

## 2. Introducción a la Energía Fotovoltaica

### 2.1.Introducción

La Energía solar, es la energía obtenida mediante la captación de la luz y el calor emitidos por el sol. La radiación solar que alcanza la Tierra puede aprovecharse por medio del calor que produce, como también a través de la absorción de la radiación, por ejemplo en dispositivos ópticos o de otro tipo. Es una de las llamadas energías renovables particularmente del grupo no contaminante, conocido como energía limpia o energía verde.

La potencia de la radiación varía según el momento del día, las condiciones atmosféricas que la amortiguan y la latitud. Se puede asumir que en buenas condiciones de irradiación el valor es de aproximadamente 1000 W/m<sup>2</sup> en la superficie terrestre. A esta potencia se la conoce como irradiancia.

La radiación es aprovechable en sus componentes directa y difusa, o en la suma de ambas. La radiación directa es la que llega directamente del foco solar. Sin reflexiones o refracciones intermedias. La difusa es la emitida por la bóveda celeste diurna gracias a los múltiples fenómenos de reflexión y refracción solar en la atmósfera, en las nubes y el resto de elementos atmosféricos y terrestres. La radiación directa puede reflejarse y concentrarse para su utilización, mientras que no es posible concentrar la luz difusa que proviene de todas las direcciones. La irradiancia directa normal (o perpendicular a los rayos solares) fuera de la atmósfera, recibe el nombre de constante solar y tiene un valor medio de 1354 W/m<sup>2</sup> (que corresponde a un valor máximo en el perihelio de 1395 W/m<sup>2</sup> y un valor mínimo en el afelio de 1308 W/m<sup>2</sup>).

#### 2.1.1. El Efecto Fotovoltaico

El Efecto Fotovoltaico (FV) es la base del proceso mediante el cual una célula FV convierte la luz solar en electricidad. La luz solar está compuesta por fotones, o partículas energéticas. Estos fotones son de diferentes energías, correspondientes a las diferentes longitudes de onda del espectro solar. Cuando los fotones inciden sobre una célula FV. Pueden ser reflejados o absorbidos, pueden pasar a su través. Únicamente los fotones absorbidos generan electricidad.

Cuando un fotón es absorbido, la energía del fotón se transfiere a un electrón de un átomo de la célula. Con esta nueva energía, el electrón es capaz de escapar de su posición normal asociada con un átomo para formar parte de una corriente en un circuito eléctrico.

Las partes más importantes de la célula solar son las capas de semiconductores, ya que es donde se crea la corriente de electrones. Estos semiconductores son especialmente tratados para formar dos capas diferentes dopadas (tipo p y tipo n) para formar un campo eléctrico, positivo en una parte y negativo en otra. Cuando la luz solar incide en la célula se liberan electrones que pueden ser atrapados por el campo eléctrico, formando una corriente eléctrica. Es por ello que estas células se fabrican partir de este tipo de materiales, es decir, materiales que actúan como aislantes a baja temperatura y como conductores cuando se aumenta la energía.

Desafortunadamente no hay un tipo de material ideal para todos los tipos de células y aplicaciones. Además de los semiconductores las células solares están formadas por una malla metálica superior u otro tipo de contacto para recolectar los electrones del semiconductor y transferirlos a la carga externa y un contacto posterior para completar el circuito eléctrico. También en la parte superior de la célula hay un vidrio u otro tipo de material encapsulado transparente para sellarla y protegerla de las condiciones ambientales, y una capa antireflexiva para aumentar el número de fotones absorbidos.

Las células FV convierten pues, la energía de la luz en energía eléctrica. El rendimiento de conversión, esto es, la proporción de luz solar que la célula convierte en energía eléctrica, es fundamental en los dispositivos fotovoltaicos, ya que el aumento del rendimiento hace de la energía solar FV una energía más competitiva con otras fuentes.

Estas células conectadas unas con otras, encapsuladas y montadas sobre una estructura soporte o marco, conforman un módulo fotovoltaico. Los módulos están diseñados para suministrar electricidad a un determinado voltaje (normalmente 12 o 24 V). La corriente producida depende del nivel de insolación.

La estructura del módulo protege a las células del medio ambiente y son muy durables y fiables. Aunque un módulo puede ser suficiente para muchas aplicaciones, dos o más módulos pueden ser conectados para formar un generador FV. Los generadores o módulos fotovoltaicos producen corriente continua (DC) y pueden ser conectados en serie o en paralelo para poder producir cualquier combinación de corriente y tensión. Un módulo o generador FV por sí mismo no bombea agua o ilumina una casa durante la noche. Para ello es necesario un sistema FV completo que consiste en un generador FV junto a otros componentes, conjuntamente conocidos como “resto del sistema” o BOS (del inglés balance of system). Estos componentes varían y dependen del tipo de aplicación o servicio que se quiere proporcionar. Los sistemas fotovoltaicos se pueden clasificar como autónomos o conectados a la red eléctrica. En definitiva y cómo podemos ver, nos encontramos ante una fuente de energía, que además de renovable se nos presenta como una clara apuesta de futuro de cara al planteamiento energético en los próximos años.

### 2.1.2. La radiación solar

Se conoce por radiación solar al conjunto de radiaciones electromagnéticas emitidas por el sol. El sol se comporta prácticamente como un cuerpo negro que emite energía siguiendo la ley de Planck a una temperatura de unos 6000 K. La radiación solar se distribuye desde infrarrojo hasta ultravioleta. No toda la radiación alcanza la superficie de la tierra, pues las ondas ultravioletas, más cortas, son absorbidas por los gases de la atmósfera fundamentalmente por el ozono. La magnitud que mide la radiación solar que llega a la tierra es la irradiancia, que mide la energía que, por unidad de tiempo y área, alcanza a la tierra. Su unidad es el W/m<sup>2</sup> (vatio x metro cuadrado).

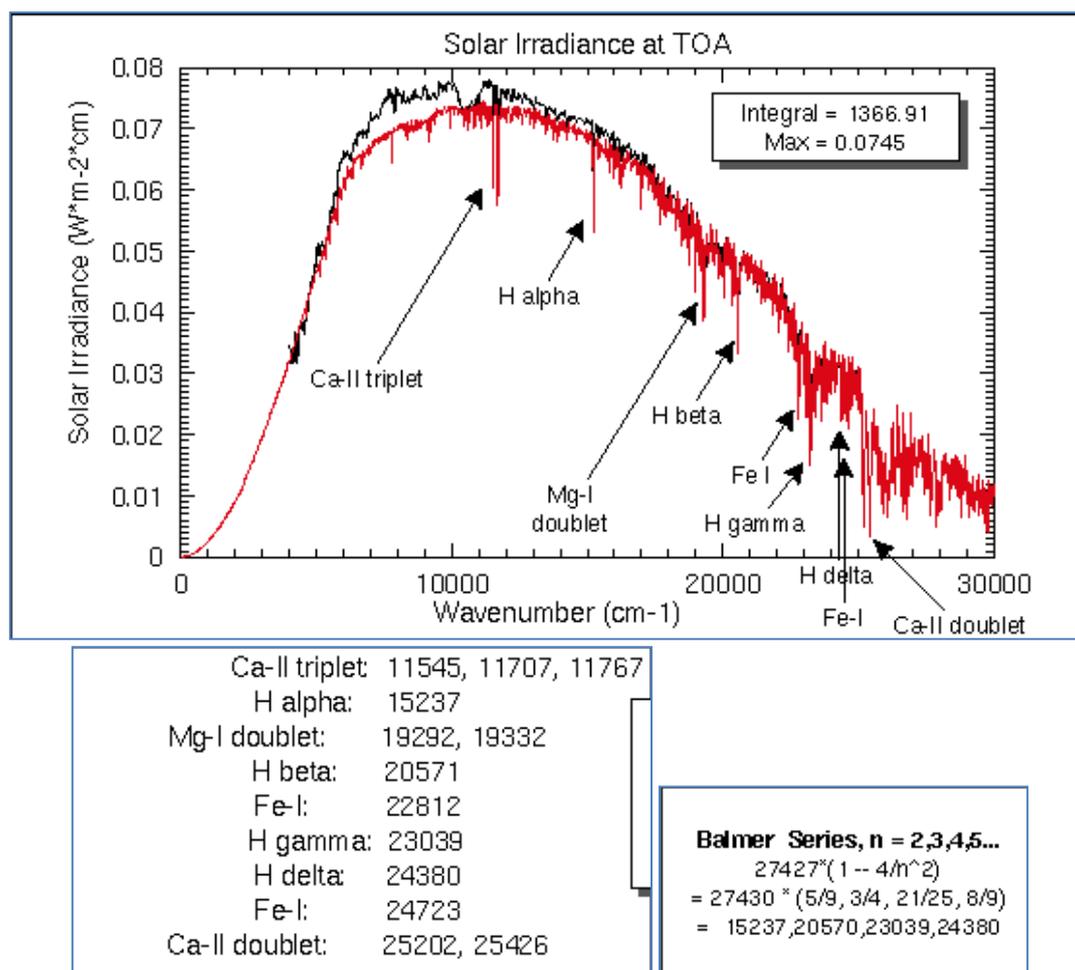


Ilustración 1 Espectro de la irradiancia solar

### 2.1.2.1. Generación de la radiación solar

El sol es la estrella más cercana a la tierra y está catalogada como una estrella enana amarilla. Sus regiones interiores son totalmente inaccesibles a la observación directa y es allí donde ocurren temperaturas de unos 20 millones de grados necesarios para producir las reacciones nucleares que producen su energía. La capa más externa que es la que produce casi toda la radiación observada se llama fotosfera y tiene una temperatura de 6000 K. Tiene sólo una anchura entre 200 y 300 km. Por encima de ella está la cromosfera con una anchura de unos 15.000 Km. Más exterior aún es la corona solar, una parte muy tenue y caliente que se extiende varios millones de kilómetros y que sólo es visible durante los eclipses solares totales. La superficie de la fotosfera aparece conformada de un gran número de gránulos brillantes producidos por las células de convección. También aparecen fenómenos cíclicos que conforman la actividad solar como manchas solares, fáculas, protuberancias solares, etc. Estos procesos que tienen lugar a diferentes profundidades, van acompañados siempre de una emisión de energía que se superpone a la principal emisión de la fotosfera y que hace que el sol se aleje ligeramente en su emisión de energía del cuerpo negro a cortas longitudes de onda por la emisión de rayos X y a largas longitudes por los fenómenos nombrados, destacando que no es la emisión igual cuando el sol está en calma que activo. Además la cromosfera y corona absorben y emiten radiación que se superpone a la principal fuente que es la fotosfera.

### 2.1.2.2. *Distribución espectral de la radiación solar*

La aplicación de la Ley de Planck al sol con una temperatura superficial de unos 6000 K conlleva que el 99% de la radiación emitida está entre longitudes de onda 0,15 micrómetros o micras y 4 micras. Como 1 ángstrom  $1 \text{ \AA} = 10^{-10} \text{ m} = 10^{-6} \text{ micras}$  resulta que el sol emite un rango de 1500  $\text{\AA}$  hasta 4000  $\text{\AA}$ . La luz visible se extiende desde 4000  $\text{\AA}$  a 7000  $\text{\AA}$ . La radiación ultravioleta u ondas cortas iría desde los 1500  $\text{\AA}$  a los 4000  $\text{\AA}$  y la radiación infrarroja u ondas largas desde las 0,74 micras a 4 micras.

La atmósfera de la tierra constituye un importante filtro que hace inobservable radiaciones de longitud de onda inferior a las 0,29 micras por la fuerte absorción del ozono y oxígeno. Ello libraría de la radiación ultravioleta más peligrosa para la salud.

La atmósfera es opaca a toda radiación infrarroja de longitud de onda superior a las 24 micras, lo cual no afecta a la radiación solar pero sí a la energía emitida por la tierra que llega hasta las 40 micras y que es absorbida. A este efecto se conoce como efecto invernadero. Pero la emisión solar difiere de la de un cuerpo negro sobre todo en el ultravioleta. En el infrarrojo se corresponde mejor con la temperatura de un cuerpo negro de 5779 °C y en el visible. Se trata de que la radiación solar no se produce en las mismas capas y se observa la temperatura de cada una de ellas donde se produce la energía.

### 2.1.3. El panel fotovoltaico

Los módulos fotovoltaicos o colectores solares fotovoltaicos (llamados a veces paneles solares, aunque esta denominación abarca otros dispositivos) están formados por un conjunto de celdas (Células fotovoltaicas) que producen electricidad a partir de la luz que incide sobre ellos. El parámetro estandarizado para clasificar su potencia se denomina potencia pico, y se corresponde con la potencia máxima que el módulo puede entregar bajo unas condiciones estandarizadas, que son:

- **Radiación de 1000 W/m<sup>2</sup>**
- **Temperatura de célula de 25° C (no temperatura ambiente)**

Las placas fotovoltaicas se dividen en:

- **Cristalinas**
- **Monocristalinas:** se componen de secciones de un único cristal de silicio (reconocibles por su forma circular u octogonal, donde los cuatro lados cortos, si se observa se aprecia que son curvos, debido a que es una célula circular recortada).
- **Policristalinas:** cuando están formadas por pequeñas partículas cristalizadas.
- **Amorfas:** cuando el silicio no se ha cristalizado.

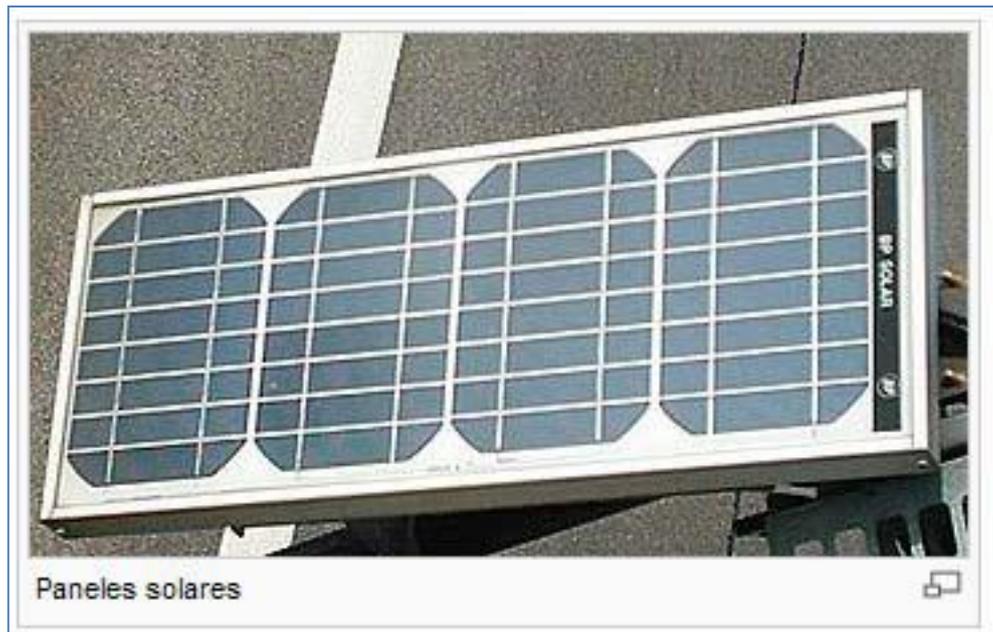


Ilustración 2 Paneles solares

### 2.1.3.1. Historia

El término fotovoltaico proviene del griego phos, que significa “luz” y voltaico, que proviene de la electricidad, en honor al científico italiano Alejandro Volta, (que también proporcionar el término voltio a la unidad de medida de la diferencia de potencial en el Sistema Internacional de Medidas). El término fotovoltaico comenzó a usarse en Inglaterra desde el año 1849. El efecto fotovoltaico fue reconocido por primera vez en 1839 por el físico francés Becquerel, pero la primera célula solar no se construye hasta 1883. Su autor fue Charles Fritts, quién recubrió una muestra de selenio semiconductor con un pan de oro para formar el empalme. Este primitivo dispositivo presentaba una eficiencia de solo un 1%. Russel Ohl patentó la célula solar moderna en el año 1946, aunque Sven Ason Berglund había patentado, con anterioridad, un método que trataba de incrementar la capacidad de las células fotosensibles. La era moderna de la tecnología de potencia solar no llegó hasta el año 1954 cuando los laboratorios Bell, descubrieron de manera accidental que los semiconductores de silicio dopado con ciertas impurezas, eran muy sensibles a la luz.

Estos avances contribuyeron a la fabricación de la primera célula solar comercial con una conversión de la energía solar de, aproximadamente el 6%. La URSS lanzó su primer satélite espacial en el Año 1957, y los EEUU un año después. En el diseño de éste se usaron células solares creadas por Peter Lles en un esfuerzo encabezado por la compañía Hoffman Electronics.

La primera nave espacial que usó paneles solares fue el satélite norteamericano Vanguard, lanzado en Marzo de 1958. Este hito generó un gran interés en la producción y lanzamiento de satélites geoestacionarios para el desarrollo de las comunicaciones, en los que la energía provendría de un dispositivo de captación de la luz solar. Fue un desarrollo crucial que estimuló la investigación por parte de algunos gobiernos y que impulsó la mejora de los paneles solares. EN 1970 La primera célula solar con etéreo estructura de arseniuro de galio (GaAs) y altamente eficiente se desarrollo en la extinguida URRS por Zhore Alferov y su equipo de investigación.

La producción de equipos de deposición química de metales por vapores orgánicos o MOCVD (Metal Organic Chemical Vapor Deposition). No se desarrolló hasta los años 80 del siglo pasado, limitando la capacidad de las compañías en la manufactura de células solares de arseniuro de galio.

La primera compañía que manufacturó paneles solares en cantidades industriales, a partir de uniones simples de GaAs, con una eficiencia de AMO (*Air Mass Zero*) del 17% fue la norteamericana ASEC (*Applied solar Energy Corporation*). La conexión dual de la celda se produjo en cantidades industriales por ASEC en 1989, de manera accidental, como consecuencia de un cambio del Ga As sobre los sustratos de Ga As a Ga As sobre sustratos de germanio. El dopaje accidental de germanio (Ge) con GaAs como capa amortiguadora creó circuitos de voltaje abiertos, demostrando el potencial del uso de los sustratos de germanio como otras celdas.

Una celda de uniones simples de Ga As llegó al 19% de eficiencia AMO en 1993. ASEC desarrolló la primera celda de doble unión para las naves espaciales usadas en EEUU, con una eficiencia de un 20% aproximadamente. Estas celdas no usan el germanio como segunda celda, pero usan una celda basada en GaAs con diferentes tipos de dopaje. De manera excepcional, las células de doble unión de GaAs pueden llegar a producir eficiencias AMO del orden del 22%. Las uniones triples comienzan con eficiencias del orden del 24% en el 2000, 26% en el 2002, 28% en el 2005, y han llegado, de manera corriente al 30% en el 2007. En el cual, dos compañías norteamericanas *Emcore Photovoltaics* y *Spectrolab*, producen el 95% de las células solares del 28% de eficiencia.

#### 2.1.4. Ventajas e inconvenientes de las instalaciones fotovoltaicas

- **Ventajas:** La energía solar fotovoltaica es una de las fuentes más prometedoras de las energías renovables en el mundo. Comparada con las fuentes no renovables, las ventajas son claras: es no contaminante, no tiene partes móviles que analizar y no requiere mucho mantenimiento.

No requiere de una extensa instalación para operar. Los generadores de energía pueden ser instalados de una forma distribuida en la cual los edificios ya construidos, pueden generar su propia energía de forma segura y silenciosa. No consume combustibles fósiles. No genera residuos. No produce ruidos es totalmente silenciosa. Es una fuente inagotable. Ofrece una elevada fiabilidad y disponibilidad operativa excelente.

En resumen, la energía fotovoltaica es generada directamente del sol. Los sistemas fotovoltaicos no tienen partes móviles, por lo tanto no requieren mantenimiento y sus celdas duran décadas. Además de las ventajas ambientales también debemos tener en cuenta las socio-económicas. Instalación simple. Tienen una vida larga (Los paneles solares duran aproximadamente 30 años). Resisten condiciones climáticas extremas: granizo, viento, temperatura, humedad. No existe una dependencia de los países productores de combustibles. Puede instalarse en zonas rurales desarrollo de tecnologías propias. Se puede utilizar en lugares de bajo consumo y en casas ubicadas en parajes rurales donde no llega la red eléctrica general. Puede venderse el excedente de electricidad a una compañía eléctrica. Puede aumentarse la potencia mediante la incorporación de nuevos módulos fotovoltaicos.

- **Inconvenientes:** De este sistema de generación de energía, no es tanto el origen de dicha energía que es el Sol, que tiene reservas que exceden de nuestras necesidades, ni tampoco la materia prima de donde se extrae el silicio, que consiste en arena común muy abundante en la naturaleza: se trata de la técnica de construcción y fabricación de los módulos fotovoltaicos que es complejo y caro.

Requiere una importante inversión inicial. Es una energía de difícil almacenamiento. No es económicamente competitiva con otras energías actuales. Producción variable según climatología del lugar y época del año. Otro inconveniente es el rendimiento obtenido y el espacio de terreno ocupado por los elementos captadores: el rendimiento final se estima en solo un 13%.

## 2.2.Desarrollo de la energía solar fotovoltaica

### 2.2.1. El desarrollo fotovoltaico

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. Aún con este crecimiento, la contribución actual de la energía eléctrica de carácter fotovoltaico para cubrir las necesidades energéticas es ínfima y lo será los próximos años. Esta perseverancia nos llevaría a un futuro como puede ser el que vaticinan muchos modelos de entidades con reputación como la empresa de energía Shell, o como el que se muestra a continuación: el de los expertos designados el año 2003 por el Gobierno alemán para estudiar el cambio climático.

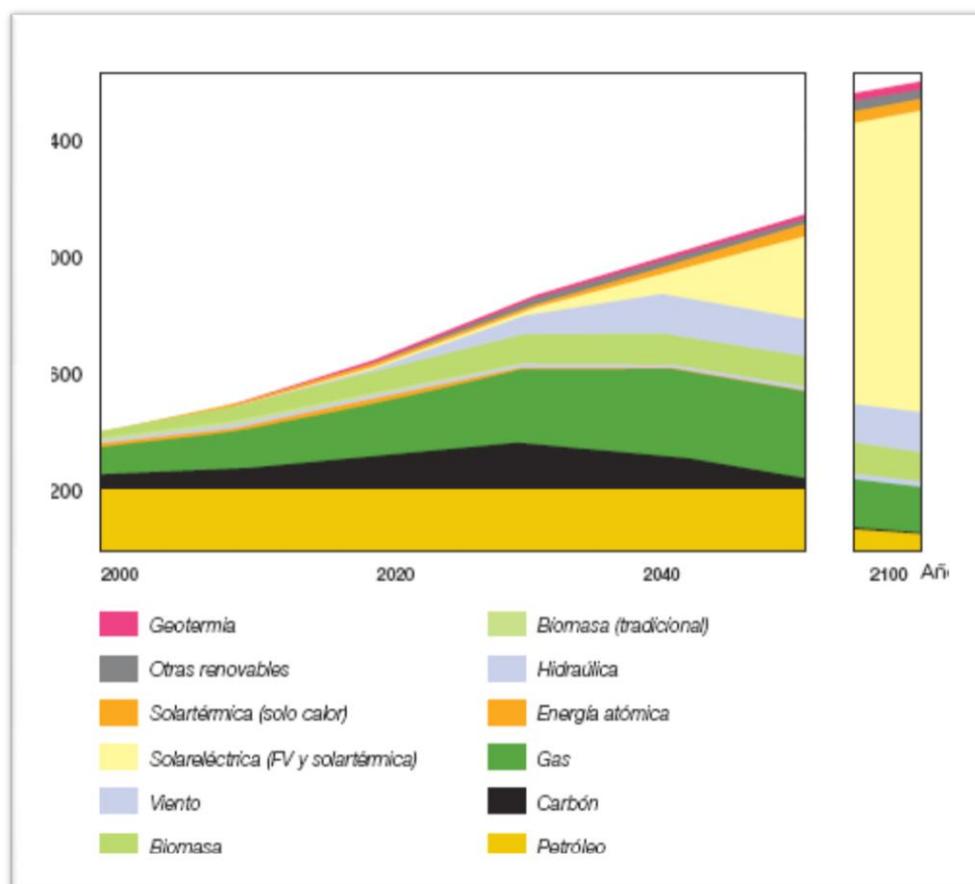


Ilustración 3 Previsión de la energía primaria mundial consumida anualmente

Parece prudente diversificar las opciones energéticas no desechando ninguna alternativa que demuestre su potencial. Con este principio, la energía solar fotovoltaica pide un sitio dentro de los esfuerzos globales para cambiar o adaptar nuestro modelo energético, y lo pide porque su propia naturaleza la hace idónea para responder a los problemas medioambientales del modelo actual y porque el coste para apoyar su desarrollo es asumible, al ser, por ejemplo, una pequeñísima parte del coste de las catástrofes debidas al cambio climático (el director de los programas medioambientales de las Naciones Unidas y ex-ministro alemán de Medio ambiente Klaus Töpfer estimó, en 100.000 millones de euros, el coste en el Año 2001, de los daños ocasionados por el cambio climático).

El apoyo de la energía solar fotovoltaica en España, según el modelo de cálculo del ASIF con los datos de entrada que proporciona el Plan de Energías Renovables aprobado en el mes de Agosto de este año, supondría en el mes más desfavorable del período que cumple el Plan una aportación de menos de medio euro en cada recibo de la luz de las familias españolas. Dentro de unos años no será necesaria esta contribución al alcanzarse el objetivo de que el coste de generar electricidad en el propio tejado fotovoltaico sea igual al precio que nos cobra la compañía eléctrica comercializadora. En este momento, y según el modelo, la penetración del mercado de la generación solar fotovoltaica se acercaría al 8% del consumo actual.

Debemos recordar que muy pocas tecnologías estratégicas de las que ahora disfrutamos fueron rentables desde el primer momento y se desarrollaron en un contexto a merced de las leyes del mercado, sin necesitar apoyo de la sociedad y de sus gobiernos en sus primeras décadas de existencia; al contrario la mayoría de ellas lo necesitaron: el ferrocarril, los automóviles, la aviación, las telecomunicaciones y no solo sus satélites, la energía nuclear de fisión y, si tiene éxito, la habrá tenido la energía nuclear de fusión caliente, el ordenador, e incluso internet que necesitó apoyo total durante sus primeros 30 años de vida. Con unos niveles de insolación tan favorables como hay en España y con una dependencia energética del exterior, el apoyo de la energía solar en nuestro país es especialmente fructífero, pues las instalaciones solares son muy eficientes, y ayudan a una independencia energética. Teniendo en cuenta los precios presentes de algunos productos energéticos importados, se podría decir que la ayuda actual a las energías autóctonas resulta menor de lo que pagamos ahora por nuestra vulnerabilidad energética. El actual presidente del gobierno ha dicho en el discurso con motivo de la ratificación del Protocolo de KYOTO que el poco apoyo a las energías renovables es un tema de inteligencia y debido, entre otras razones, a la naturaleza de la tecnología muy benigna con el medio-ambiente, a nuestra latitud geográfica y a la importantes industria que tenemos, la ayuda perseverante de la sociedad española a la energía fotovoltaica cae de lleno en esta aseveración.

### 2.2.2. El desarrollo Fotovoltaico 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.



Ilustración 4 Potencia fotovoltaica anual instalada en España

#### 2.2.2.1. 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 Kw fotovoltaico inyectado a la 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 ha habido ayuda. El RD436/2004 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 las instalaciones, con una media superior a los 3 Kw de hace sólo 2 ó 3 años.

Las instalaciones realizadas en el año 2004 se estiman en algo más de 10 MW. En el 2005 este volumen se ha superado 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 algunos de los componentes del sistema, como es el caso de los módulos fotovoltaicos antes mencionados. La bajada anual de precios en el último año en España se estima que ha sido del orden de un 5% esto que se viene consiguiendo tradicionalmente, con lo que la industria española, en su conjunto, fabricantes, distribuidores, instalaciones, 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 nuestro país que ha posibilitado el R.D. 436/2004, es una de las principales causas de la reducción media de precios observados.

#### ***2.2.2.2. En el aspecto financiero***

El aumento de potencia de las instalaciones y la percepción, por parte de las entidades financieras, del gran potencial de esta tecnología, están propiciando la entrada en el mercado de financiación privada. Se observa que grandes grupos bancarios del país están estudiando la entrada en nuestro sector, y algunos de ellos ya empiezan a ofrecer productos específicos para nuestros proyectos, como hicieron hace años para otras energías renovables hermanas.

Esto está dando un gran dinamismo a la financiación de proyectos fotovoltaicos que, tradicionalmente ha estado ligada a las convocatorias del ICO-IDAE las cuales tienen grandes ventajas- por las condiciones muy favorables de sus préstamos, pero que también tienen inconvenientes pues son equivalentes en proceso a una subvención. Es justo mencionar que las convocatorias del ICO-IDAE han tenido el mérito de ser las directas responsables del positivo desarrollo de nuestro mercado en los años anteriores.

Se debe reconocer la importancia de estas convocatorias como pieza clave durante los años difíciles de despegue del mercado (se puede apreciar una directa correlación entre el volumen de las instalaciones realizadas cada año y los fondos disponibles en la financiación ICO-IDAE). En el nuevo contexto, las convocatorias del ICO-IDAE van a dejar de ser la locomotora del mercado para dejar paso a que lo sean las leyes del mercado, sin embargo como se verá en el capítulo siguiente, pensamos que las convocatorias ICO-IDAE, adaptándose al nuevo contexto, deberían seguir jugando un papel importante en el desarrollo fotovoltaico.

#### ***2.2.2.3. En el aspecto fiscal***

Se puede seguir cuestionando. Incluso con el mayor tamaño de las instalaciones fotovoltaicas que conlleva el nuevo contexto, su inscripción en el Registro Territorial como fábrica de electricidad (LEY38/92, LEY69/97, RD 1165/95 etc.). Así como la autorización, declaración, etc. correspondiente. Es cierto que al ser instalaciones de baja potencia, la aplicación de este impuesto no supone pago de este impuesto especial, pero la burocracia mencionada sigue sin estar justificada para instalaciones hasta un cierto tamaño.

#### ***2.2.2.4. En el aspecto de la planificación***

El Plan de Energías Renovables (PER) aprobado en el Consejo de Ministros en Agosto de este año, pone el objetivo de 400 MW. De instalaciones fotovoltaicas a finales de 2010, partiendo de los 37 MW instalados a finales del año 2004. La planificación, que conviene que abarque el mayor número de años posibles para permitir un amplio horizonte, juega un papel muy importante, en especial en sectores como el fotovoltaico que requiere de muchas voluntades actuando coordinadamente. En estos casos es especialmente oportuno disponer

de una meta clara y común para que la Administración del Estado, Comunidades Autónomas, industria fotovoltaica, compañías eléctricas, banca privada, etc. Sepan hacia dónde van. El PER plantea un objetivo que podía haber sido superior, ASIF proponía 1.000 MW al pensar que era factible (crecimiento del 100% anual), y que se acercaría rápidamente al objetivo último de ser líderes en esta tecnología, pero el objetivo del Plan de 400 MW es suficiente para ser un reto por lo que no procede a estas alturas, en opinión de ASIF, iniciar un debate sobre si es suficiente ambicioso o no, más teniendo en cuenta que el propósito que tiene el actual Gobierno con este objetivo es el mismo objetivo último de ASIF: hacer que la industria y mercado fotovoltaico español sean líderes mundiales.

#### **2.2.2.5. En el aspecto I+D**

España sigue siendo un país con un gran patrimonio de científicos y técnicos- según el informe último de RENOVALIA, existen más de 170 investigadores en las tecnologías fotovoltaicas. Estos investigadores no siempre están respaldados por un apoyo económico que permita desarrollar sus ideas y trabajo con plenitud. Existe además la duda de si ese amplio patrimonio esta los suficientemente coordinado para evitar duplicaciones o pérdida de sinergias. España está investigando en varios campos, en tecnología de células y módulos (purificación y crecimiento de silicio, generadores de alta eficiencia, de lámina delgada, de tercera generación, etc.) en electrónica, en integración arquitectónica, etc.

Sin embargo, no todos los campos pueden abordarse con la intensidad necesaria y coherente con nuestra industria. Uno de ellos, el de la purificación y crecimiento del silicio, se ha mostrado clave, pues quien tenga la tecnología más eficiente en estos procesos podrá dominar el desarrollo fotovoltaico en los próximos años. Los distintos esfuerzos que se han iniciado en este campo en España deben coordinarse y ser apoyados económicamente por la administración.

#### **2.2.3. El desarrollo fotovoltaico mundial**

La producción de paneles solares fotovoltaicos sigue estando dominada por las células de silicio cristalino las cuales presentan “una madurez tecnológica total en nuestros días” como indica el informe de la Fundación COTEC. La producción española es toda ella de silicio cristalino. Los generadores fotovoltaicos fabricados el año pasado 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 de demanda-oferta hay que buscarlas en la insuficiente capacidad coyuntural de purificación del silicio.

El silicio es el elemento, tras el Oxígeno más abundante y distribuido de 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 ( $\text{SiO}_2$ ), 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 90%.

Del silicio de grado metalúrgico obtenido por la industria metalúrgica 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 del capital dispuesto a invertir en una industria como es la de la purificación que tiene un gran futuro y es rentable. Esta rentabilidad la proporciona, entre otras razones, el hecho que, por la escasez actual, el silicio de grado solar haya subido de precio y haga las inversiones atractivas (ha pasado a finales del pasado año de 25\$/kg. Al orden de los 40\$/kg. Y puede que el silicio de grado solar llegue a los 50\$/kg.). El aumento de un 100% del precio de esta materia prima, dependiendo de las tecnologías, repercute en un 10% aproximadamente en el módulo, y si el coste del módulo es del 50% del precio final del sistema llave en mano, la subida de la materia prima supone un incremento del 5% en el sistema fotovoltaico.

Como se verá más adelante, esa subida, en los sistemas fotovoltaicos vendidos en el mercado español, están siendo compensadas por la bajada de precios que supone el mayor volumen y maduración del mercado en nuestro país.

Esta situación coyuntural va a medio plazo hacia un resultado positivo: en un sector fotovoltaico con una producción importante de materia prima y por tanto en un sector más maduro, fuerte y más independiente del sector electrónico.

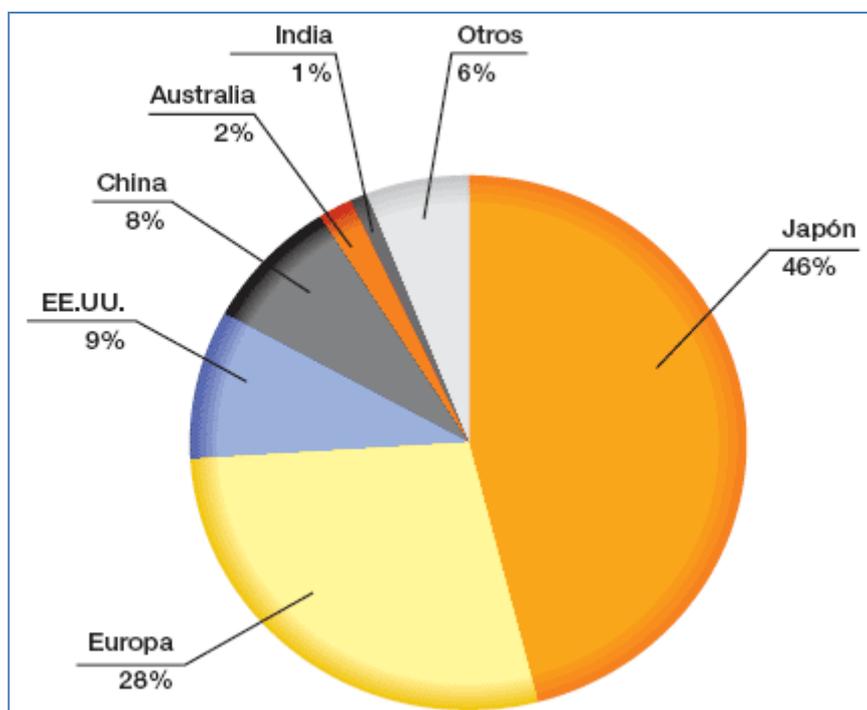


Ilustración 5 Producción mundial de paneles solares en el año 2006

## 2.3. Instalaciones conectadas a la red eléctrica

### 2.3.1. Fotovoltaica conectada a la red

Más de un 90% de los generadores fotovoltaicos están conectados a la red de distribución eléctrica y vierten a ella su producción energética. Esto evita que instalaciones que necesiten baterías y constituyen una aplicación más directa y eficiente de la tecnología. Ya hay cientos de miles de sistemas fotovoltaicos conectados a la red que demuestran que la conexión a red es técnicamente factible y muy fiable. En países como Alemania, Japón o EE.UU., un número cada vez más de personas y empresas están interesadas en instalar un sistema fotovoltaico y conectado a la red. Las motivaciones para dar un paso semejante son diversas, algunos lo hacen para ganar dinero con la venta de la electricidad solar; otros para ahorrar electricidad en los picos de demanda o para dar estabilidad al consumo si el suministro que reciben es inestable; muchos otros justifican en todo o parte la inversión por conciencia ambiental. En todos los casos existe la motivación de contribuir al desarrollo de esta tecnología limpia. Para la conexión a red se utiliza un inversor que convierte la corriente continua de los paneles en corriente alterna.

El inversor cumple además otras funciones, monitoriza el sistema y lo desconecta de la red si hay algún funcionamiento anormal. Hay dos formas de conectarse a la red:

#### 2.3.1.1. Facturación neta

La electricidad solar se usa primero para consumo propio y los excedentes, si los hay, se inyectan a la red. El sistema fotovoltaico se conecta cerca del contador, pero en el lado del consumidor, reduciendo la necesidad de comprar electricidad; por lo tanto, disminuye la factura de la compañía eléctrica, que suministra sólo la energía que no aportan los paneles. Cuando se produce un excedente, esa producción eléctrica se vierte en la red y puede recibir la tarifa fotovoltaica correspondiente, si lo contempla la regulación.

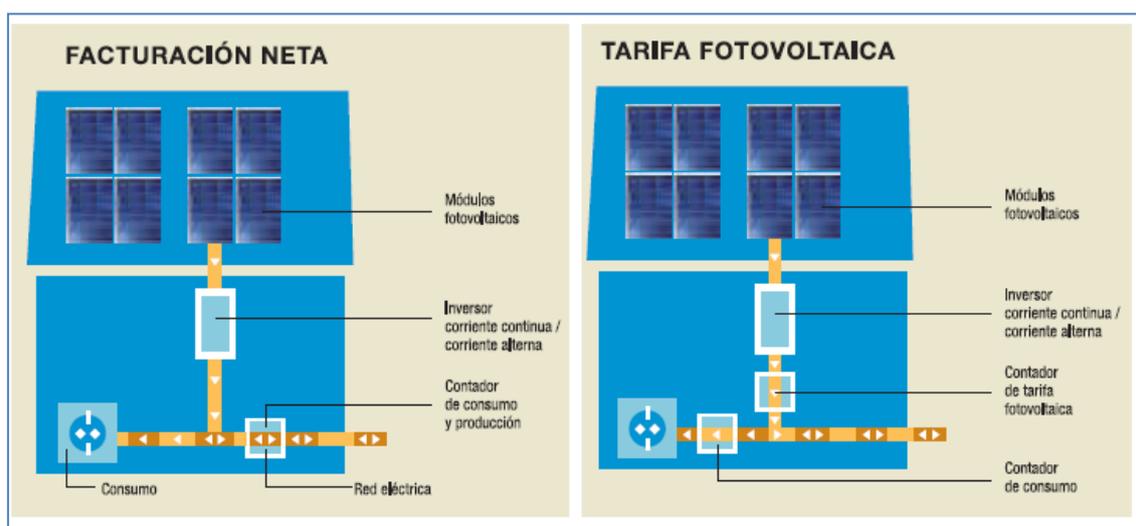


Ilustración 6 Esquema facturación fotovoltaica

### 2.3.1.2. *Tarifa fotovoltaica*

En los países donde la legislación obliga a las compañías eléctricas a aceptar la generación que conecta a sus redes y existe una tarifa para recompensar el Kwh de origen fotovoltaico, el sistema solar se suele conectar directamente a la red eléctrica, de modo que se inyecta el 100% de la energía producida.

En la práctica, las dos formas logran que la electricidad generada se consuma en el lugar que se produce, ya sea en el propio edificio que aloja los paneles o por los consumidores cercanos a una instalación sobre suelo o sobre un elemento constructivo; sin embargo, financiera y administrativamente son dos casos muy distintos. En el caso de la tarifa fotovoltaica, mucho más eficaz para promover la fuente renovable, se tiene que emitir una factura y se tiene que llevar una contabilidad (en España, además, hay que hacer todos los trámites de una actividad económica, con la independencia del tamaño de la instalación), en el caso de la facturación neta, en cambio, se obtiene un ahorro de consumo que no conlleva ninguna carga burocrática.

### 2.3.2. **Fotovoltaica en edificación**

La mayoría de los sistemas fotovoltaicos en edificios (viviendas, centros comerciales, naves industriales...) se montan sobre tejados y cubiertas, pero se espera que un creciente número de instalaciones se integren directamente en el cerramiento de los inmuebles, incorporándose a tejas y otros materiales de construcción.

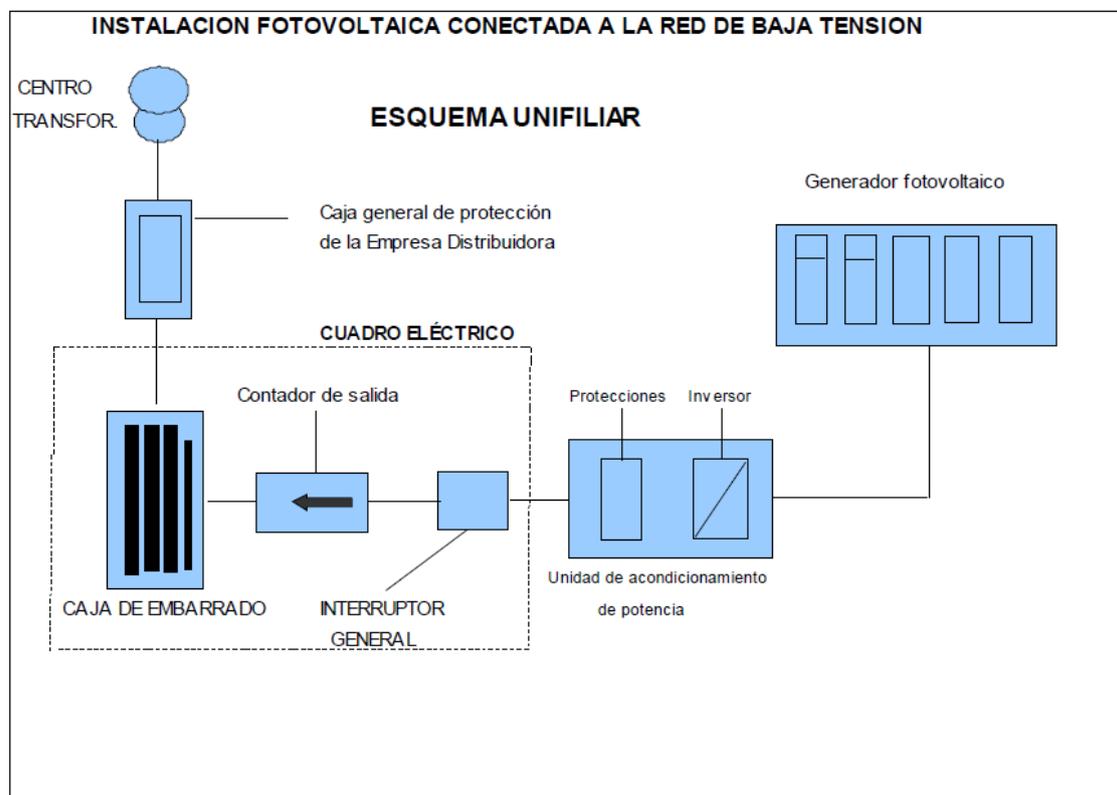
Los sistemas fotovoltaicos sobre tejados y cubiertas son de pequeño a mediano tamaño, esto es de 5 kw a 200 kw aunque a veces se supera este valor y se alcanzan dos o tres MW.

Los sistemas fotovoltaicos también pueden reemplazar directamente a los componentes convencionales de las fachadas. Las fachadas solares son elementos enormemente fiables que aportan un diseño moderno e innovador al edificio y, al mismo tiempo, producen electricidad. En varios países son elementos que contribuyen a la imagen de prestigio y al prestigio corporativo de las empresas.

Asimismo la fotovoltaica puede integrarse en otros elementos de la construcción: lamas parasoles, lucernarios, pérgolas, marquesinas, etc.

### 2.3.3. Elementos que componen la instalación

Se adjunta esquema unifilar del sistema fotovoltaico conectado a la red de baja tensión y que no contempla la posibilidad de interconectar con los cuadros de distribución de consumo interno.



Los elementos que conforman la instalación son los siguientes:

#### 2.3.3.1. *Generador fotovoltaico*

Transforma la energía solar en energía eléctrica. Está constituido por paneles solares y éstos a su vez están formados por varias células iguales conectadas eléctricamente entre si, en serie y/o en paralelo, de forma que la tensión y corriente suministradas por el panel se incrementa hasta ajustarse al valor deseado. La mayor parte de los paneles solares se construyen asociando primero células en serie hasta conseguir el nivel de tensión deseado, y luego uniendo en paralelo varias asociaciones serie de células para alcanzar el nivel de corriente deseado. Además, el panel cuenta con otros elementos a parte de las células solares, que hacen posible la adecuada protección del conjunto frente a los agentes externos; asegurando una rigidez suficiente, posibilitando la sujeción a las estructuras que lo soportan y permitiendo la conexión eléctrica.

### 2.3.3.2. *Inversor*

Es el equipo encargado de transformar la energía recibida del generador fotovoltaico (en forma de corriente continua) y adaptarla a las condiciones requeridas según el tipo de cargas, normalmente en corriente alterna y el posterior suministro a la red. Los inversores vienen caracterizados principalmente por la tensión de entrada, que se debe adaptar al generador, la potencia máxima que puede proporcionar y la eficiencia. Esta última se define como la relación entre la potencia eléctrica que el inversor entrega a la utilización (potencia de salida) y la potencia eléctrica que extrae del generador (potencia de entrada).

Aspectos importantes que habrán de cumplir los inversores:

- Deberán tener una eficiencia alta, pues en caso contrario se habrá de aumentar innecesariamente el número de paneles para alimentar la carga.
- Estar adecuadamente protegidos contra cortocircuitos y sobrecargas.
- Incorporar rearme y desconexión automáticos.
- Admitir demandas instantáneas de potencia mayores del 150% de su potencia máxima.
- Cumplir con los requisitos, que establece el Reglamento de Baja Tensión.
- Baja distorsión armónica.
- Bajo consumo.
- Aislamiento galvánico.
- Sistema de medidas y monitorización.

### 2.3.3.3. *Equipo de medida*

Es el encargado de controlar numéricamente la energía generada y volcada a la red para que con los datos obtenidos se puedan facturar a la Compañía a los precios acordados.

### 2.3.3.4. *Estructura de soporte de placas*

El bastidor es el encargado de sujetar el panel solar, y muchas veces será un kit de montaje para instalarlo adecuadamente. En el caso de que no se suministrara en kit el instalador lo realizará de acuerdo a la normativa existente, además de tener en cuenta la fuerza del viento entre otras cosas. La estructura deberá soportar como mínimo una velocidad del viento de 150 Km/h. Esta estructura es la que fijará la inclinación de los paneles solares.

Hay varios tipos de estructuras: desde un simple poste que soporta 4 paneles solares, hasta grandes estructuras de vigas aptas para aguantar varias decenas de ellos.

Para anclar estos paneles se utiliza hormigón y tornillos de rosca (acero inoxidable), siendo tanto la estructura como los soportes de acero inoxidable, hierro galvanizado o aluminio anodinado, de un espesor de chapa 1mm y han de dejar una altura mínima entre el suelo y el panel de 30cm, y en la montaña o lugares donde llueve mucho, algo mayor, para evitar que sean alcanzados o enterrados por la nieve o el agua. No obstante es recomendable consultar el reglamento electrotécnico de baja tensión M.B.T. 039.

Si se instalan mástiles, se tendrá que arriostrar, y si su base es de hormigón, la reforzaremos con tiras de acero, o introduciendo piezas metálicas en el hormigón cuando éste esté blando, para que quede bien sujeto (éste es el método más empleado). Pero si se montan las placas en postes, se utilizarán flejes de acero inoxidable grapados o unidos con una hebilla del mismo material.

### **2.3.3.5. Caja general de protección**

La caja general de protección es la encargada de salvaguardar toda la instalación eléctrica de un posible cortocircuito o punta de intensidad que afectaría a todos los componentes conectados a la red. Esta caja general de protección podrá llevar tanto protecciones térmicas como fusibles.

### **2.3.3.6. Puesta a tierra**

La puesta a tierra de la instalación es muy importante ya que delimita la tensión que pueda presentarse en un momento dado en las masas metálicas de los componentes, asegurando la actuación de las protecciones y eliminando el riesgo que supone el mal funcionamiento o avería de alguno de los equipos. Las tomas a tierra se establecen principalmente a fin de limitar la tensión que puedan presentar en un momento dado las masas metálicas, asegurar la actuación de las protecciones y eliminar o disminuir el riesgo que supone una avería en los materiales eléctricos utilizados.

### **2.3.3.7. Cableado de interconexión**

Es el encargado de conectar los distintos paneles solares con las cajas de interconexión y con otra instrumentación.

Este cableado de paneles se realizará con materiales de alta calidad para que se asegure la durabilidad y la fiabilidad del sistema a la intemperie. El cableado evidentemente tendrá que cumplir con el reglamento técnico de baja tensión. Las conexiones, cables, equipos y demás elementos tendrán que tener el grado de protección IP.535, concepto que se define en la norma UNE 20-234.

Los cables utilizados tendrán una última capa de protección con un material resistente a la intemperie y la humedad, de tal forma que no le afecten internamente los agentes atmosféricos.

Entre las conexiones eléctricas entre paneles usaremos siempre terminales. Los terminales de los paneles pueden ser bornas en la parte de detrás del panel o estar situados en una caja de terminales a la caja espalda del mismo. En el primer caso se tendrá capuchones de goma para la protección de los terminales contra los agentes atmosféricos. La caja de terminales es una buena solución en el caso de que cumpla con el grado de protección IP.535.

En instalaciones donde se monten paneles en serie y la tensión sea igual o mayor a 24V se instalarán diodos de derivación.

La sección del cable de conexión no debe de ser superior a 6mm. Es necesario también cuidar los sistemas de paso de los cables por muros y techos para evitar la entrada de agua en el interior. Las técnica y tendido para la fijación de los cables han de ser las habituales en una instalación convencional. Los conductores pueden ir bajo tubo al aire, en el primer caso puede ir empotrado o no. La sujeción se efectuará mediante bridas de sujeción, procurando no someter un excesivo dobléz a los radios de curvatura. Los empalmes se realizarán con accesorios a tal efecto, usando cajas de derivación siempre que sea posible.

#### 2.3.4. Acometida eléctrica

Es la parte de la instalación de red de distribución, que alimenta la caja general de protección o unidad funcional equivalente (CGP). Los conductores serán de cobre o aluminio. Esta línea está regulada por la ITC-BT-11.

Atendiendo su trazado, al sistema de instalación y a las características de la red, la acometida será subterránea. Los cables serán aislados, de tensión asignada 0,6/1 KV, y podrán instalarse directamente enterrados o enterrados bajo tubo.

Se remarca que la acometida será parte de la instalación constituida por la Empresa Suministradora, por lo tanto el diseño y trazado se basará en las normas propias y particulares de la misma.

El centro de transformación al que se conectará la instalación es objeto de un proyecto totalmente diferenciado y que se ajustará a las mejores condiciones de servicio propuestas por la Empresa Distribuidora.

#### 2.3.5. Instalación de enlace

##### 2.3.5.1. Caja de protección y medida

Por tratarse de un suministro a un único usuario, se colocará en un único conjunto la caja general de protección y el equipo de medida. El fusible de seguridad situado antes del contador coincidirá con el fusible que incluye una CGP.

Las cajas de protección y medida se instalarán en lugares de libre y permanente acceso. La situación se fijará de común acuerdo entre la propiedad y la empresa suministradora.

Se instalará un nicho de pared, que se cerrará con una puerta metálica, con un grado de protección IH10 según UNE-EN 50.102, revestida exteriormente de acuerdo con las características del entorno y estará protegida contra la corrosión, disponiendo de una cerradura normalizada por la empresa suministradora.

Los dispositivos de lectura de los Equipos se situarán en una altura comprendida entre 0,70 y 1,80 m. Se dejarán previstos los orificios necesarios para alojar los conductos de entrada a la acometida.

Las cajas de protección y medida a utilizar corresponderán a uno de los tipos recogidos en las especificaciones técnicas de la empresa suministradora. Dentro de los mismos se instalarán

cortacircuitos fusibles en los conductores de fase, con poder de corte igual o superior a la corriente de cortocircuito previsto en el punto de instalación.

Las cajas de protección y medida cumplirán todo lo que indica en la Norma UNE-EN 60.349-1, y tendrán un grado de protección IP43 según UNE 20.324 Y IK 09 según UNE-EN 50.102 y serán precintables.

El envolvente deberá disponer de la ventilación interna necesaria que garantice la no formación de condensaciones. El material transparente para la lectura será resistente a la acción de los rayos ultravioleta.

Las disposiciones generales de este tipo de caja quedan recogidas en la ITC-BT-13. El contador será de cuatro cuadrantes y dispondrá de un código de barras que será proporcionado por la compañía eléctrica.

### ***2.3.5.2. Dispositivos generales e individuales de comando y protección***

Los dispositivos generales de mando y protección se situarán lo más cerca posible del punto de entrada de la derivación individual. Se colocará una caja para el interruptor de control de potencia inmediatamente antes de los otros dispositivos, en compartimento independiente y precintable. Esta caja se podrá colocar en el mismo cuadro donde se coloquen los dispositivos generales de comando y protección.

La altura a la que se situarán los dispositivos generales e individuales de comando y protección de los circuitos, medida desde el nivel del suelo, estará comprendida entre 1 y 2 metros.

Los envolventes de los cuadros se ajustarán a las normas UNE 20.451 Y UNE-EN 50493-3, con un grado de protección mínimo de IP 30 según UNE 20.324 y IK07 según UNE-EN 50.102. El envolvente para el interruptor del control de potencia será precintable y sus dimensiones estarán de acuerdo con el tipo de suministro y tarifa a aplicar. Sus características y tipo serán de un modelo aprobado oficialmente.

El instalador fijará de forma permanente sobre el cuadro de distribución una placa, impresa con caracteres indelebles, en la cual conste su nombre o marca comercial, fecha de realización de la instalación, así como la intensidad asignada del interruptor general automático.

Los dispositivos generales e individuales de comando y protección serán, como mínimo:

Un interruptor general automático de corte omnipolar, de intensidad nominal 160 A que permite su accionamiento manual y dotado de elementos de protección contra sobrecarga y cortocircuitos según (ITC-BT-22), tendrá poder de corte suficiente para la intensidad de corto circuito que pueda producirse en cualquier punto de la instalación.

Un relé diferencial general, con transformador toroidal asociado al interruptor general, destinado a la protección contra contactos indirectos de todos los circuitos (según ITC-BT-24). Cumpliendo la siguiente condición:

$$R_a \times I_a < U$$

**R<sub>a</sub>**: suma de las resistencias de la toma de tierra y de los conductores de protección de masas.

**I<sub>a</sub>**: corriente que asegura el funcionamiento del dispositivo de protección (corriente diferencial residual asignada)

**U**: tensión de contacto límite convencional.

**(50V en locales secos y 24V en locales húmedos)**

Todas las masas de los equipos eléctricos protegidos por un mismo dispositivo de protección, han de estar interconectados y unidos por un conductor de protección a una misma toma a tierra.

- Dispositivos de corte omnipolar destinados a la protección contra sobrecargas y corto circuitos de cada uno de los circuitos interiores. (Según ITC-BT-22).
- Dispositivo de protección contra sobre-tensiones, según ITC-BT-23, si fuese necesario.