

Jornada  sobre Tecnologías y
Sistemas en Energías Renovables y
Eficiencia Energética en Iluminación

ENERGÍA FOTOVOLTAICA

Organizador:

Cámara de Comercio de Zaragoza



 International Master Technology

Jose Antonio Espallardo
Director Técnico 

Cámara de Comercio
de Zaragoza

5 de Junio de 2.008

Energía Fotovoltaica

- 1. Como se produce**
- 2. Módulos o Paneles Fotovoltaicos**
- 3. Sistemas Fotovoltaicos conectados a la red eléctrica**
- 4. Aplicaciones, costes y rendimientos**

Energía Fotovoltaica

- 1. Como se produce**
2. Módulos o Paneles Fotovoltaicos
3. Sistemas Fotovoltaicos conectados a la red eléctrica
4. Aplicaciones, costes y rendimientos

Energía Fotovoltaica

Consiste en la captación de la energía radiante procedente del sol, equivalente a $3,8 \times 10^{20}$ MW,

Es emitida por su superficie a la temperatura de 13 millones de grados (producida por las fusiones de átomos de Hidrógeno para formar Helio)

Se transmite por el espacio en forma de fotones de luz. Estos fotones atraviesan la atmósfera terrestre perdiendo parte de su energía por los impactos con la misma. Esta pérdida de energía será función de la distancia que recorre (latitud y altitud del sol) y del tipo de atmósfera que atraviesen (clara o nublada) hasta alcanzar la superficie de la Tierra.

Energía Fotovoltaica

Cuando fotones de un determinado rango de energía chocan con átomos de ciertos materiales semiconductores (el Silicio es el mas representativo) les ceden su energía produciendo un desplazamiento de electrones que es en definitiva una corriente eléctrica.

Estos fotones se caracterizan por su energía y su longitud de onda (que forman lo que se llama espectro solar). Solo una parte de este espectro (que depende del material semiconductor) es aprovechada para el desplazamiento de los electrones.

En la F.3 se muestra la curva del espectro solar en ciertas condiciones atmosféricas (AM 1.5), en ella se observa que solo el 49,6% de la energía de los fotones puede ser aprovechable en energía fotovoltaica, por tanto este sería el limite del rendimiento teórico de una célula fotoeléctrica.

Energía Fotovoltaica

En la F.1 se muestra la curva característica de la energía de los fotones expresada en la fórmula de Plank

$$E=h.f=h.c/l$$

El rectángulo sombreado indica la energía disponible para módulos de silicio cristalino.

Cuanto mayor sea el área de este rectángulo mayor será la energía disponible. En la F.2 se indican las bandas de energía (eV) y las máximas longitudes de onda (l) de los materiales fotovoltaicos mas desarrollados industrialmente. En ella se ven las diferentes bandas de energía en “eV” y longitudes de onda en “micras” en las que se pueden obtener energía fotovoltaica para cada uno de los materiales indicados.

Energía Fotovoltaica

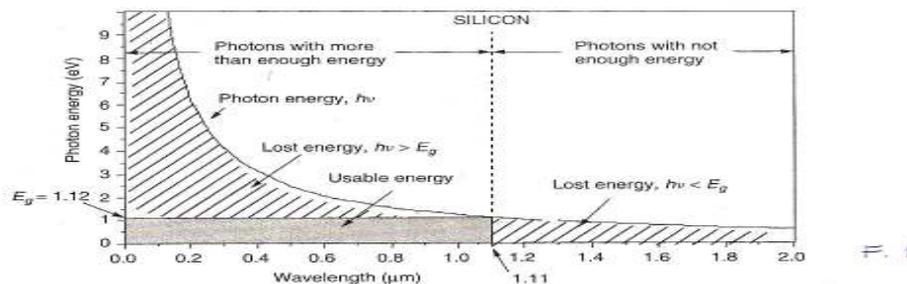
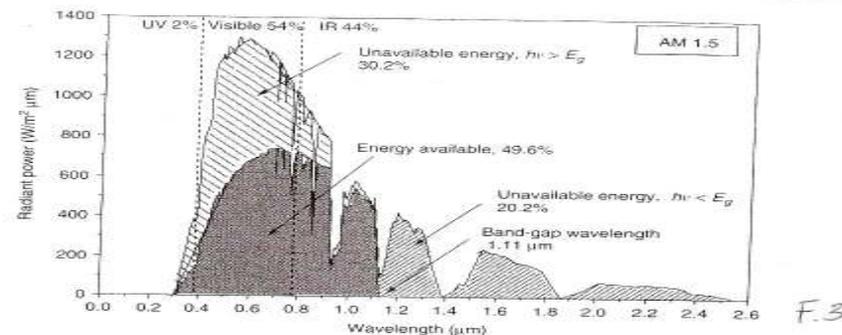
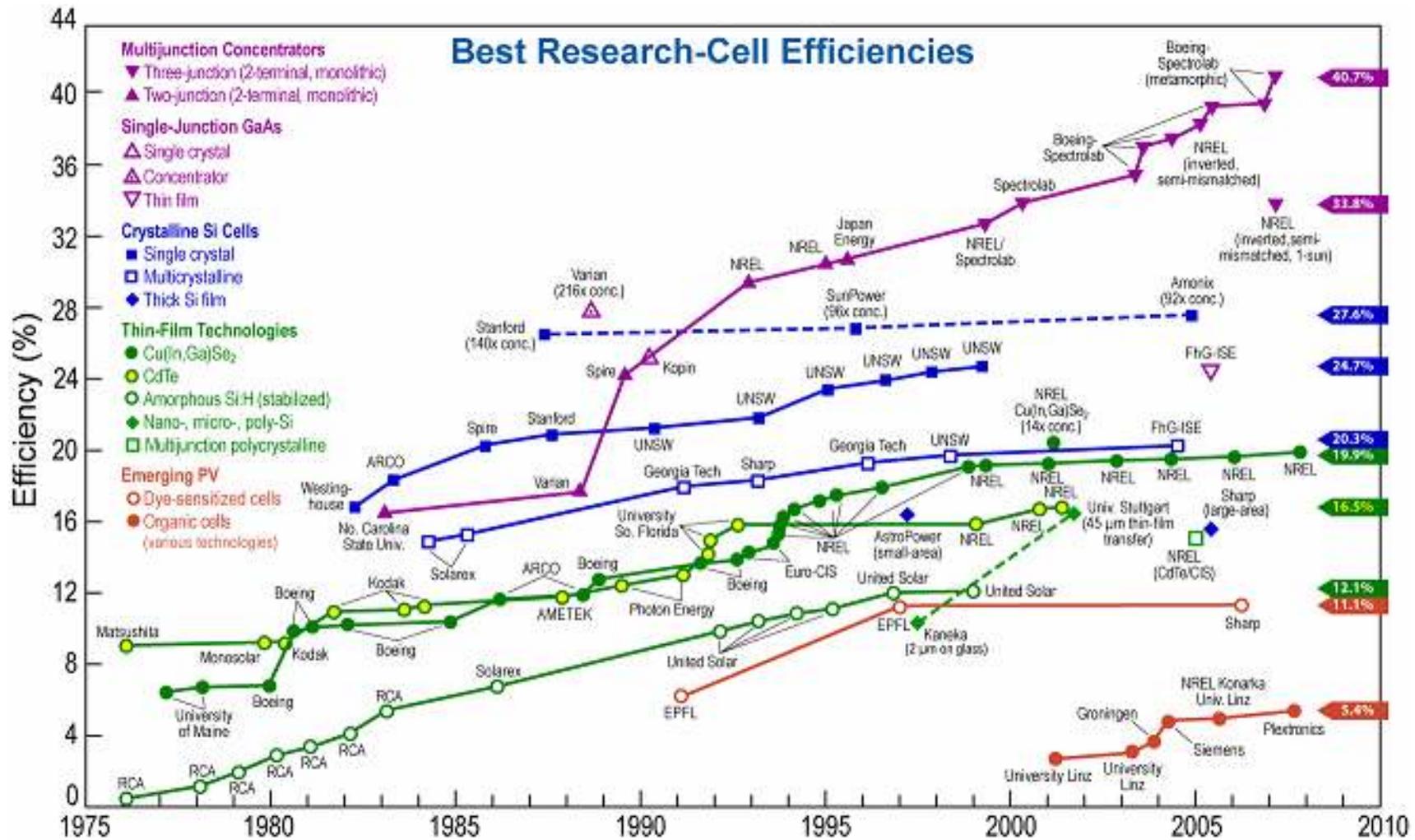


TABLE — Band Gap and Cut-off Wavelength Above Which Electron Excitation Doesn't Occur

Quantity	Si	GaAs	CdTe	InP
Band gap (eV)	1.12	1.42	1.5	1.35
Cut-off wavelength (μm)	1.11	0.87	0.83	0.92



Energía Fotovoltaica



Energía Fotovoltaica

Los materiales semiconductores, para su utilización en celdas fotovoltaicas, han de ser producidos en purezas muy altas, normalmente con estructura cristalina.

Estos cristales se cortan en rebanadas muy finas (del orden de micras) y se dopan unas con elementos químicos para producir huecos atómicos, lado “p”, (en el caso del Si con Boro) y otras con otros elementos para producir electrones móviles, lado “n”, (con Fósforo también en el caso del Si).

La unión de una rebanada “n” con una rebanada “p” (ambas son transparentes y por tanto dejan pasar los fotones) cada una con un conductor eléctrico metálico, forman así una célula fotoeléctrica, la cual bajo la incidencia de fotones, crea una corriente de electrones- corriente eléctrica continua- a través del circuito eléctrico al que estén conectados los dos conductores de la celda.

Energía Fotovoltaica

De esta forma, los electrones llegan a rellenar los huecos para iniciar de nuevo el proceso despues de producir la energía necesaria para vencer las cargas conectadas al circuito.

Cuando conectamos eléctricamente varias células entre si formamos módulos fotovoltaicos, los cuales suelen estar soportados por una estructura metálica que les da la inclinación mas adecuada para recibir la máxima irradiación solar.

Estos módulos se fabrican con unas determinadas características eléctricas de voltaje e intensidad, que dependen de cómo se conecten las celdas (en serie o en paralelo) como veremos en la siguiente diapositiva

Energía Fotovoltaica

1. Como se produce
- 2. Módulos o Paneles Fotovoltaicos**
3. Sistemas Fotovoltaicos conectados a la red eléctrica
4. Aplicaciones, costes y rendimientos

MÓDULOS FOTOVOLTAICOS

En la F.4 se aprecia la conexión de celdas para formar módulos y la conexión de módulos para formar “arrays”.

En la F.5 se ve la gráfica de la conexión de células en serie (aumenta el voltaje)

En la F.6 se ve la conexión de modulos también en serie (aumenta el voltaje)

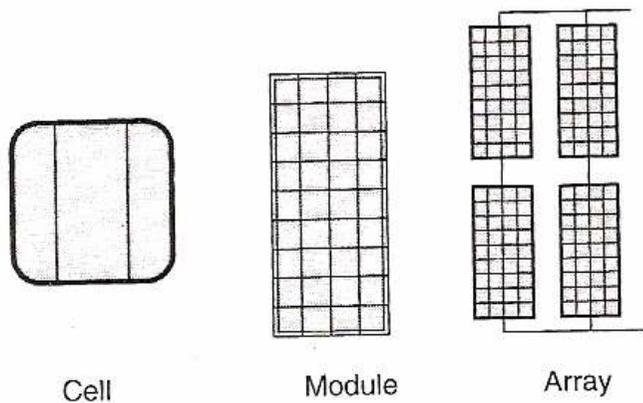


Fig.4

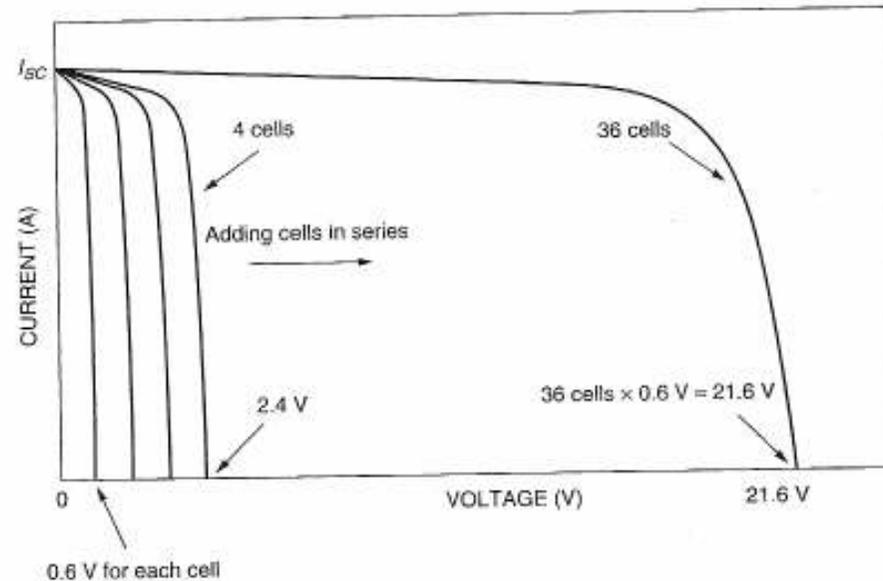


Fig.5

MÓDULOS FOTOVOLTAICOS

En la F.7 se muestra la gráfica de unió de módulos en paralelo (aumenta la intensidad)
En la F.8 se muestra la unión mixta, serie y paralelo, para aumentar voltaje e intensidad

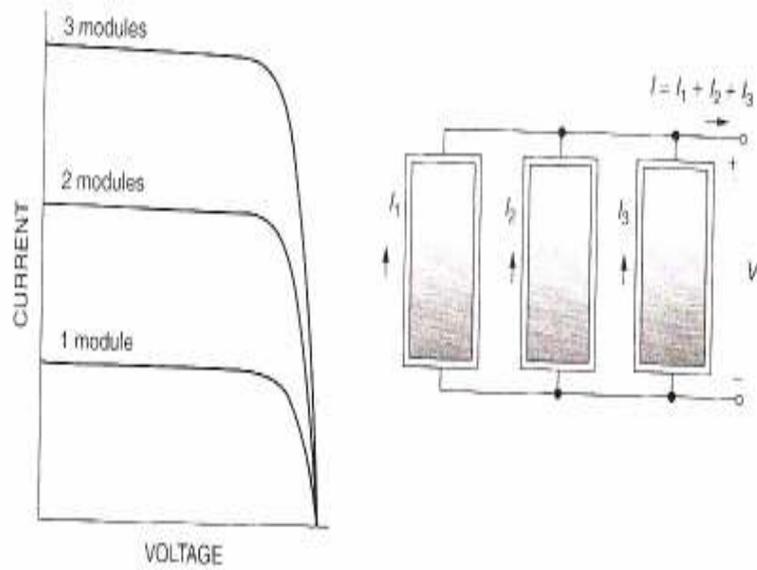


Fig.7

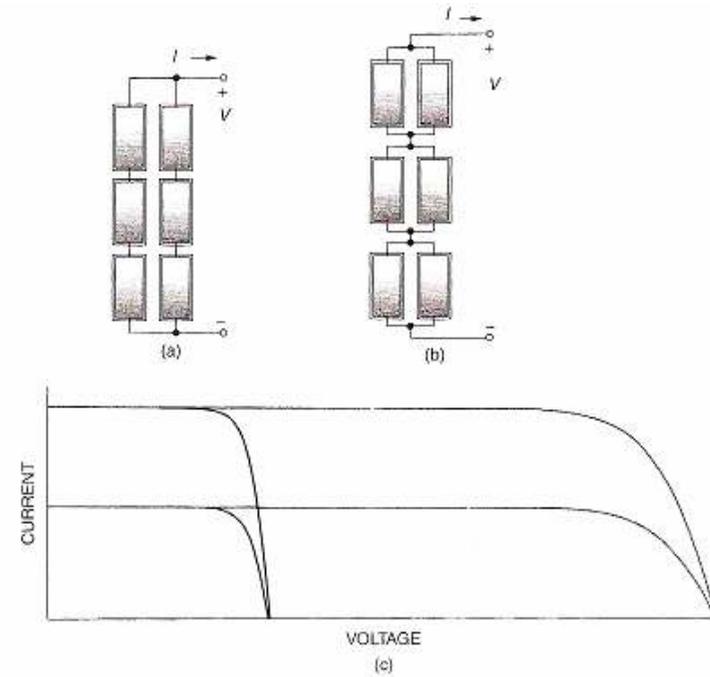


Fig.8

En la F.9 se muestra la curva característica (V, I) de la unión de varios “arrays” y superpuesta a ella la de Potencia (V, P), observándose el punto de máxima potencia (MPP) que es de gran importancia . En la F.10 se muestran potencias en distintos puntos de operación de una instalación fotovoltaica.

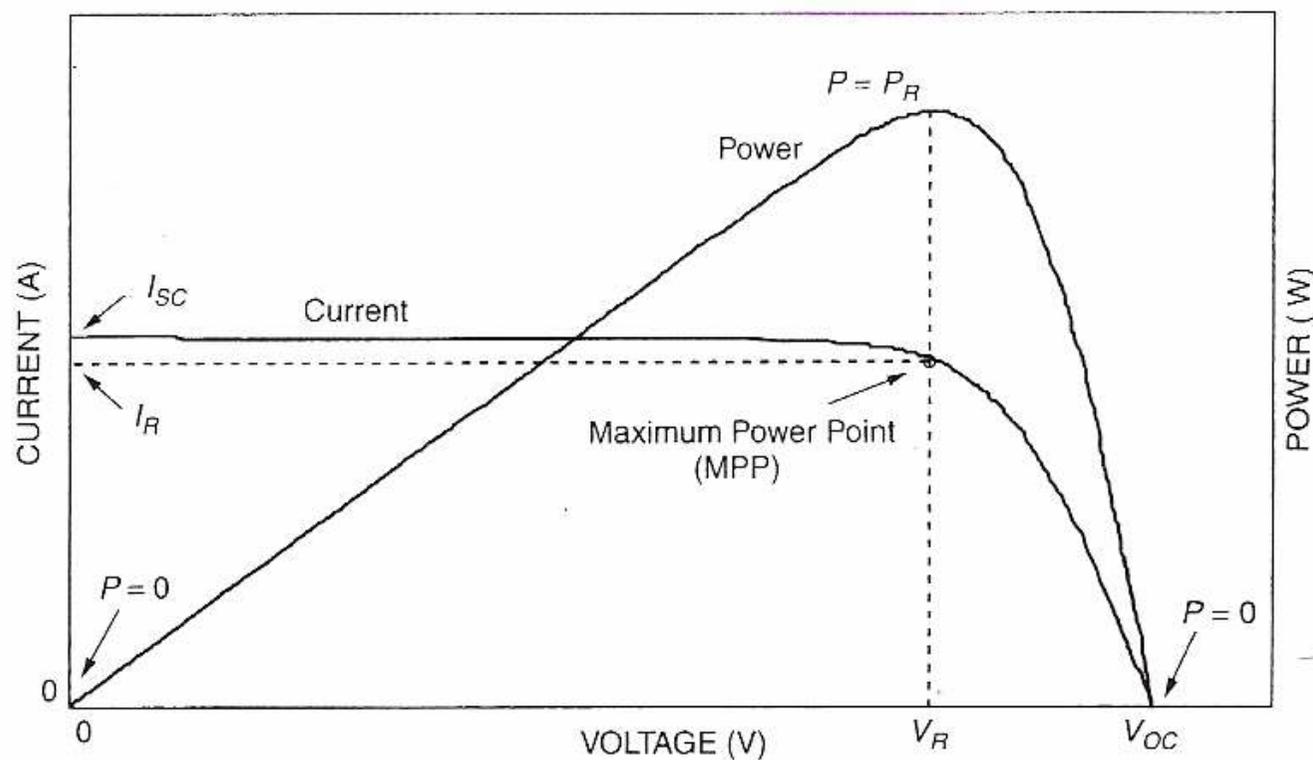
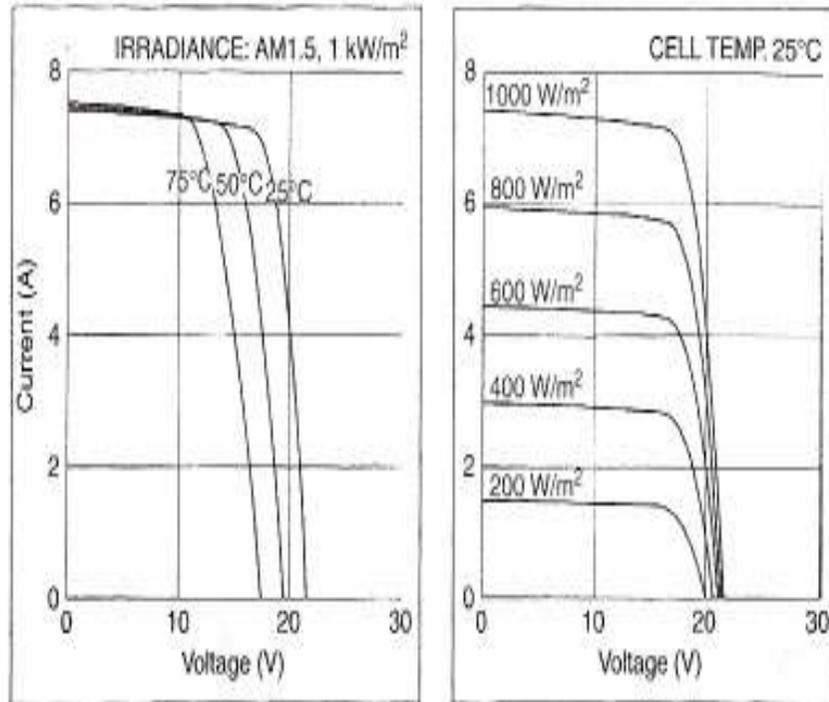


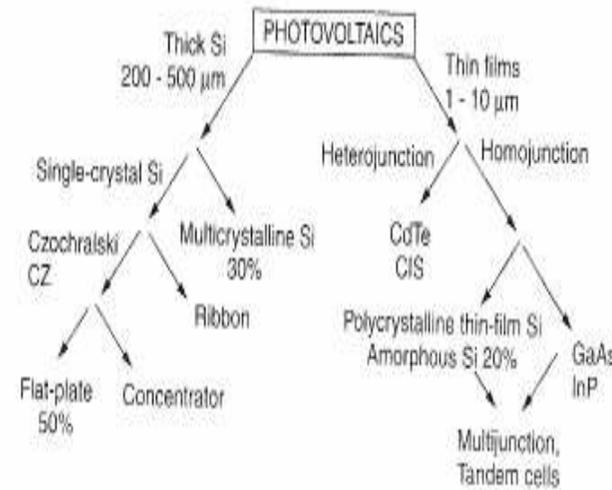
Fig.9

MÓDULOS FOTOVOLTAICOS

Cuanto mas energía transporten los fotones, es decir cuanto mayor irradiación solar tengamos, mayor energía eléctrica producirán los módulos. Sin embargo hay un factor que influye negativamente en la producción de energía fotovoltaica que es la temperatura de las celdas. Cuanto mayor sea esta menor será su rendimiento. La F11 izquierda presenta la variación de las curvas de módulos de Si para distintas temperaturas. La misma figura en la derecha presenta la variación de estas curvas de a distintos niveles de irradiación.



F. 11



F. 12

La F.12 muestra los tipos de módulos fotovoltaicos existentes actualmente.

Los más usuales son los monocristalinos de Si, pero su elevado coste de producción está dando paso a los multicristalinos de Si, sobre todo los formados por películas delgadas (thin-films) y los de Silicio amorfo, de menores costes de fabricación.

Como hemos visto en la F.1, una banda de energía que esté entre 1,2 y 1,8 eV resultará en la mayor potencia y rendimiento de los módulos, puesto que captarán mayor número de fotones capaces de producir pares de huecos y electrones libres.

Una forma de ampliar la capacidad de captación de fotones con energía suficiente para la creación de pares hueco-electrón, es hacer células superponiendo varias capas de uniones p-n, cada una con distinta banda de energía, de forma que la primera capa capte los fotones más energéticos y captando la capa siguiente los de energía intermedia y así sucesivamente hasta normalmente tres capas (son los módulos "multijunction").

Entre estas bandas de energía se mueven los materiales fotovoltaicos comerciales y los que están investigación con el objetivo de incrementar los actuales rendimientos de paneles y abaratar los procesos de fabricación.

Los rendimientos de los paneles comerciales en unas determinadas condiciones de prueba se mueven entre el 12 y el 18%, si bien están en experimentación paneles de rendimientos superiores al 30%.

Es importante destacar la mejora en los procesos de fabricación de células solares cuya tendencia es hacia películas delgadas con capas menores de una micra con lo que se abarata su producción e incrementan sus rendimientos.

Energía Fotovoltaica

1. Como se produce
2. Módulos o Paneles Fotovoltaicos
- 3. Sistemas Fotovoltaicos conectados a la red eléctrica**
4. Aplicaciones, costes y rendimientos

Nos centraremos ahora en los sistemas fotovoltaicos conectados a la red, y por tanto de potencias de 100kW en adelante. Estos sistemas están teniendo un gran desarrollo en Europa gracias a los apoyos de los gobiernos en forma de primas aplicadas al precio de venta a los Distribuidores de la energía producida.

En la diapositiva siguiente se ve un sistema de este tipo cuyos componentes principales son:

- **los módulos fotovoltaicos**
- **los inversores**, que convierten la corriente continua proveniente de los módulos en corriente alterna de calidad
- **los transformadores**, que elevan el voltaje de la corriente alterna proveniente de los inversores al adecuado para su conexión a subestación de distribución,
- **las protecciones y aparellaje** eléctrico necesario para conseguir en la instalación la seguridad a las personas que la normativa requiere y el correcto funcionamiento para entregar esta energía con la calidad requerida por la red de distribución o transporte.

El rendimiento de la instalación dependerá de los rendimientos de cada uno de sus componentes así como de su correcto acoplamiento eléctrico.

Los **Inversores** representan el cerebro del sistema ya que disponen de un subsistema llamado **MPPT** (seguimiento del punto de máxima potencia de los módulos) que hace funcionar al sistema en este punto para cada irradiación (F.10).

Su curva de rendimiento es parecida a la indicada en la F.10, si bien algunos inversores, como los de **SATCON** la mejoran considerablemente.

También es frecuente que los inversores lleven incorporado el **sistema de monitorización**, que mediante sensores, un sistema de acondicionamiento de señal y un sistema de comunicaciones, permiten estar informados de forma continua del voltaje e intensidad de la c.c. de los paneles, del voltaje, intensidad y frecuencia de la corriente alterna, de la temperatura de las células, del comportamiento de la instalación, de las incidencias cuando sucedan, del rendimiento, de la energía entregada y de los parámetros del tiempo atmosférico.

En la F.14 se muestra una hoja de características con un esquema unifilar de un Inversor de SATCON de 500kW homologado para Europa.



POWERGATE[™] 500E

500 kW Transformerless PV Inverters for Europe

SatCon's 500E transformerless PowerGate[™] inverters offer market-leading reliability, efficiency and ease-of-use. A single-enclosure solution, these utility-grade PowerGate[™] inverters have a higher DC voltage range of 430 to 850 Vdc and are supplied in a transformerless configuration for high-efficiency integration with medium voltage isolation transformers. It is also supplied with both AC and DC switchgear that disconnect the inverter at night for minimizing tare losses. A highly efficient MPPT tracking algorithm and intelligent wake-up routine further maximize net energy harvest. The PowerGate[™] 500E is compliant with applicable European standards and is available with a variety of local and remote data monitoring options.

Utility-Grade Design

High voltage 430-850 Vdc input • 20-year design life • Reverse convection top-air entry • Sloped roof • Film-type capacitors • 5-year standard warranty

Easy Installation and Use

Single enclosure minimizes field wiring • Optional integrated sub-array combiner • Internal AC and DC switchgear • Top and bottom cable entry • Provision for forklift/sling lift

Superior Energy Harvesting

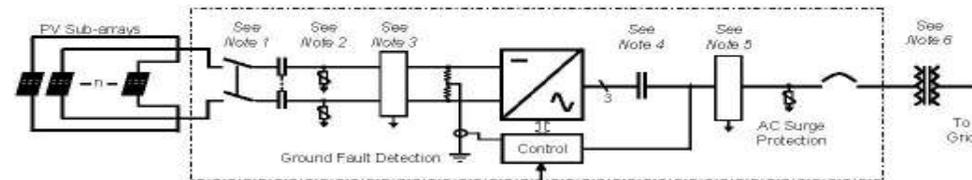
Industry leading efficiency • High-speed MPPT • Wide input voltage range

Remote and Local Data Monitoring

4-line alphanumeric LCD display • Optional *PV View* web enabled data monitoring • Optional *PV Zone* sub-array performance monitoring • RS485 Modbus

Safety

Integrated DC contactor for array isolation • Complies with applicable European standards



Notes:

1. Load-break disconnect switch and fuses
2. DC Surge Protection
3. Optional DC Electro-Magnetic Interference filter
4. Integrated AC contactor opens at night, and minimizes standby losses
5. Pre-charge circuit minimizes in-rush current and nuisance trips
6. External low or medium voltage transformer

Data Monitoring Options:

- Direct RS 485 Modbus
- PV-View web monitoring
- Revenue grade kWh metering
- Meteorological
- Consult SatCon for details

Specifications – Model Specific

Power (kWec)	500E Transformerless
Model #	AE-500-50-PV-X-S-G-HV
AC Output Voltage (L-L Vac)	265
Nom Current/Phase (Amps)	1089
Max Over Current/Phase (Amps)	1306
Weighted Efficiency (%)	>96 (estimated)
Nominal DC Current (Amps)	1224
Optional PV Sub- Array Combiner (# of fused strings)	30
Max. Weight (kg) [lbs]	2455 [5400]

Specifications – All Models

Nominal MPP DC range (Vdc)	430-850
Max MPPT Range (Vdc)	430-850
Max Voc (Vdc)	900
Nom. Frequency Range (Hz)	49.5-50.5
AC Voltage Range Setpoints (%)	+/- 10
Power Factor	> 0.99
Harmonic Distortion (% THD)	<3
Peak Efficiency (%)	95-97
Cooling	Fan Forced
Noise level (dBA)	<65
Ambient Temp. range (degC)	-20 to 50
Max amb. temp. at Pnom (degC)	50
Enclosure rating	IP44, Electronics IP54
Enclosure Construction	11 gauge Powder Coated Steel - Seismic Zone 4

Relative humidity(%)	15-95 non- condensing
Altitude (m) [ft]	1830 [6000]
Display	LCD 4 Line x 20
Computer interface / type	RS232, RS485
Communication Protocol	Modbus
Standard Warranty	5 Year
Certification	Pending
Compliances	CE, VDE, RD1663,

Optional Features

PV View® Remote Monitoring
PV Zone® Sub-Array Monitoring
Environmental monitoring
External revenue grade meter

HxWxD (mm)	2363x3454x1043
Gland Plates	
DC (mm)	457x762
AC (mm)	457x305

All specifications and drawings subject to change without notice.



30kW

500kW

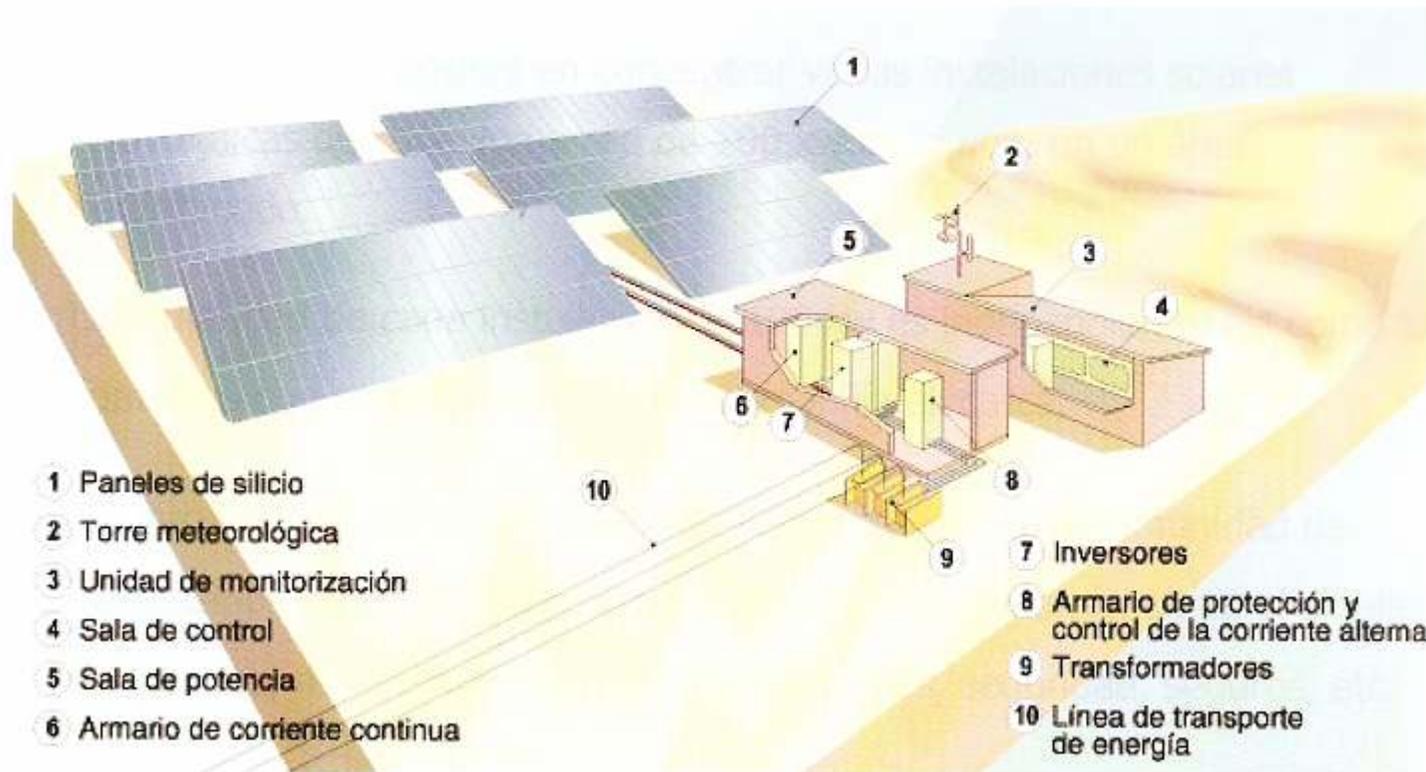
Productos Standard 30 a 500 kW
Productos especiales más de 1,000 kW
Crecimiento anual más del 100%

Energía Fotovoltaica

1. Como se produce
2. Módulos o Paneles Fotovoltaicos
3. Sistemas Fotovoltaicos conectados a la red eléctrica
4. **Aplicaciones, costes y rendimientos**

Aplicaciones, Costes y Rendimiento

¿Qué es un parque solar?
Instalación fotovoltaica conectada a red



Aplicaciones, Costes y Rendimiento

Las instalaciones fotovoltaicas conectadas a la red eléctrica se suelen hacer en configuraciones de módulos en huertos solares realizadas sobre suelos rústicos o en configuraciones sobre cubiertas de grandes naves industriales.

En las primeras los paneles solares se pueden montar sobre estructuras de soporte fijas, normalmente orientadas al sur con un ángulo de inclinación de la placa con respecto al plano de la superficie terrestre de $L-15^\circ$, siendo L la latitud del emplazamiento.

Con el objeto de captar mayor irradiación solar durante las distintas horas del día, y así aumentar el rendimiento de los paneles, estos se suelen montar sobre estructuras giratorias que disponen de unos sensores y un sistema de control aplicados a unos motores eléctricos acoplados a un mecanismo de giro en unos casos sobre un eje y en otros sobre dos ejes, producen un seguimiento de la trayectoria aparente del sol.

Los seguidores de un eje hacen el seguimiento del ángulo de azimut y los de dos ejes dos ejes lo hacen de los ángulos de azimut y altitud .

Aplicaciones, Costes y Rendimiento (Cont.)

Los costes son mas altos conforme la estructura es mas complicada, así como sus gastos de montaje y mantenimiento, si bien sus rendimientos y por tanto la producción de energía, se incrementan entre un 20 a un 30% (dependiendo del tipo de mecanismo y del emplazamiento) en el caso de un eje, y del orden del 30 al 40% en el caso de dos ejes (al igual dependiendo del mecanismo y del emplazamiento).

Las instalaciones sobre cubiertas de grandes naves se suelen hacer con paneles muy delgados (thin-film) de poco peso, de forma que no se imponga una carga significativa a la misma. Son de fácil montaje, se suelen montar directamente en las superficies horizontales de las cubiertas, pero se pueden instalar en cualquier ángulo e incluso en superficies verticales como se verá en las diapositivas posteriores facilitadas por la Compañía **UNISOLAR**.

El coste de una instalación fotovoltaica está entre 5.000 y 6.000 euros/ kW pico instalado. Su variación depende del tipo de módulos, su montaje en estructuras fijas o con seguimiento en uno o dos ejes, la distancia a la subestación eléctrica, el tipo de componentes eléctricos y el terreno. En general estos costes han experimentado una reducción mayor del 25% en los últimos 5 años y se esperan reducciones mayores en los próximos años fundamentalmente por la reducción del coste de fabricación de los módulos fotovoltaicos.

Producción de Energía

La Producción de Energía eléctrica anual en KWh/año es el parámetro fundamental para el rendimiento económico de toda instalación de producción de Energía. En él influyen la irradiación media/año o dicho de otro modo la irradiación media/día que depende del emplazamiento y del rendimiento de la planta teniendo en cuenta las incidencias que reducen su disponibilidad y rendimiento.

La Potencia de corriente alterna P_{ca} entregada a la red es: $P_{ca} = P_{cc} \times \text{factor de conversión de eficiencia}$, siendo P_{cc} la Pot. de corriente continua de los módulos en condiciones de prueba.

Este factor de conversión depende de la eficiencia de los inversores, transformadores, pérdidas en cables, desacoplamiento, suciedad y pérdidas de rendimiento en los módulos y condiciones ambientales, en especial la temperatura de las células solares.

Estas condiciones pueden llevar a este factor entre un 15 y un 35%.

La Energía total producida anual será = $P_{ca}(\text{kW}) \times \text{horas día equivalentes a 1kW de irradiación} \times 365 \text{ días}$. Esta Energía en KWh/año será la energía medida de entrega a la red.



**375kW, 143,000 sq. ft.
Instalación de Techo de Solar
Integrated Technologies
utilizando Inversores de
SatCon's**

APLICACIONES COSTES Y RENDIMIENTOS

LOCATION

Bremen, Germany

MODULE

alwitra EVALON®
Solar

ENERGY YIELD

810 kWh/kWp/a

SOURCE

alwitra GmbH & Co.,
D-Trier



APLICACIONES COSTES Y RENDIMIENTOS



LOCATION

**Röpke, Bremen,
Germany**

MODULE

Kalzip® AF 65/537

YEAR OF

**INSTALLATION
2005**

SOURCE

**Corus Bausysteme
GmbH,
D-Koblenz**



APLICACIONES COSTES Y RENDIMIENTOS

LOCATION

Duisburg, Germany

MODULE

ThyssenKrupp
Solartec
metal elements

ENERGY YIELD

642 kWh/kWp/a

SOURCE

Hoesch Contecna
Systembau
GmbH, D-
Oberhausen



APLICACIONES COSTES Y RENDIMIENTOS

LOCATION
Duisburg, Germany

MODULE
ThyssenKrupp
Solartec design

**YEAR OF
INSTALLATION**
2004

SOURCE
Hoesch Contecna
Systembau
GmbH, D-
Oberhausen



APLICACIONES COSTES Y RENDIMIENTOS



LOCATION

**Bakersfield,
California USA**

**614 kWp, ChevTex
Solarmine Ground
Array, Bakersfield,
California, USA**

**YEAR OF
INSTALLATION
2002**

**SOURCE
Chevron Texaco, USA**



Para contactar:

International Master Technology

i+TEC

Av. Doctor Arce 14

28002 Madrid

Teléfono: 91 761 0275

Fax: 91 561 2987

Ja.espallardo@imastec.es



SOLUCIONES tecnológicas innovadoras en energías renovables y eficiencia energética.

GRACIAS POR SU ATENCIÓN



DELEGACIÓN ARAGÓN

World Trade Center Zaragoza
Torre Oeste, Planta 1ª
C/ María Zambrano 31
Zaragoza 50018, ESPAÑA
Tel: +34 976 54 7332
Fax: +34 976 54 7333



DIRECCIÓN CORPORATIVA

Av. Doctor arce 14
28002 MADRID
ESPAÑA
Tel: +34 91 761 0275
Fax: +34 91 561 2987