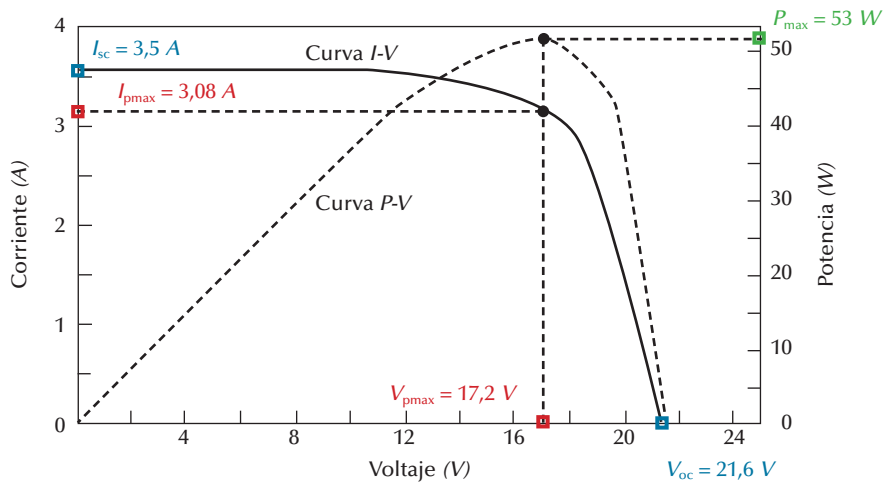


Figura 2.4
Curvas características de un panel solar

En la figura 2.4, también se ha dibujado la curva $P-V$ (potencia-tensión), ya que ofrece información sobre el comportamiento del panel en función de la potencia entregada en cada momento a la carga.

En la curva $P-V$ (potencia-tensión), se observa que, al punto de trabajo en el que la potencia entregada por el panel es máxima ($P_{m\acute{a}x} = 53\text{ W}$), le corresponde el punto de tensión máxima ($V_{p\acute{m}ax} = 17,2\text{ V}$) que, a su vez, determina el de intensidad máxima ($I_{p\acute{m}ax} = 3,08\text{ A}$) al cortar sobre la curva $I-V$. Cuanto más cerca se esté de dicho punto, más rendimiento se obtendrá del panel.

De la misma manera, se observa que la corriente de cortocircuito (I_{sc}) tiene un valor de $3,5\text{ A}$, que correspondería, como ya se sabe, a la intensidad máxima que es capaz de circular por una carga de resistencia nula (cuando $V = 0$), y que la tensión a circuito abierto (V_{oc}) tiene un valor de $21,6\text{ V}$, que sería la máxima que puede obtenerse entre los terminales del panel cuando no hay ninguna carga conectada a ellos ($I = 0$). Así pues, disponiendo de estas curvas, puede saberse qué valores pueden obtenerse del panel según el punto de trabajo determinado por la carga conectada a sus terminales.

En realidad, la curva característica no es única, ya que varía en función de la temperatura y del nivel de radiación incidente. Por ese motivo, los fabricantes suelen ofrecer en la documentación de sus paneles las diferentes curvas obtenidas para distintos valores de radiación (familia de curvas), por lo que deberá elegirse aquella que más se acerque a los valores de nuestra instalación. Se muestra un ejemplo en la figura 2.5.

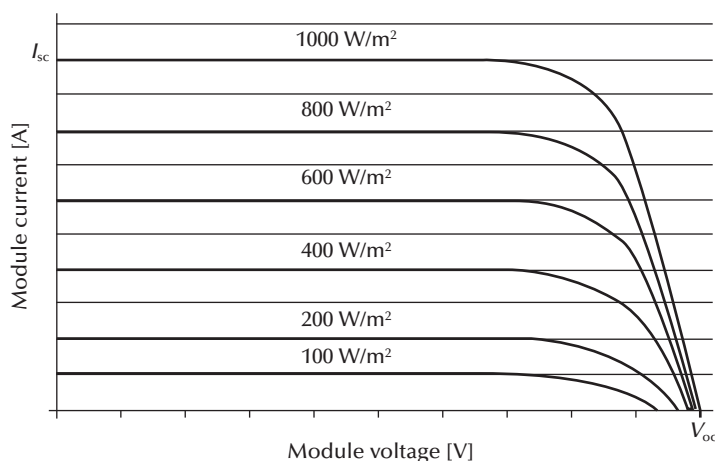


Figura 2.5

Curvas características I-V en función del nivel de radiación



Actividad propuesta 2.2

Consulta la tabla de características del panel solar fotovoltaico Sanyo VBHN235SA06 e indica el valor de los siguientes parámetros: I_{sc} , V_{oc} , V_{pm} , I_{pm} y eficiencia. Comprueba que $P_{m\acute{a}x} = V_{pm} \times I_{pm}$. Sobre la familia de curvas características averigua qué potencia máxima podría obtenerse del panel con un valor de irradiancia de 800 W/m^2 .

2.5. Sistemas de agrupamiento de paneles

Los paneles fotovoltaicos, como generadores que son de corriente continua, disponen de dos bornes en la caja de conexiones situada en la partera trasera, que se corresponden con los polos positivo (+) y negativo (–), respectivamente. Estos bornes se utilizan para el conexionado y cableado del panel, ya sea a otros paneles o al resto de la instalación.

Con frecuencia, y para responder a las necesidades del consumo previsto en una instalación, es necesario agrupar cierto número de paneles que permitan obtener los valores de tensión e intensidad requeridos.

El conjunto de paneles conexionados entre sí para conseguir este objetivo y que la instalación funcione correctamente se denomina generador fotovoltaico. Las conexiones que pueden realizarse entre los paneles de una instalación solar fotovoltaica son de tres tipos: conexionado en serie, conexionado en paralelo y conexionado mixto.

2.5.1. Conexionado en serie

Determinado número de paneles solares están conectados en serie cuando la conexión se realiza como se muestra en la figura 2.6, es decir, el terminal + de uno con el terminal – del siguiente, quedando libres el terminal – del de un extremo y el + del otro, como si de un solo panel se tratase.

En estas condiciones, la tensión total del agrupamiento será la suma de las tensiones de cada panel y la corriente total igual a la que puede generar cualquiera de ellos (en el caso de paneles idénticos).

Ejemplo 2.1

Si se conectan en serie 2 paneles como los de la figura 2.6 de potencia pico $P_{\text{máx}} = 140 \text{ Wp}$, intensidad máxima $I_{\text{mp}} = 7,66 \text{ A}$ y tensión $V = 12 \text{ V}$ ($V_{\text{mp}} = 18,08 \text{ V}$), se obtendrá un conjunto de $P_{\text{máx}} = 280 \text{ Wp}$, $I_{\text{mp}} = 7,66 \text{ A}$ y $V = 24 \text{ V}$.

Normalmente, la conexión en serie se emplea en paneles solares con potencias entre 180 y 260 W y para uso en instalaciones solares a 24 o 48 V.

Por lo tanto, en una conexión en serie de paneles idénticos, las tensiones se suman y la intensidad tiene el mismo valor que la de cualquiera de ellos. Si los paneles son diferentes, la intensidad del conjunto será la menor de las disponibles.

Paneles solares

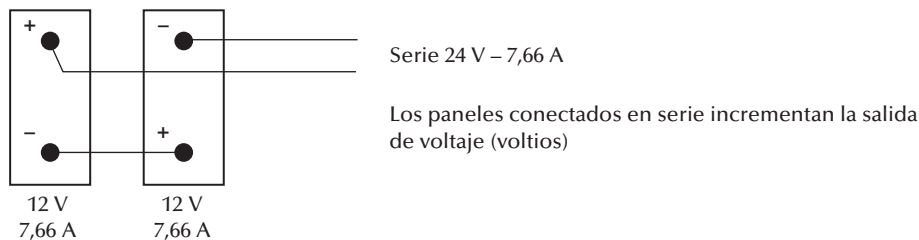


Figura 2.6
Conexión de paneles en serie

2.5.2. Conexión en paralelo

Cuando los paneles se conectan uniendo los terminales + de todos ellos, por un lado, y los terminales - por otro, se dice que están conectados en paralelo. Se muestra un ejemplo de este tipo de conexión en la figura 2.7.

En este caso, la tensión total del agrupamiento será idéntica a la tensión de cada panel y la corriente total la suma de las corrientes generadas por cada uno de ellos.

Es muy importante reseñar que, en este tipo de conexión, la tensión de todos los paneles debe ser la misma, ya que, de no ser así, el de menor tensión actuaría como carga, absorbiendo parte de la intensidad del resto y causando muchos problemas de funcionamiento.

Ejemplo 2.2

Si se dispone en paralelo 4 paneles con una potencia pico $P_{\text{máx}} = 190 \text{ Wp}$, intensidad máxima $I_{\text{mp}} = 5 \text{ A}$ y tensión $V = 24 \text{ V}$ ($V_{\text{mp}} = 37,08 \text{ V}$), se obtendrá un conjunto de $P_{\text{máx}} = 760 \text{ Wp}$, $I_{\text{mp}} = 20 \text{ A}$ y $V = 24 \text{ V}$.

La conexión en paralelo se utiliza a menudo con paneles solares de potencia por debajo de 200 Wp y de 12 V (36 células) o 24 V (72 células).

Por lo tanto, en una conexión en paralelo, las intensidades se suman y la tensión resultante es igual a la de cualquiera de ellos.

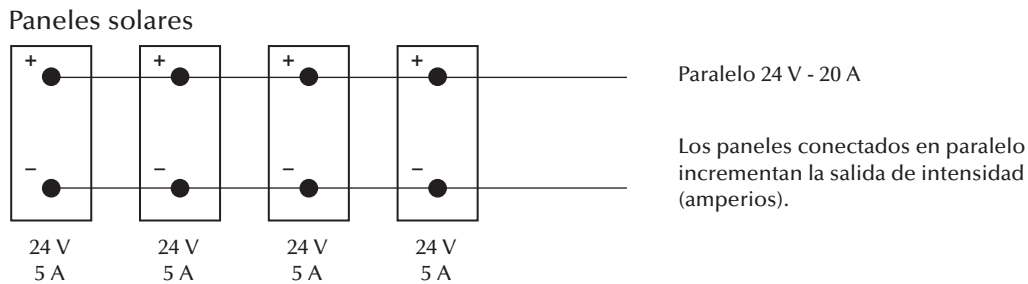


Figura 2.7
Conexión de paneles en paralelo

2.5.3. Conexión mixta (serie-paralelo)

En este último caso, se trata de una configuración donde pueden encontrarse ramas con paneles conectados en serie y, a su vez, estas ramas conectadas en paralelo entre sí. Se usa el conexionado mixto cuando necesitan conseguirse unas corrientes y tensiones de salida muy determinadas y, entonces, se *juga* con las opciones que dan los conexionados serie y paralelo.

Para determinar las tensiones e intensidades del conjunto, deben aplicarse los principios indicados en los apartados anteriores en función del tipo de conexión del que se trate. Puede observarse un ejemplo en la figura 2.8.



La conexión mixta serie-paralelo suele utilizarse habitualmente en instalaciones donde se conecten 5 o más paneles solares de 60 células y potencia superior a 200 Wp , ya que permite obtener un voltaje no demasiado elevado y, a su vez, multiplicar el amperaje total disponible de la instalación. De esta forma, gracias a esta configuración, pueden obtenerse incrementos tanto de tensión como de intensidad.

Por lo tanto, en una conexión mixta, la potencia, tensión e intensidad resultantes dependerán de la configuración adoptada.

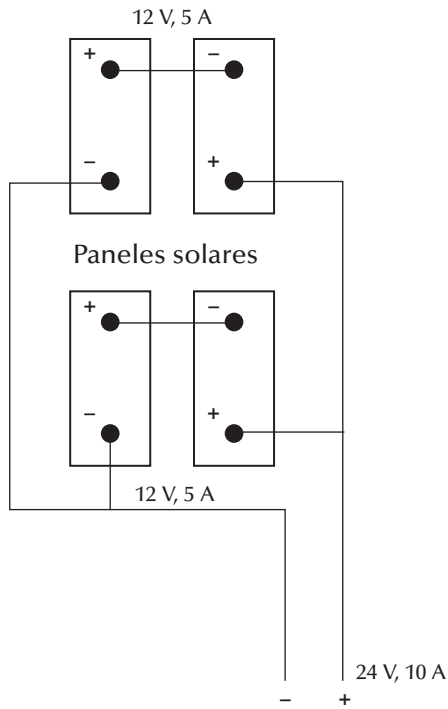


Figura 2.8
Conexión de paneles mixto

© FUNDAMENTAL

En una conexión en serie de paneles solares fotovoltaicos, las tensiones se suman y la intensidad es la menor de las que pueda generar cualquiera de ellos, mientras que, en una agrupación en paralelo, son las intensidades las que se suman y la tensión del conjunto es igual a la de los paneles conectados. En una conexión mixta, ambos valores dependerán de la configuración adoptada.

2.6. Orientación e inclinación de paneles

El mayor índice de radiación, y, por tanto, el mayor rendimiento de un panel solar fotovoltaico se alcanza cuando los rayos solares inciden perpendiculares a su superficie. Comoquiera que la trayectoria aparente que describe el Sol es elíptica, el ángulo de incidencia varía con las horas y con la estación del año. Por tanto, lo ideal sería que la posición del panel fuese en cada momento aquella que lograra la perpendicularidad con los rayos solares (figura 2.9).

La mayoría de las instalaciones no disponen de sistemas de seguimiento para lograr este objetivo, por lo que habrá que buscar la orientación y la inclinación más apropiadas en función de las necesidades de la instalación y de la época del año en la que vaya a tenerse mayor consumo eléctrico.

En principio, la orientación va a depender del hemisferio en que se encuentre ubicada la instalación: