

Anexo II: La Energía Solar Fotovoltaica



Índice

1. Desarrollo de la energía solar fotovoltaica	3
<i>1.1. Desarrollo en España</i>	<i>4</i>
2. Datos sobre instalaciones solares fotovoltaicas en España	5
<i>2.1. Vida útil</i>	<i>5</i>
<i>2.2. Rendimiento global</i>	<i>5</i>
3. Tecnología y aplicaciones de la energía solar fotovoltaica	7
<i>3.1. Características y conceptos básicos</i>	<i>7</i>
<i>3.2. Tipos de instalación</i>	<i>11</i>
3.2.1. Sistemas aislados de la red eléctrica	11
3.2.2. Sistemas conectados a la red eléctrica	14
3.2.3. Sistemas híbridos	18
<i>3.3. Otras aplicaciones</i>	<i>19</i>
4. Nuevas tecnologías	20
<i>4.1. Dispositivos basados en una película fina</i>	<i>20</i>
<i>4.2. Dispositivos fotovoltaicas híbridos</i>	<i>21</i>

1. Desarrollo de la energía solar fotovoltaica

El desarrollo global de esta tecnología ha alcanzado unos ritmos de crecimiento del orden del 40%, que coincide con el ritmo de crecimiento en España.

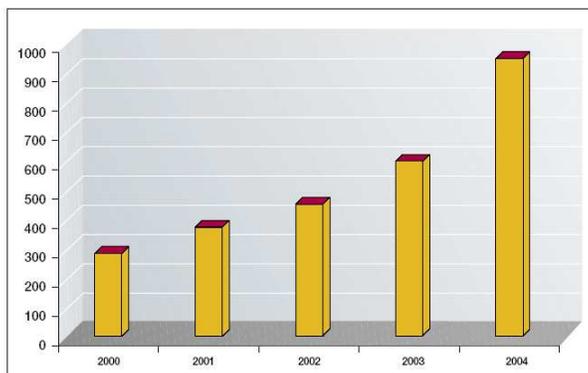


Figura 1: Energía solar instalada mundialmente (MW por año)

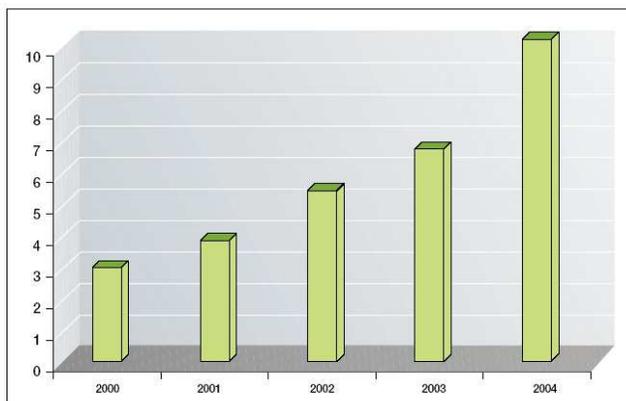


Figura 2: Energía solar instalada en España (MW por año)

La producción de paneles solares fotovoltaicos sigue estando dominada por las células de silicio cristalino, de hecho la producción española es toda ella de silicio cristalino. Los generadores fotovoltaicos fabricados durante el 2004 supusieron un incremento respecto al año anterior (en el 2003 se produjeron 750 MW) del 60 %. Esta es una de las razones por las que se está observando una escasez de módulos respecto a la demanda. La razón última de estas tensiones demanda-oferta hay que buscarla en la insuficiente capacidad coyuntural de purificación del silicio. El silicio es el elemento, tras el oxígeno, más abundante y distribuido por nuestro planeta, pero no se encuentra aislado, ni puro, sino combinado con oxígeno, por ejemplo en la cuarcita, con un 90% de óxido de silicio (SiO_2), y de la que se debe extraer el oxígeno y las impurezas para obtener, en una primera etapa, el silicio de grado metalúrgico con pureza del orden del 99 %.



Del silicio de grado metalúrgico obtenido por la industria, se debe obtener un silicio con menos impurezas, no más de unas pocas partes por millón, para que pueda servir para las industrias electrónica y solar. La forma de hacerlo es mediante una transformación del silicio metalúrgico sólido en gas silano o triclorosilano del cual se extrae el silicio sólido con la pureza adecuada. La escasez de silicio de grado solar es coyuntural porque no hay limitaciones de silicio, ni silicio metalúrgico, las necesidades actuales de silicio solar son menos del 2% de la producción del silicio metalúrgico, ni de capital dispuesto a invertir en una industria como es la de su purificación que tiene un gran futuro y es rentable.

1.1. Desarrollo en España

Se ha producido un cambio importante en el desarrollo fotovoltaico en España con la aprobación del RD 436/2004 cuya repercusión se ha notado en muchos aspectos. En el aspecto económico, se puede decir que, antes de este decreto, los titulares de una instalación fotovoltaica en España no tenían una seguridad jurídica de que recibirían una prima por el KWh fotovoltaico inyectado en red durante los años necesarios para alcanzar el retorno de la inversión.

El mercado necesitaba subvenciones importantes que disminuyeran esa inquietud, subvenciones que limitaban el mercado a los pocos MW al año para los que había ayuda. El RD 436/2004 ha dado a la mayoría de los inversores la seguridad de que va a tener una rentabilidad razonable, lo que en el año 2005 ha propiciado, junto con un interés generalizado por esta tecnología, por su adecuación medioambiental, sencillez y fiabilidad, un aumento del número de proyectos y del tamaño medio de instalaciones, con una media superior a los 3KW de hace sólo dos o tres años. Las instalaciones realizadas en el año 2004 se estiman en algo más de 10 MW.

En el futuro ese volumen se superará con creces si se tiene en cuenta el alto número de proyectos que se están iniciando y los numerosos puntos de conexión a la red de distribución que se están pidiendo. Este nuevo contexto de mayor dinamismo y mayor volumen ha logrado que los precios bajen y que su bajada haya compensado la subida del precio de alguno de los componentes del sistema, como es el caso de los módulos fotovoltaicos antes mencionado.

La bajada anual de precios en el último año en España se estima que ha sido del orden de un 5% que es lo que se viene consiguiendo tradicionalmente, con lo que la industria



española, en su conjunto, fabricantes, distribuidores, instaladores, etc., ha podido mantener el compromiso tácito de bajar anualmente los precios en justa correspondencia a la ayuda que recibe de la sociedad. Esta bajada de precios con respecto a años anteriores, junto con la seguridad que da al inversor el RD 436/2004, permite no necesitar subvenciones para la mayoría de las instalaciones conectadas, lo que supone evitar, el proceso de pedir las que es muy costoso por sus tramitaciones siempre lentas y complejas, la incertidumbre en la adjudicación, el condicionamiento del calendario de montajes, etc.

El no necesitar subvenciones para las instalaciones fotovoltaicas conectadas estándar en España que ha posibilitado el RD 436/2004, es una de las principales causas de la reducción media de precios observada.

2. Datos sobre instalaciones solares fotovoltaicas en España

2.1. Vida útil

La vida útil de una planta fotovoltaica es la de sus componentes. Si la planta está diseñada correctamente y se realiza el mantenimiento recomendado, se pueden esperar en España los siguientes valores:

- Los módulos tienen una vida de más de 40 años.
- La electrónica tiene una vida útil de más de 30 años.
- Las baterías, más de 10 años para las de ácido-plomo y más de 20 años para las baterías alcalinas-níquel-cadmio.
- Los elementos auxiliares que componen la instalación cableado, canalizaciones, cajas de conexión, etc. pueden durar más de 40 años.

2.2. Rendimiento global

Los módulos fabricados en España, dependiendo de la tecnología y de la potencia de las células fotovoltaicas que lo componen, tienen un rendimiento entre los valores del 11,5% y el 13,5%, es decir, que 1m^2 de módulo, según el modelo y clase, tendrá una potencia nominal entre 135Wp y 115Wp. El rendimiento de la instalación viene también determinado por una serie de factores entre los que destacan:

- La tolerancia en los valores de potencia nominal del módulo fotovoltaico (entre un +0% y un -10%)

- La pérdida de potencia al trabajar el módulo en condiciones de operación distintas a las que tenía cuando se midió su potencia nominal. El módulo, por ejemplo, adquiere, en operación, temperaturas superiores a los 25°C con los que se midió en fábrica (pérdidas entre un 5 y un 10%).
- Las pérdidas del inversor están comprendidas entre un 5 y un 11%.
- Otras pérdidas, generalmente caídas de tensión (se suele tomar un 3% aprox.)

Por tanto, sobre la potencia nominal del módulo se debe aplicar los siguientes valores medios de rendimiento global, en una primera aproximación:

Instalación	Rendimiento
Pequeña (entre 1 y 5KW)	75%
Mediana (entre 5 y 100KW)	77,5%
Grande (entre 100KW y 1MW)	80%
Centrales fotovoltaicas (entre 1 y 50MW)	82,5%

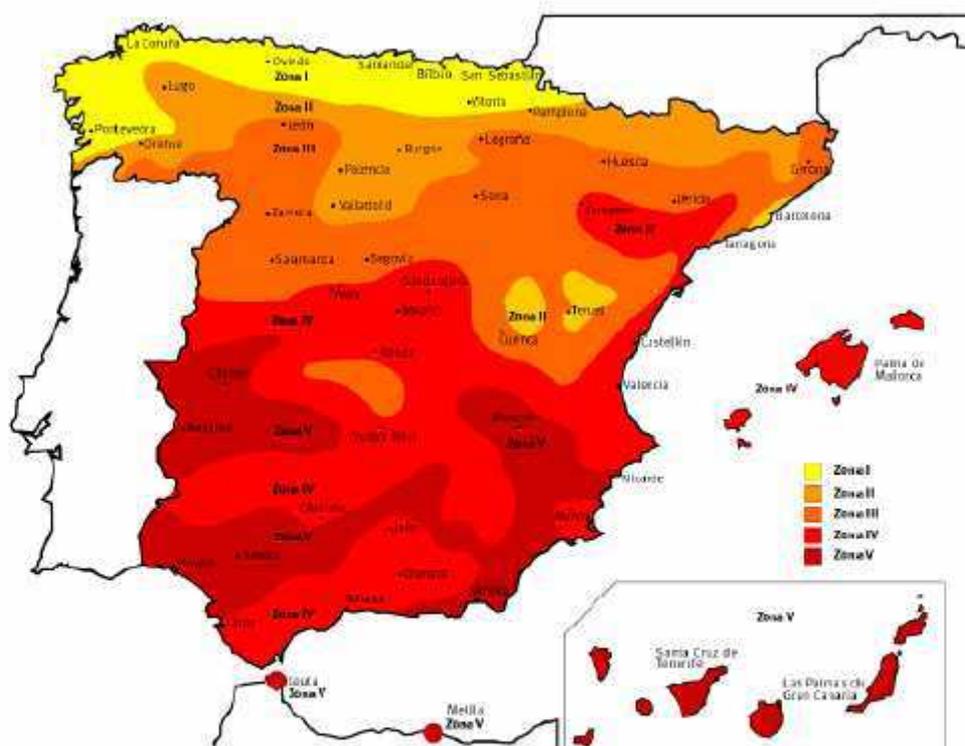
Figura 3: Rendimiento global en instalaciones (módulos no incluidos)

3. Tecnología y aplicaciones de la energía solar fotovoltaica

3.1. Características y conceptos básicos

Los sistemas fotovoltaicos, basándose en las propiedades de los materiales semiconductores, transforman energía que irradia el Sol en energía eléctrica, sin mediación de reacciones químicas, ciclos termodinámicos, o procesos mecánicos que requieran partes móviles.

Las condiciones de funcionamiento de un módulo fotovoltaico dependen de variables externas tales como la radiación solar y la temperatura de funcionamiento. Para poder efectuar el diseño de una instalación solar fotovoltaica se necesita saber la radiación del lugar. Para ello se ha de disponer de las tablas de radiación solar actualizadas de la provincia a estudiar (los institutos de energía elaboran anualmente un atlas de radiación).



FUENTE: INM. Generado a partir de isoclinas de radiación solar global anual sobre superficie horizontal.

ZONA CLIMÁTICA	I	II	III	IV	V
IRRADIACIÓN MEDIA DIARIA (kWh/m ²)	< 3,8	3,8 - 4,2	4,2 - 4,6	4,6 - 5,0	> 5,0

Figura 4: Irradiación media diaria en España según zonas climáticas

La cantidad de energía recibida del Sol (radiación solar) y la demanda diaria de energía serán los factores que marcarán el diseño de los sistemas fotovoltaicos. Como norma general esta energía vendrá dada en KJ/m². La elección de los datos de radiación solar dependerá directamente de la situación de la instalación, así como de las condiciones meteorológicas predominantes y particulares de cada lugar. Para cada provincia se utilizará una tabla de radiación solar mensual interceptada por una superficie inclinada.

El proceso de transformación de energía solar en energía eléctrica se produce un elemento semiconductor que se denomina célula fotovoltaica. Cuando la luz del Sol incide sobre una célula fotovoltaica, los fotones de la luz solar transmiten su energía a los electrones del semiconductor para que así puedan circular dentro del sólido. La tecnología fotovoltaica consigue que parte de estos electrones salgan al exterior del material semiconductor generándose así una corriente eléctrica capaz de circular por un circuito externo.



Figura 5: Representación del efecto fotovoltaico

La conexión de células fotovoltaicas y su posterior encapsulado y enmarcado da como resultado la obtención de los conocidos paneles o módulos fotovoltaicos de utilización doméstica e industrial como elementos generadores eléctricos de corriente continua.



Las instalaciones fotovoltaicas se caracterizan por:

- Su simplicidad y fácil instalación
- Ser modulares
- Tener una larga duración (superior a 30 años)
- No requerir apenas mantenimiento
- Tener una elevada fiabilidad
- No producir ningún tipo de contaminación ambiental
- Tener un funcionamiento silencioso

Pero para conseguir su plena incorporación a los hábitos de la sociedad, como una solución complementaria a los sistemas tradicionales de suministro eléctrico, es necesario superar ciertas barreras:

ECONÓMICAS: Insistiendo en la reducción de sus costes de fabricación y precio final de la instalación, que podrá derivarse de las innovaciones que se introduzcan y, en gran medida de las economías de escala que se generen como consecuencia del aumento de la demanda y de los volúmenes de producción.

ESTÉTICAS: Integrando los elementos fotovoltaicos en los edificios y en los entornos rural y urbano.

FINANCIERAS: Consiguiendo condiciones de financiación aceptables para abordar la inversión necesaria.

ADMINISTRATIVAS: Obteniendo el máximo apoyo de las Administraciones Publicas, y clarificándose y agilizándose las tramitaciones necesarias.

Las condiciones de funcionamiento de un módulo fotovoltaico dependen de algunas variables externas como la radiación solar y la temperatura de funcionamiento, por ello para medir y comparar correctamente los diferentes módulos fotovoltaicos, se han definido una condiciones de trabajo nominales o estándar. Estas condiciones se han normalizado para una temperatura de funcionamiento de 25°C y una radiación solar de 1000W/m² y los valores eléctricos con estas condiciones se definen como valores pico.



Teniendo en cuenta que la unidad de potencia eléctrica es el vatio (W) y sus múltiplos el Kilovatio (KW=1000W) y el megavatio (1MW=1.000.000W), la potencia de un módulo fotovoltaico se expresa en vatios pico (Wp), refiriéndose a la potencia suministrada a una temperatura de 25°C y una radiación solar (irradiancia) de 1000W/m².

Por otro lado, la energía producida por los sistemas fotovoltaicos es el resultado de multiplicar su potencia nominal por el número de horas pico, dado que no todas las horas de Sol son de intensidad considerada como pico, es decir 1000W/m² y se mide de igual forma que en el resto de sistemas energéticos, en vatios hora (Wh) y sus múltiplos en Kilovatios hora (1KWh=1.000 Wh) y megavatios (1MWh=1.000.000 Wh). El número de horas pico de un día concreto se obtendrá dividiendo toda la energía de ese día (en Wh/m²) entre 1000W/m² para tener una idea, la suma total de la energía que produce el sol durante un día sólo equivale en España a una 5 horas solares pico durante el verano y entre 2 y 4 durante el invierno, según la zona.



3.2. Tipos de instalación

Hay dos formas de utilizar la energía eléctrica generada a partir del efecto fotovoltaico:

- En instalaciones aisladas de la red eléctrica
- En instalaciones conectadas a la red eléctrica convencional

Mientras que en las primeras la energía generada se almacena en baterías para así disponer de su uso cuando sea preciso, en las segundas toda la energía generada se envía a la red eléctrica convencional para su distribución donde sea demandada.

3.2.1. Sistemas aislados de la red eléctrica

Estos sistemas se emplean sobre todo en aquellos lugares en los que no se tiene acceso a la red eléctrica y resulta más económico instalar un sistema fotovoltaico que tender una línea entre la red y el punto de consumo. Como los paneles sólo producen energía en las horas de Sol y la energía se necesita durante las 24 horas del día, es necesario un sistema de acumulación. Durante las horas de luz solar hay que producir más energía de la que se consume, para acumularla y posteriormente poder utilizarla cuando no se esté generando. La cantidad de energía que se necesita acumular se calcula en función de las condiciones climáticas de la zona y el consumo de electricidad. De tal manera que en una zona donde haya muchos días soleados al año habrá que acumular poca energía. Si el periodo sin luz no es suficientemente largo, hay que acumular más energía. El número de paneles a instalar debe calcularse teniendo en cuenta:

- La demanda energética en los meses más desfavorables.
- Las condiciones técnicas óptimas de orientación e inclinación, dependiendo del lugar de la instalación.

Para optimizar el sistema es necesario calcular correctamente la demanda con el fin de no sobredimensionar la instalación. Conviene utilizar electrodomésticos e iluminación de bajo consumo, para que de esta manera el sistema sea más económico. Actualmente existe una gran variedad de productos de bajo consumo.

ELEMENTOS

Básicamente estos sistemas fotovoltaicos constan de los siguientes elementos:

Generador fotovoltaico: Transforma la energía del Sol en energía eléctrica y carga las baterías.

Regulador de carga: Controla la carga de la batería evitando que se produzcan sobrecargas o descargas excesivas, que disminuyen la vida útil del acumulador. Puede incorporar un sistema de seguimiento del punto de máxima potencia, que es un dispositivo que aumenta el rendimiento de la instalación.

Sistemas de acumulación. Baterías: Acumulan la energía entregada por los paneles. Cuando hay consumo, la electricidad la proporciona directamente la batería y no los paneles.

Inversor-Ondulador: La corriente que entrega la batería es corriente continua y la mayoría de los electrodomésticos que se comercializan, funcionan con corriente alterna. Por este motivo se utilizan onduladores que convierten la corriente continua en alterna.

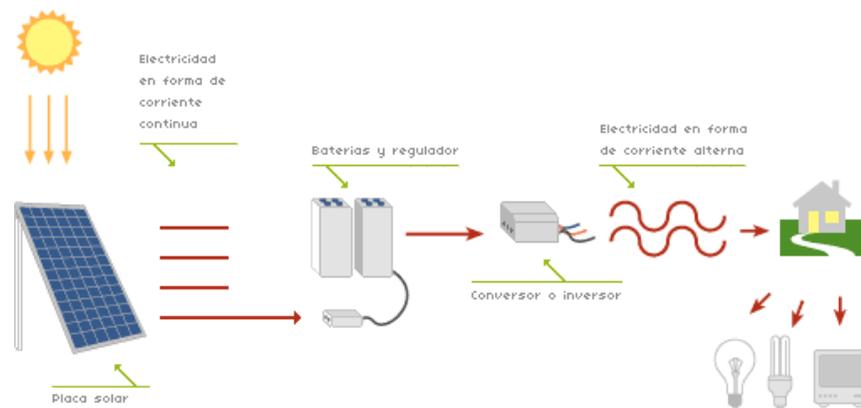


Figura 6: Esquema básico de un sistema solar fotovoltaico aislado

MANTENIMIENTO

El generador fotovoltaico se estima que tiene una vida útil superior a 30 años, siendo la parte más fiable de la instalación. La experiencia indica que los paneles nunca dejan de producir electricidad, aunque su rendimiento pueda disminuir ligeramente con el tiempo. Por otro lado las baterías con un correcto mantenimiento tienen una vida aproximada de diez años.



Las operaciones de mantenimiento son:

- Los paneles que forman el generador apenas requieren mantenimiento, basta limpiarlos con algún producto no abrasivo cuando se detecte suciedad.
- El regulador de carga no requiere mantenimiento, pero sí necesita ser revisado para comprobar su buen funcionamiento.
- En las baterías se debe controlar que el nivel de agua del electrolito esté dentro de unos límites aceptables. Para reponerlo se utiliza agua desmineralizada o destilada. Además se debe revisar mensualmente en cada uno de los elementos y mantener los bornes de conexión libres de sulfato. La medida de la densidad del electrolito puede avisar de posibles averías. Actualmente existen baterías sin mantenimiento o de electrolito gelificado que no necesitan reposición de agua.
- El ondulator no necesita mantenimiento especial, únicamente debe ser revisado para comprobar su buen funcionamiento.

APLICACIONES

Las principales aplicaciones de los sistemas aislados de la red eléctrica son:

Aplicaciones Espaciales: Desde los orígenes de la aventura espacial los satélites y naves espaciales han utilizado paneles solares, fotovoltaicos para alimentar sus equipos electrónicos.

Sector de gran consumo: Calculadoras, relojes, etc.

Telecomunicaciones: Existen multitud de equipos de telecomunicaciones situados en zonas de difícil acceso, alejados de la red eléctrica, alimentados por energía solar fotovoltaica. En estos casos, normalmente, la solución solar es la más económica y fiable.

Son ejemplos característicos: Repetidores de televisión, equipos de radio, antenas de telefonía móvil, etc.

Señalización: La señalización marítima terrestre es una de las grandes aplicaciones de los sistemas fotovoltaicos. Así son numerosos los ejemplos en balizamiento de aeropuertos, señalización de carretas y puertos, etc.



Bombeo: Al estar los pozos alejados de la red eléctrica, el bombeo con energía fotovoltaica es una solución muy adecuada. Estas instalaciones se adaptan muy bien a las necesidades ya que en los meses más soleados, que es normalmente cuando más agua se necesita, es cuando más energía se produce.

Zonas protegidas: En parajes naturales donde, por motivos de protección ambiental, se recomienda no instalar tendidos eléctricos aéreos, en ocasiones, resulta más rentable utilizar sistemas fotovoltaicos en lugar de tendidos subterráneos o grupos electrógenos que utilizan combustibles fósiles.

Electrificación de viviendas aisladas: La distancia del punto de consumo a la red eléctrica puede hacer, en muchos casos, más rentable esta aplicación debido no solo al coste del instalar el tendido eléctrico sino también a la calidad del suministro eléctrico al evitarse cortes de electricidad, muy frecuentes en lugares aislados.

Alumbrado de calles y carreteras: La posibilidad de utilizar sistemas de iluminación autónomos de fácil instalación y mínima obra civil hace que sea una solución adecuada en muchas ocasiones.

Sistemas centralizados para poblaciones rurales aisladas: Cuando hay que electrificar una pequeña población rural aislada, la solución más idónea es instalar un sistema centralizado que gestione y distribuya la energía de los habitantes de la pequeña población.

3.2.2. Sistemas conectados a la red eléctrica

En los núcleos de población que disponen del fluido eléctrico, la conexión a la red de los sistemas fotovoltaicos es una solución idónea para contribuir a la reducción de emisiones de dióxido de carbono (CO₂) a la atmósfera. Esta aplicación se ajusta muy bien a la curva de demanda de la electricidad. El momento en que más energía generan los paneles, cuando hay luz solar, es cuando más electricidad se demanda.

En España, la electricidad generada con sistemas fotovoltaicos goza de una prima que mejora su rentabilidad económica. Al instalar un sistema fotovoltaico conectado a la red, se dispone de una minicentral eléctrica que inyecta kWh verdes a la red para que se consuman allí donde sean demandados.



Para que estas instalaciones sean técnicamente variables es necesario.

- La existencia de una línea de distribución eléctrica cercana con capacidad para admitir la energía producida por la instalación fotovoltaica.
- La determinación, con la compañía distribuidora, del punto de conexión.
- Proyectar un sistema que incluya equipos de generación y transformación de primera calidad, con las protecciones establecidas y debidamente verificados y garantizados por los fabricantes, de acuerdo a la legislación vigente.
- Una instalación realizada por un instalador cualificado.

En las instalaciones conectadas a red, el tamaño de la instalación no depende del consumo de electricidad de la vivienda o edificio, simplificando enormemente su diseño. Para dimensionar la instalación es necesario conocer la inversión inicial, el espacio disponible y la rentabilidad que se quiere obtener.

Es importante recordar que el consumo de electricidad es independiente de la energía generada por los paneles fotovoltaicos. El usuario sigue comprando la electricidad que consume a la distribuidora al precio establecido y además es propietario de una instalación generadora de electricidad que puede facturar los KWh producidos a un precio superior.

ELEMENTOS

Los elementos que componen la instalación son:

Generador fotovoltaico: Transforma la energía del Sol en energía eléctrica, que se envía a la red.

Cuadro de protecciones: Contiene alarmas, desconectores, protecciones, etc.

Inversor-Ondulador: Transforma la corriente continua producida por los paneles en corriente alterna de las mismas características que la de la red eléctrica.

Contadores: Un contador principal mide la energía producida (kWh) y enviada a la red para que pueda ser facturada a la compañía a los precios autorizados. Un contador secundario mide los pequeños consumos de los equipos fotovoltaicos (kWh) para descontarlos de la energía producida.

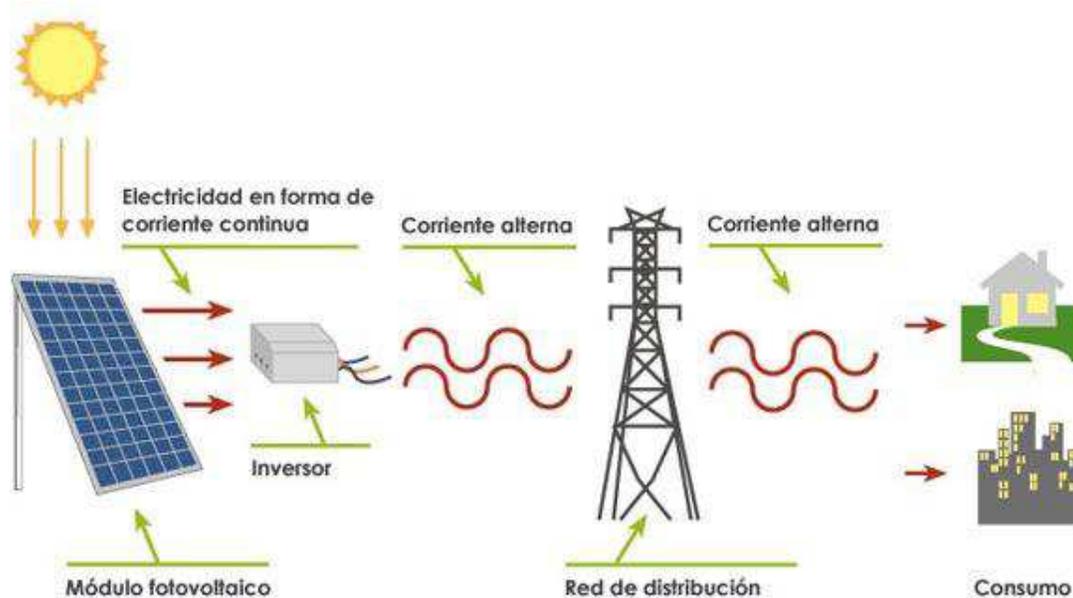


Figura 7: Esquema de la estructura de un sistema solar fotovoltaico conectado a la red

MATENIMIENTO

El mantenimiento se reduce a la limpieza de los paneles, cuando se detecte suciedad, y a la comprobación visual del funcionamiento del inversor. La vida media de la instalación se estima superior a treinta años.

APLICACIONES

Las principales aplicaciones de los sistemas conectados a la red eléctrica son:

Tejados de viviendas: Son sistemas modulares de fácil instalación donde se aprovecha la superficie de tejado existente para sobreponer los módulos fotovoltaicos. Una instalación de unos 3kWp que ocupa cerca de 30 m² de tejado, inyectaría a la red tanta energía como la consumida por la vivienda a lo largo del año. Para ofrecer una solución más económica se están utilizando sistemas prefabricados que reducen notablemente el tiempo de realización de la instalación.

Una vez terminada la instalación, el sistema fotovoltaico es un elemento más de la vivienda, aportando una fuente adicional de producción de electricidad y un gran valor ecológico añadido. Por sus características y la actual reglamentación en España, se prevé que sea la aplicación más extendida en los próximos años.



Plantas de producción: Existen algunos ejemplos de plantas de producción, aunque la mayoría han sido proyectos de demostración. Las plantas de producción de electricidad son aplicaciones de carácter industrial que pueden instalarse en zonas rurales no aprovechadas para otros usos o sobrepuestas en grandes cubiertas de áreas urbanas (aparcamientos, zonas comerciales, áreas deportivas, etc.). Para aumentar la capacidad de producción de una planta fotovoltaica de producción eléctrica hasta en un 25% se suelen utilizar sistemas de seguimiento del Sol.

Integración en edificios: En esta aplicación es prioritario el nivel de integración del elemento fotovoltaico en la estructura del edificio. Por integración fotovoltaica se debe entender la sustitución de elementos arquitectónicos convencionales por nuevos elementos arquitectónicos que incluyen el elemento fotovoltaico, y que por lo tanto son generadores de energía. Tanto para aplicaciones aisladas de la red eléctrica, como para las conectadas a ella es necesario cuidar la incorporación de los sistemas fotovoltaicos al entorno, rural o urbano. Pero es en las aplicaciones urbanas conectadas a red, en las que se unen exigencias urbanísticas a las motivaciones medioambientales, donde la integración tiene más relevancia. La demanda de energía del sector terciario en la Unión Europea está creciendo de forma significativa, por lo que la integración de sistemas fotovoltaicos en edificios, con aportaciones energéticas en las horas punta, contribuye a reducir la producción diurna de energía convencional.

Las aplicaciones de integración en edificios más frecuentes son:

- Recubrimiento de fachadas
- Muros cortina
- Parasoles en fachada
- Pérgolas
- Cubiertas planas acristaladas
- Lucernarios en cubiertas
- Lamas en ventanas
- Tejas

La integración arquitectónica como concepto está explicada con mayor profundidad en el siguiente apartado con fotografías de elementos integradores para que se pueda entender mejor dicho concepto.

3.2.3. Sistemas híbridos

En muchas ocasiones el dimensionado de la instalación fotovoltaica por sí solo se encuentra por debajo del margen de seguridad que garantiza la cobertura del suministro eléctrico todo el año, ya sea por motivos económicos o bien porque se dispone de otra fuente de generación eléctrica que completará la generada por la instalación. Incluso, aunque el dimensionado sea el correcto se pueden producir puntas de consumo muy por encima del habitual, o simplemente, tener periodos anormalmente largos de tiempo nublado y que por diferentes necesidades se deba garantizar en cualquier situación. Por tanto, en estos casos se recomienda disponer de algún sistema de generación auxiliar que permita hacer frente con seguridad frente las circunstancias anteriormente mencionadas, garantizando así un estado de carga aceptable en los acumuladores y una prolongación de su vida útil.

Estos sistemas son una combinación entre un sistema fotovoltaico y otra fuente de suministro de energía eléctrica complementaria que no se trate de la red eléctrica, como son los generadores diesel o eólicos, pequeñas plantas hidroeléctricas y, en general, cualquier otro tipo de fuente energética. Uno de los sistemas de generación está formado por un sistema modular de paneles fotovoltaicos que mediante su regulador de carga está conectado al sistema de acumuladores, y en paralelo a este sistema se encuentra un grupo auxiliar electrógeno con motor de gasolina de 3,5KVA que, mediante un rectificador se conecta a las baterías para, en casos extremos, poder cargar los acumuladores. No obstante, el diseño óptimo de sistemas híbridos es muy complicado, debido a la variabilidad de la energía solar y la demanda de carga, así como las características no lineales de algunos componentes. Aunque son muchos los resultados que muestran las ventajas de un sistema híbrido frente a un sistema que sólo utiliza paneles fotovoltaicos o generadores diesel como fuente de energía.

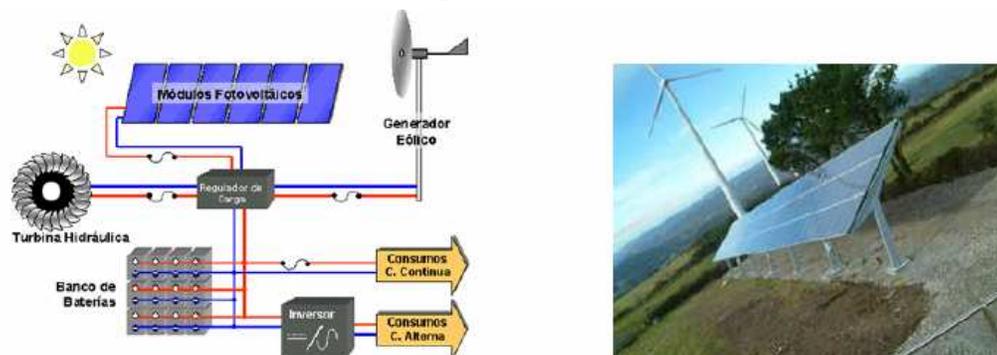


Figura 8: Esquema de la estructura de un sistema solar fotovoltaico híbrido



3.3. Otras aplicaciones

Las posibilidades que ofrece el efecto fotovoltaico (generar electricidad a partir de la radiación solar) ha abierto un mundo de nuevas aplicaciones. Hay un gran número de ingenios domésticos que funcionan a partir de la aplicación de células fotovoltaicas para suministrar la energía que les hace falta para funcionar.

La aplicación más conocida de las células solares es sin duda el uso que se hace como fuente energética para los satélites de comunicación. También hay un mercado muy importante en aplicaciones cotidianas, como las calculadoras, los relojes, los accesorios de camping, los juguetes, etc.

Uno de los usos de los módulos fotovoltaicos no muy conocido, pero sí muy utilizado, son las farolas solares. En realidad, una farola solar es una instalación solar completa, de pequeña escala, integrada en el soporte que presta una farola para iluminar la vía pública.



4. Nuevas tecnologías

Como se ha comentado anteriormente, las células fotovoltaicas a partir de silicio monocristalino es la tecnología más utilizada actualmente aunque todavía se están estudiando otros tipos de dispositivos como son:

- Dispositivos basados en una película fina
- Dispositivos fotovoltaicos híbridos, utilizando materiales semiconductores nanocristalinos y polímeros conductores, o células electroquímicas

4.1. Dispositivos basados en una película fina

Constituyen una de las alternativas a las células a partir de silicio monocristalino. Dentro del llamado “Proyecto Marisol” del grupo CIEMAT (Centro de Investigaciones energéticas, Medio Ambientales y Tecnológicas) ha desarrollado equipos a escala intermedia entre el laboratorio y una planta industrial para la preparación de materiales basados en película fina y con aplicación fotovoltaica. Actualmente es una planta piloto de la que podría llegar a ser una instalación industrial. El silicio monocristalino es un material con una estructura atómica muy uniforme que facilita el flujo de electrones (importante para llegar a tener una buena eficacia). Pero para obtenerlo primero se tiene que fundir el Silicio de alta pureza y después hacer crecer de nuevo la estructura alrededor de un único cristal “semilla”.

Este silicio monocristalino será tratado después y cortado convenientemente para ser transformado en una célula fotovoltaica, que además se ha de conectar individualmente a muchas otras para formar un módulo (los paneles solares están formados por muchas células fotovoltaicas). Es un proceso laborioso y caro. La tecnología basada en dispositivos de película fina ha aparecido en las últimas décadas como alternativa, ya que con esta tecnología no se tiene que hacer crecer el cristal, cortarlo y perder material en dichos cortes. Al contrario, con la película fina se puede hacer crecer el material adecuado con el grosor deseado, sobre la superficie que se desee y de dimensiones varias. El principio de funcionamiento de estas células es el mismo que el de las células de silicio monocristalino, ambas están hechas de materiales semiconductores que crean portadores de carga eléctrica cuando se les da luz, y a los que se añade materiales conductores para recoger y transportar esta carga eléctrica. Pero con la diferencia de que la nueva tecnología tiene un depósito de grandes superficies de película con conductores



y semiconductores sobre un sustrato, utilizando una técnica de conformado adecuada para conseguir un dispositivo integrado. Los dispositivos preparados de esta manera tiene unos grosores del orden de decenas de micras. Otra diferencia fundamental es que el hecho de utilizar diferentes sustratos puede diversificar mucho su aplicación, como: el módulo puede colocarse sobre las tejas de un tejado y ser ondulado, o un vidrio de una ventana puede convertirse en un módulo fotovoltaico, es decir, se puede utilizar para cualquier tipo de sustrato teniendo en cuenta algunos requisitos.

El problema de que estos dispositivos no salen al mercado fabricados en serie reside en que su eficiencia sólo se considera aceptable, obteniendo alrededor de un 12% con dispositivos estables de seleniuro de Cobre e Indio. No obstante, la viabilidad comercial de estos módulos requiere grandes esfuerzos, a nivel de costes en su fabricación, ya que están altos, actualmente. Para conseguir un proceso de fabricación de bajo coste en estos módulos es necesario una mejora de la utilización de los materiales y la optimización de los procesos de preparación de los mismos en grandes áreas. El reto de esta tecnología es conseguir un proceso continuo en el que se introduzca un sustrato por un lado y por el otro salga el módulo terminado, con el que abaratar los costes de producción.

4.2. Dispositivos fotovoltaicos híbridos

Es otra de las alternativas a los dispositivos fotovoltaicos de unión de estado sólido. Estos dispositivos de conversión podrían llegar a proporcionar energía solar más económica a gran escala, ya que utilizan materiales de pureza media-baja y procesos de construcción bastante simples. Aunque hasta ahora no se han conseguido eficiencias suficientes para competir en el mercado actual de la energía solar, se trata de campos de investigación en desarrollo y con un rápido progreso, con abundantes opciones de futuro. Un avance fundamental en el área de la fotoquímica se produjo en 1972, cuando Fujishima y Honda consiguieron producir pequeñas cantidades de hidrógeno iluminando una célula electrolítica con luz solar. El elemento esencial en este tipo de célula es un fotoánodo semiconductor de dióxido de titanio donde el agua reacciona en los vacíos fotogenerados y se oxida con oxígeno, mientras que se reduce a hidrógeno con los electrones que llegan al contra electrodo. Así se demostró que es posible descomponer el agua utilizando la potencia solar sin voltaje auxiliar. Desgraciadamente, para su amplia banda prohibida (3-3,2eV) el óxido de titanio sólo absorbe la parte ultravioleta de la emisión solar y, por lo tanto, se consigue muy poca eficiencia de conversión.

En 1991 se realizó la célula solar de dióxido de titanio no estructurado, célula solar fotoelectroquímica más conocida como célula de Gratzel, que utiliza mecanismos de transferencia electrónica similares a los que dan lugar a la fotosíntesis en las plantas.

De igual manera que en una unión de estado sólido, el semiconductor es una unión semiconductor-líquido contiene una zona de carga espacial en la superficie, con un intenso campo eléctrico que permite separar los pares electrón-vacío fotogenerados y convertirlos en una fotocorriente. Así, un electrodo semiconductor se puede utilizar para aprovechar la energía de la radiación. Los electrones fotogenerados se extraen por la conexión entre los dos electrodos y para poder cerrar el circuito se requieren especies disueltas en la fase líquida que reducen y oxidan con electrones o vacíos fotogenerados: los dos estados de ocupación de una especie en el electrolito constituyen un par redox. Los electrones son transferidos a través de la superficie del electrodo y reaccionan con las especies redox. El itinerario de estas últimas dependen del tipo de dispositivo, ya que las células fotoelectroquímicas pueden convertir la luz solar en electricidad, energía química (fundamentalmente en forma de hidrógeno) o alguna combinación de ambas. Esta célula ha generado un nuevo campo de investigación científica multidisciplinar, y por su bajo coste de producción, junto con una eficiencia de conversión total confirmada superior al 10%, se perfila como una importante nueva tecnología para las energías renovables.

La primera planta de producción a gran escala se instaló en Australia el año 2001 por la empresa australiana Sustainable Technologies International (STI), los paneles solares comercializados con características típicas de 600x900mm y una potencia de 50W/m² y actualmente se investigan nuevas aplicaciones, como el acoplamiento de la nanoestructura con polímeros conductores para conseguir una célula sólida flexible y la realización de células solares transparentes al ojo humano que absorben una fracción significativa de la luz solar, ya que se pueden realizar células de colorantes en cualquier color deseado para una aplicación concreta.



Figura 9: Paneles solares de TiO₂ fabricados por Sustainable Technologies International



También se contempla la incorporación de células de colorante en ventanas inteligentes, que podrían llegar a ser importantes componentes arquitectónicos en edificios de futuro. En muchos países industrializados, la necesidad de enfriar los edificios durante los meses de verano consume una fracción significativa de la energía total, y a menudo, el calentamiento a través de las ventanas es el mejor componente de la carga de frío. Las ventanas inteligentes regulan el paso de la luz y el calor al interior de los edificios mediante vidrios que cambian dinámicamente la transmisividad, con un proceso de inserción y extracción de Litio en un material electrocromático como el WO_3 .

Se ha demostrado que la combinación de un electrodo electrocromático con una célula solar con colorante permite realizar una ventana inteligente autoalimentado que prescinde de conexiones eléctricas externas. Un creciente número de científicos actualmente desarrollan investigaciones para aumentar la eficiencia de este tipo de dispositivos híbridos e inventar configuraciones alternativas y más prácticas. En cuanto a las perspectivas más próximas, las células solares con colorante no pueden competir en eficiencia o durabilidad con otras alternativas del mercado de la energía solar. Se han planteado dudas sobre la estabilidad del colorante, la degradación del cual, aunque se corrompe muy lentamente, inutilizaría la célula solar a medio o largo plazo. Otro inconveniente es la fase líquida, ya que entre otras cosas, porque no resulta fácil sellar perfectamente el disolvente orgánico, con el que la célula se pueda secar paulatinamente y quedar inservible. Debido a esto, muchas de las investigaciones actuales tienen como objetivo el simplificar el proceso de producción y a la vez conseguir mejores propiedades mecánicas, como, dotar a la célula de flexibilidad. De esta manera la célula de colorante podría competir en algunos sectores del mercado, por ejemplo, en aplicaciones de interiores donde los requisitos de eficiencia y durabilidad no son tan estrictos como en las aplicaciones al aire libre. En este contexto, un objetivo prioritario consiste en realizar una célula sólida con el semiconductor, óxido de titanio, nanoestructurado y un medio sólido que sustituye al líquido como transportador de vacíos.