



¿Qué es la Energía Fotovoltaica?

– Unas notas explicativas –



*Realizado por Roland Schumann, Solvys Consulting, basado en información proporcionada por el ITER
Tenerife, diciembre de 2005*

Nota: Este documento se proporciona a título de información general. Algunos de los datos incluidos en él pueden variar según los avances tecnológicos y las especificaciones de fabricantes de material o de instaladores de sistemas fotovoltaicos.

1. Introducción

Cada segundo, el Sol genera una potencia de 4×10^{23} kilovatios. Para hacernos una idea, en este breve intervalo de tiempo irradia mucha más energía que la consumida por la humanidad desde su creación. Esta energía nos llega a la tierra en forma de radiación solar (tanto directa como difusa).

Los valores de radiación solar no sólo cambian a lo largo del día, sino que también se producen variaciones a lo largo del año debido a la posición del ángulo del sol con el horizonte. Al mediodía, en verano, los valores de radiación pueden llegar a ser del orden de 1000 W/m^2 cuando el sol se encuentra en su cenit. Este nivel de radiación se define como el correspondiente a una masa de aire (AM) igual a 1, donde se ha tenido en cuenta el paso de la radiación solar a través de la atmósfera terrestre. Por el contrario, en condiciones de baja radiación (cielo cubierto), apenas se alcanzan los 100 W/m^2 .

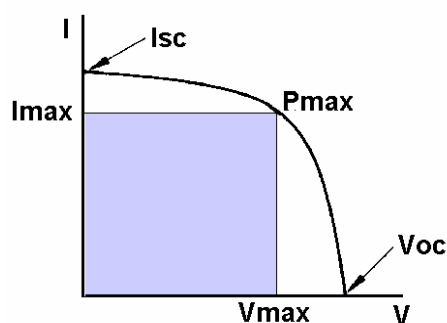
La tecnología fotovoltaica se basa en el fenómeno físico que convierte directamente la radiación solar (electromagnética) en corriente eléctrica, en un dispositivo llamado célula fotovoltaica. Las células modernas están fabricadas con materiales semiconductores, donde la energía que liga los electrones de valencia (electrones de la última capa) con su núcleo (de carga positiva), es similar a la energía de los fotones que constituyen la luz solar. Al incidir ésta sobre el material semiconductor (generalmente silicio), sus fotones suministran la cantidad de energía necesaria a los electrones de valencia como para que se rompan los enlaces y queden libres para circular por el semiconductor, formando así una corriente eléctrica.

Cuando una célula solar se conecta a una carga y es iluminada, se genera una diferencia de potencial a través de la carga y la corriente circulará saliendo de la célula por el terminal positivo y regresando por el negativo. Bajo estas condiciones, la célula funcionará como un generador de energía.

Cada célula de silicio produce aproximadamente $0,5 \text{ V}$ de corriente continua en condiciones buenas de radiación solar. Para producir voltajes mayores, debemos conectar muchas células en serie como en un módulo.

2. Parámetros de una célula fotovoltaica

La curva de Intensidad – Tensión (I - V) define el comportamiento de una célula fotovoltaica; está representada en la figura siguiente.



Corriente de cortocircuito, I_{sc} Constituye la máxima corriente que puede obtenerse de la célula solar. Su valor varía en función de la superficie y de la radiación luminosa a que la célula es expuesta. Normalmente, y para células de 100 mm de diámetro, su valor está próximo a los 2,5 amperios para una radiación de 1000 W/m^2 .

Tensión de circuito abierto, V_{oc} Representa la máxima tensión que puede dar una célula solar. Su valor oscila, según el tipo de construcción interior de la célula. En las células de silicio de tipo medio se sitúa en torno a 0,6 V mientras que en las de arseniuro de galio, en torno a 1 V.

Potencia máxima, P_{MAX} Es la potencia máxima que puede suministrar una célula y se define por el punto de la curva I – V donde el producto de la intensidad producida y la tensión es máximo. Depende de la radiación incidente.

Potencia nominal de pico, W_p Es la proporcionada al recibir el panel una irradiación de 1000 W/m^2 cuando la temperatura de las células es de $25 \text{ }^\circ\text{C}$, y el espectro de luz corresponde a una masa de aire de 1,5. El nombre de “pico” hace referencia a que, en las medidas reales, una intensidad de 1000 W/m^2 constituye un pico máximo. Como es de esperar, la mayor parte del tiempo la intensidad radiante recibida por el panel es inferior a los 1000 W/m^2 . Por lo tanto, la potencia real producida será también inferior a la potencia nominal pico.

Factor de forma, FF Se define mediante la siguiente expresión:

$$FF = \frac{P_{MÁX}}{I_{sc}V_{oc}} = \frac{I_{MÁX}V_{MÁX}}{I_{sc}V_{oc}}$$

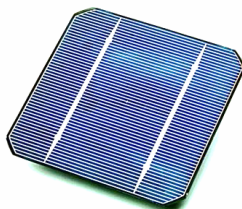
El Factor de Forma resulta ser un parámetro de gran utilidad práctica, ya que nos da una idea de la calidad de la célula. En la práctica el FF siempre tiene un valor más pequeño que la unidad, y la célula solar será tanto mejor cuanto más se aproxime el valor del FF a dicha cifra, ya que más se aproximará la potencia máxima a la potencia ideal. Normalmente en las células comerciales el factor de forma está comprendido entre el 0,7 y el 0,8, teniendo las de silicio monocristalino, por regla general, mejor valor que las fabricadas con silicio policristalino.

Eficiencia, η Viene expresado en porcentaje y define el funcionamiento o rendimiento de la célula solar. Representa la relación entre la potencia que obtenemos de la célula y la potencia de la luz que incide sobre ella.

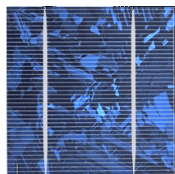
Eficiencia, η Viene expresado en porcentaje y define el funcionamiento o rendimiento de la célula solar. Representa la relación entre la potencia que obtenemos de la célula y la potencia de la luz que incide sobre ella.

3. Tipos de células fotovoltaicas

Las células fotovoltaicas más usadas en la actualidad son las de silicio **monocristalino**. Se obtiene de silicio puro el cual se funde en un crisol con una pequeña proporción de boro hasta formar una masa a 1400°C. En este tipo de materiales todos los átomos están perfectamente ordenados. El color que presentan es muy monocromático: azul, oscuro y con un cierto brillo metálico. El rendimiento en laboratorio de estas células está entre un 14 – 23% bajo iluminación directa. En módulos comerciales está entre un 15 – 18%.



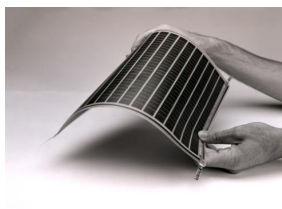
También muy conocidas y comercializadas son las células de silicio **policristalinas**, ya que la solidificación no se hace en un solo cristal sino en múltiples. El rendimiento de este tipo de células se sitúa en torno al 20 % en laboratorio y alcanza el 16 % en módulos comerciales. La mayoría de los fabricantes ofrecen módulos basados en esta tecnología. Tienen el aspecto de una amalgama de cristales de distintos tonos azules y grises con brillo metálico.



En los últimos años se han desarrollado nuevos materiales alternativos al silicio con la finalidad de llevar la energía fotovoltaica a ocupar un puesto competitivo con otras fuentes de energía y así poder penetrar definitivamente en el mercado energético.

El desarrollo de los materiales policristalinos de **capa delgada** está dirigido a reducir los costes de producción. Se busca encontrar nuevos materiales que no sólo puedan absorber la luz en capas muy finas, sino que además puedan ser depositados sobre sustratos baratos y que sean asequibles como, por ejemplo, plástico o vidrio, mediante métodos baratos y sencillos. Se caracteriza por ser 50 veces más fino que una célula de silicio monocristalino.

La tecnología de capa delgada más utilizada hoy en día es la del silicio amorfo. Hoy en día, constituye más del 15% de la producción mundial. Actualmente, las células con mejores eficiencias (estables) se acercan al 13%. El silicio amorfo es más económico que el cristalino, aunque presenta una más rápida degeneración con el paso del tiempo. En cuanto a su aspecto, es de tonos color marrón y gris oscuro, y es el silicio típico de las calculadoras y otros pequeños objetos con funciones muy diversas.



4. Los paneles (o módulos) fotovoltaicos

La tensión y potencia suministrada por una sola célula fotovoltaica no es suficiente y es preciso conectar convenientemente varias células iguales de tal forma que reúnan las condiciones de tensión y corriente óptimas para su integración en sistemas de generación de energía. Al conjunto así formado, el cual será compatible con las necesidades y equipos estándares existentes en el mercado, se le llama *panel (o módulo) solar fotovoltaico*. Forma la base de todas las instalaciones fotovoltaicas.

Normalmente se habla de paneles de 6, 12y 24 voltios, si bien es cierto que su tensión está por encima de la mencionada, oscilando las potencias producidas entre los 2,5 y los 180 W. Habitualmente, se necesitan del orden de 30 ó 40 células, según sus características y especificaciones, para obtener un panel de unos 12 voltios nominales, y la superficie de un módulo puede variar entre 0,1 y 0,5 m² (aunque en el mercado se encuentran módulos con mayor superficie). El grueso total, sin incluir el marco protector, no suele superar los 3 cm. Y el peso suele oscilar entre los 5 y 20 kg de peso.



Por otra parte, existen módulos flexibles para facilitar su integración en edificios e incluso se han desarrollado sistemas que permiten la venta de silicio por metros lineales en función de la potencia que se quiera instalar, aunque hoy en día son aún poco habituales.

Una instalación fotovoltaica suele componerse de una serie de paneles fotovoltaicos:



5. Componentes de una instalación fotovoltaica

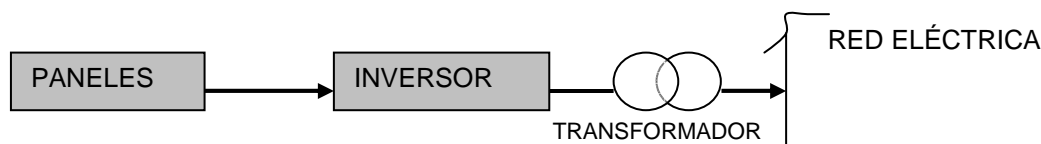
La base de toda instalación fotovoltaica es el panel/ módulo fotovoltaico. Este produce electricidad de corriente continua. A partir de ahí, una instalación puede disponer de diferentes componentes, en función de las finalidades que se persigan.

Generalmente, las instalaciones fotovoltaicas se dividen en tres grandes grupos: autónomas, híbridas/ mixtas y las conectadas a la red eléctrica (ver ejemplos de aplicación en el capítulo 6).

Las primeras se utilizan para el abastecimiento de electricidad en sitios aislados y que requieren consumos no muy altos. Estos sistemas suelen contar con baterías de acumulación de la electricidad. Farolas de alumbrado público en zonas rurales, balizas de señalización en alta mar y las estaciones meteorológicas son algunos ejemplos de aplicación.

Los sistemas híbridos o mixtos se caracterizan porque incluyen, además de los paneles fotovoltaicos, una o varias fuentes auxiliares de potencia. Puede ser un generador auxiliar, gasolina o diesel, o un generador eólico. Normalmente estos sistemas incluyen baterías de menor tamaño que la de los sistemas fotovoltaicos puros. Su fiabilidad, al no depender de una sola fuente energética, suele ser mayor. Como único inconveniente cabe señalar la mayor complejidad en el sistema de regulación y control de los mismos, así como en el mantenimiento.

Los sistemas conectados a red son los que más aplicación comercial están teniendo en estos momentos (en el 2004, un 74% de la capacidad mundial instalada correspondía a sistemas conectados a red). Su característica principal es que la totalidad de la electricidad producida se vierte a la red eléctrica para un consumo en otro lugar. El productor recibe una compensación financiera por la energía suministrada a la red. Estos sistemas se componen, además de los paneles fotovoltaicos, de inversores que transforman la corriente continua producida por las células en corriente alterna (usada en la red eléctrica). Las grandes instalaciones suelen, además, disponer de sistemas de transformación de baja tensión a media tensión.



Algunas grandes instalaciones fotovoltaicas conectadas a red disponen de un sistema de seguimiento solar. En ellos los paneles fotovoltaicos se montan en un dispositivo electro-mecánico que orienta el panel hacia el sol a lo largo del día. De esta forma se aprovecha toda la superficie del panel. Se diferencian los sistemas de seguimiento a 1 eje y a 2 ejes. Un sistema de 1 eje sigue el sol durante el día, pero no compensa la diferente inclinación que tiene el sol en las estaciones del año.

Los sistemas de seguimiento generan más electricidad por capacidad instalada (entre un 20 y 40% más comparado con una instalación fija), aunque son más costosos en su inversión inicial y su mantenimiento anual. Además, emplean una mayor superficie específica (por potencia instalada) que las instalaciones fijas

6. Ejemplos de aplicación

Sistemas autónomos

Sistema de bombeo



Alumbrado



Sistemas híbridos

Sistema eólico-fotovoltaico



Sistemas conectados a red

Integración en edificios y otras infraestructuras urbanas



“Huertas solares”



7. Normativa vigente

- ◆ Real Decreto 1663/2000, de 29 de septiembre, del Ministerio de Economía, sobre conexión de instalaciones fotovoltaicas a la red de baja tensión.
- ◆ Resolución de 31 de mayo de 2001 por la que se establecen el modelo de contrato tipo y modelo de facturas para instalaciones solares fotovoltaicas conectadas a red de baja tensión.
- ◆ Real Decreto 436/2004, de 12 de marzo, por el que reestablece la metodología para la actualización y sistemización del régimen jurídico y económico de la actividad de producción de energía eléctrica en régimen especial.

Potencia	Tarifa	Prima	Incentivo
≤ 100 kW	≤ 25 años 575% TMR > 25 años 460% TMR	-	-
> 100 kW	≤ 25 años 300% TMR > 25 años 240% TMR	≤ 25 años 250% > 25 años 200%	10%

Donde TMR es la Tarifa Media de Referencia, que establece el gobierno por Real Decreto una vez al año. La TMR vigente es de 7,3304 c€/kWh (RD 2392/2004, aprobado el 30 de diciembre de 2004)

- ◆ Corrección de errores del RD 436/2004, de 12 de marzo, por el que se establece la metodología para la actualización y sistemización del régimen jurídico y económico de la actividad de producción de energía eléctrica en régimen especial.
- ◆ Reglamento Electrotécnico para Baja Tensión (REBT), aprobado por el RD 842/2002, de 2 de agosto, del Ministerio de Ciencia y Tecnología.
- ◆ Instrucciones Técnicas Complementarias al Reglamento Electrotécnico para Baja Tensión ITC-BT-01 a ITC-BT-51, aprobadas por el RD 842/2002, de 2 de agosto, del Ministerio de Ciencia y Tecnología. Especialmente ITC-BT-40.

8. Organismos e instituciones en España

ASENSA

Asociación Española de Empresas de Energía Solar y Alternativas
Deu I Mata, 117, 3º 1ª
08029 Barcelona
Tfno: +34 933 219 163
Fax: +34 934 197 241
Email: asensa@retemail.es

CENSOLAR

Centro de Estudios de la Energía Solar
Comercio, 12
41927 Mairena del Aljarafe, Sevilla
Tfno: +34 954 186 200
Fax: +34 954 186 111
Email: central@censolar.org

ASIF

Asociación Española de la Industria Fotovoltaica
Av. Doctor Arce, 14
28002 Madrid
Tfno. +34 914 110 162
Fax: +34 915 612 987
Email: asif@retemail.es

CIEMAT

Centro de Investigaciones Energéticas, Medioambientales y Tecnológicas
Av. Complutense, 22
28040 Madrid
Tfno: +34 913 466 000
Fax: +34 913 466 000
Email: sisifo@ciemat.es

EUROSOLAR-Spain

Dr. Josep Puig
PO Box 10095
08080 Barcelona
Tfno: +34 93 3193586
Fax: +34 93 3193586
Email: eurosolar@energiasostenible.org

ITER

Instituto Tecnológico y de Energías Renovables
Pol. Ind de Granadilla
38611 S/C de Tenerife
Tfno: +34 922 391 000
Fax: +34 922 391 001
Email: iter@iter.rcanaria.es

GREENPEACE

San Bernardo, 107
28015 Madrid
Tfno: +34 914 441 400
Fax: +34 914 471 371
Email: energia@greenpeace.es

MCYT

Ministerio de Ciencia y Tecnología
Paseo de la Castellana, 160
28071 Madrid
Tfno: +34 913 494 976
Fax: +34 914 578 066
Email: info@mcyt.es

IDAE

Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía
Paseo de la Castellana, 95 planta 21
28046 Madrid
Tfno: +34 915 568 415
Fax: +34 915 551 389

SEBA

Asociación para la Electrificación Rural con Energías Renovables
Ripollés, 46
08026 Barcelona
Tfno: +34 345 504 091
Fax: +34 345 669 948
Email: tta@mx3.redesfb.es

IES

Instituto de Energía Solar
Ciudad Universitaria, s/n
28040 Madrid
Tfno: +34 913 367 229
Fax: +34 915 446 341
Email: info@ies-def.upm.es

ITC

Instituto Tecnológico de Canarias
Playa de Pozo Izquierdo, s/n
35119 Santa Lucía (Las Palmas)
Tel.: (34) 928 72 75 00
Fax: (34) 928 72 75 17
Email: itc@itccanarias.org