



**UNIVERSIDAD CARLOS III DE MADRID**  
**ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR.**

**DEPARTAMENTO DE TECNOLOGÍA ELECTRÓNICA.**

**PROYECTO FIN DE CARRERA**

**INGENIERÍA TÉCNICA DE TELECOMUNICACION**  
**SISTEMAS DE TELECOMUNICACIÓN**

**Análisis y comparación de las diferentes tecnologías actuales de las  
células fotovoltaicas**

**AUTOR: Gema Montiel Bustos**

**DIRECTOR: Vicente Salas Merino**

**LEGANÉS, MARZO 2009**



Tendría que agradecer a tantísima gente este proyecto y la carrera que no sabría por donde empezar.

- A mi familia, mi madre Ana Maria Bustos, mi padre Mateo Montiel y mi hermana Alicia Montiel, sin vosotros jamás habría conseguido la carrera y otras cosas más importantes como las ganas de vivir, sois los mejores.

- A mi novio Ángel, tú me has ayudado muchísimo en los buenos y los malos momentos y espero que sean muchos más buenos a tu lado.

- A Gema, eres la mejor y me has ayudado y soportado cuando más lo necesitaba lo que no esta escrito, muchas gracias Gemilla.

- A mis amigos Maria Alvarez, Jose , Rubén, Cristóbal, David, Dani, Chari, Pilar, Maria Romero, Fernando vuestro apoyo y ayuda ha sido muy importante para mi y seguramente no habría podido con la carrera sin vosotros.

-A mi neuróloga favorita Rocío García Marcos, si no hubiera sido por ti no se que sería de hoy de mi y espero volverte a ver algún día.

-A mi homeópata Piedad Delgado Rubio contigo volví a ser persona y poder hacer mi vida, te lo debo a ti, gracias de corazón.

Sois mis dos médicos favoritos y nunca os olvidaré.

-A mi tutor Vicente Salas Merino, muchas gracias por el tiempo dedicado

Gracias a todos.



---

	Páginas
<b>Objetivos.....</b>	<b>4-5</b>
<b>Capítulo 1. Introducción.....</b>	<b>6-21</b>
<b>Capítulo 2. Sistemas fotovoltaicos.....</b>	<b>22-44</b>
2.1 Sistemas fotovoltaicos aislados.....	22-23
2.2 Sistemas fotovoltaicos conectados en red.....	24-27
2.3. Sistemas fotovoltaicos híbridos.....	28-31
2.4 .Legislación.....	32-41
<b>Capítulo 3. Generador fotovoltaico.....</b>	<b>42-71</b>
3.1 Funcionamiento del generador Fotovoltaico.....	42-44
3.2 Parámetros característicos de un módulo solar.....	45-48
3.3 Tipos de células fotovoltaicas.....	49-71
<b>Capítulo 4. Comparativa.....</b>	<b>72-122</b>
4.1 Explicación de los requisitos.....	72-75
4.2 Comparativa de célula y módulo fotovoltaico.....	76-122
<b>Capítulo 5. Conclusiones.....</b>	<b>123-135</b>
5.1 Conclusiones según el tipo de célula fotovoltaica.....	123-127
5.2 Conclusiones según el módulo fotovoltaico.....	128-135
<b>Perspectivas futuras.....</b>	<b>136</b>
<b>Bibliografía.....</b>	<b>137</b>
<b>Anexos.....</b>	<b>138</b>



El objetivo de este proyecto es realizar una comparativa de los diferentes tipos de células fotovoltaicas que se comercializan en la actualidad. Para ello se ha llevado a cabo un estudio de las diferentes tecnologías de células encontradas y las industrias que se dedican a su fabricación.

Esta comparativa se ha realizado sobre los catorce tipos de células existentes actualmente:

- 1.Silicio monocristalino
- 2.Silicio policristalino
- 3.Silicio amorfo
- 4.Silicio amorfo tipo tándem
- 5. Silicio amorfo triple
- 6.CdTe
- 7.EFG
- 8.RIBBON
- 9.CIS
- 10.Apex
- 11.HIT
- 12,MonoLGBC
- 13.  $\mu$ -Si/a-Si
- 14.Células de concentración



### Requisitos seleccionados para realizar la comparativa

Para realizar esta comparativa se han seleccionado los fabricantes más relevantes de cada tipo de tecnología fotovoltaica, analizada en la actualidad.

Los criterios tomados para seleccionar los módulos de cada fabricante han sido los siguientes:

-Se han seleccionado los módulos fotovoltaicos de mayor potencia dentro de cada tamaño posible de célula, realizándose la comparativa pertinente de célula fotovoltaica para los tipos:

- Silicio monocristalino
- Silicio policristalino

-Para los catorce tipos de células fotovoltaicas, debido a la imposibilidad de recopilar los datos necesarios para hacer una comparativa de célula para los tipos 3-14, se ha realizado una comparativa de los módulos estudiados, seleccionando aquellos módulos que ofrecían mayor potencia para cada tecnología.

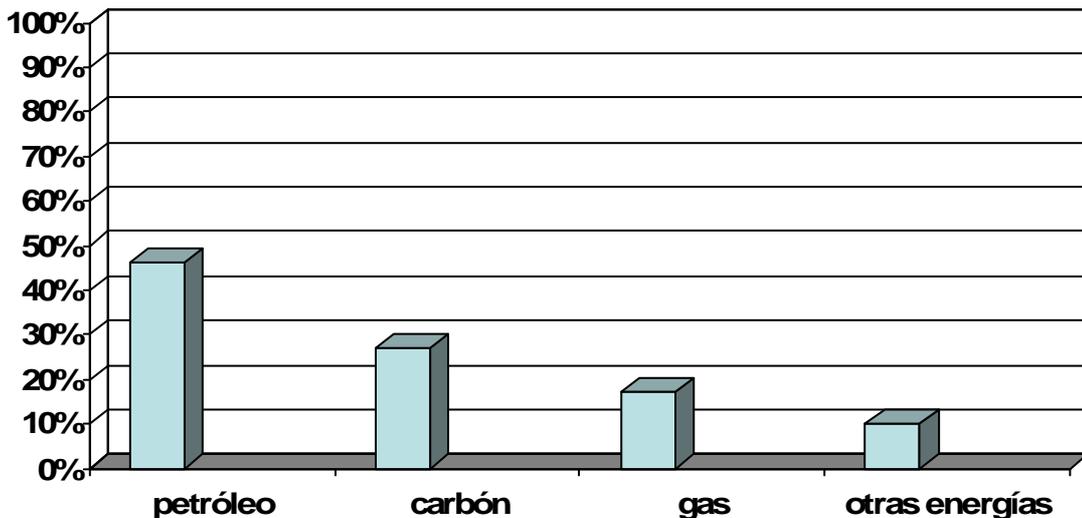
## 1.INTRODUCCIÓN

En este capítulo se van a presentar las diferentes energías renovables y la situación actual y futura de la energía solar en el mundo, Europa, España y Madrid.

### 1.1 SITUACIÓN ACTUAL

El mundo basa su crecimiento y desarrollo en el progresivo aumento del consumo de energía (petróleo, gas, carbón, electricidad, etc.)

El mundo en la actualidad depende del petróleo en un 46%, del carbón en un 27% y del gas en un 17%, lo que hace que la dependencia total de los combustibles fósiles sea del 90%, siendo el 10% restante aplicable a las energías hidroeléctrica, nuclear, eólica, solar, etc.



*Fig. 1.1.1 Representación de la utilización de combustibles fósiles*

El consumo de combustibles fósiles generan una gran cantidad de dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) que se expande en la atmósfera, este gas es el principal causante del llamado **efecto invernadero**, que está generando un cambio climático.



## **1.2 FUENTES RENOVABLES DE ENERGÍA**

Las fuentes renovables de energía se basan en los flujos y ciclos naturales del planeta. Son aquellas que se regeneran y son tan abundantes que perdurarán por cientos o miles de años, las usemos o no; además, usadas con responsabilidad no destruyen el medio ambiente. La electricidad, calefacción o refrigeración generadas por las fuentes de energías renovables, consisten en el aprovechamiento de los recursos naturales como el sol, el viento, los residuos agrícolas u orgánicos. Incrementar la participación de las energías renovables, asegura una generación de electricidad sostenible a largo plazo, reduciendo la emisión de CO<sub>2</sub>. Aplicadas de manera socialmente responsable, pueden ofrecer oportunidades de empleo en zonas rurales y urbanas y promover el desarrollo de tecnologías locales.

### **1.2.1 Tipos de energías renovables**

**Energía eólica:** Es la fuente de energía que está creciendo más rápidamente y, si los gobiernos le aseguran el apoyo necesario, podría cubrir en el 2020 el 12% de toda la electricidad mundial. La energía eólica requiere condiciones de intensidad y regularidad en el régimen de vientos para poder aprovecharlos. Se considera que vientos con velocidades promedio entre 5 y 12.5 metros por segundo son los aprovechables. El viento contiene energía cinética (de las masas de aire en movimiento) que puede convertirse en energía mecánica o eléctrica por medio de aeroturbinas, las cuales están integradas por un arreglo de aspas, un generador y una torre, principalmente.

**Energía solar:** La energía del sol se transforma en electricidad mediante células fotovoltaicas, aprovechando las propiedades de los materiales semiconductores. El material base para la fabricación de la mayoría de las células fotovoltaicas es el silicio. La eficiencia de conversión de estos sistemas es de alrededor de 15%.



**Energía hidroeléctrica:** la energía hidráulica producida a gran escala usa embalses para almacenamiento de agua, pero también es posible producir energía hidráulica a escala más reducida con plantas instaladas en el curso del río.

**Biomasa:** a partir de recursos biológicos se obtiene combustible energético. La energía de biomasa que procede de la madera, residuos agrícolas y estiércol, continúa siendo la fuente principal de energía en las zonas en desarrollo.

**Geotérmica** La energía geotérmica es aquella energía que puede ser obtenida por el hombre mediante el aprovechamiento del calor del interior de la Tierra. El calor del interior de la Tierra se debe a varios factores, entre los que destacamos el gradiente geotérmico etc.

**Biogás:** El biogás es un gas combustible que se genera en medios naturales o en dispositivos específicos, por las reacciones de biodegradación de la materia orgánica, mediante la acción de microorganismos, (bacterias metanogénicas, etc.), y otros factores, en ausencia de aire (esto es, en un ambiente anaeróbico). Cuando la materia orgánica se descompone en ausencia de oxígeno, actúa este tipo de bacterias, generando biogás.

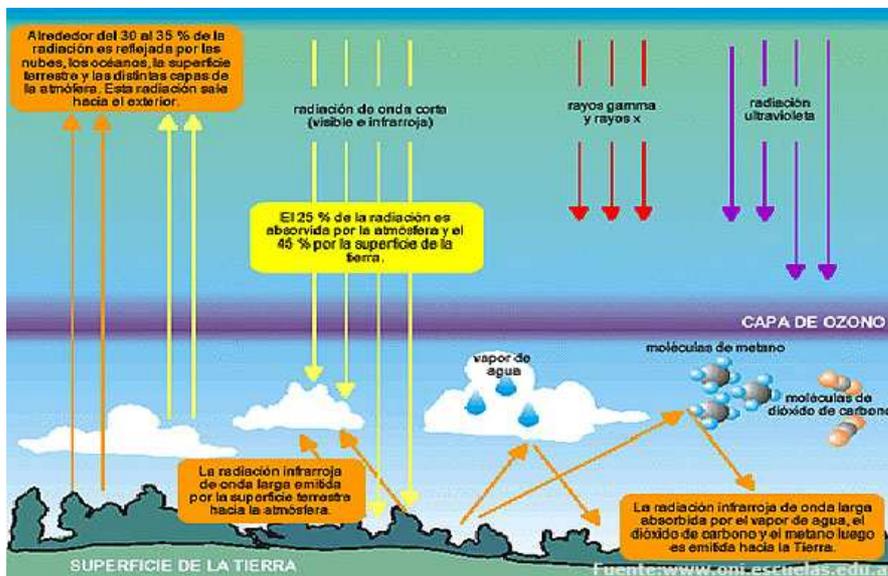
	<b>2001</b>	<b>2010</b>
<b>MINIHIDRAÚLICA(&lt;10 mw)</b>	415	594
<b>EÓLICA</b>	623	1852
<b>BIOMASA</b>	3664	9465
<b>BIOGÁS</b>	114	150
<b>BIOCARBURANTES</b>	51	500
<b>SOLAR FOTOVOLTAICA</b>	2	19
<b>SOLAR TÉRMICA</b>	35	336
<b>SOLAR TERMOELÉCTRICA</b>	0	180
<b>GEOTÉRMICA</b>	8	3

*Fig. 1.2.1.1 Consumo primario de energías renovables en España (Ktep)*

### 1.3 EL EFECTO INVERNADERO.

La atmósfera de la Tierra está compuesta de muchos gases. Los más abundantes son el nitrógeno y el oxígeno. El resto, menos de una centésima parte, son gases llamados "de invernadero".

Algunos de estos gases son el dióxido de carbono, el metano y el dióxido de nitrógeno. En pequeñas concentraciones, los gases de invernadero son vitales para nuestra supervivencia. Cuando la luz solar llega a la Tierra, un poco de esta energía se refleja en las nubes; el resto atraviesa la atmósfera y llega al suelo.



*Fig.1.3.1 Efecto invernadero*

Cuanto más aumentan los gases que producen el efecto invernadero, más se retiene los rayos infrarrojos del sol y elevan la temperatura del planeta a unos 30°C más caliente que si no existiera. El aumento en la utilización de combustibles fósiles hace que los niveles naturales de CO<sub>2</sub> (dióxido de carbono) que emitimos a la atmósfera se incrementen, esto producirá lo que conocemos como efecto invernadero reforzado, que no es más que el calentamiento de la superficie terrestre y de la atmósfera. Las cantidades de CO<sub>2</sub> que emitimos a la atmósfera originan más del 60% del efecto invernadero reforzado.



El carbono almacenado en los combustibles fósiles se libera a la atmósfera y perturba el ciclo del carbono que con los años se había estabilizado, este se produce cuando se intercambia el carbono con el aire, los océanos y la vegetación terrestre.

La temperatura media de la superficie terrestre ha aumentado  $0,6^{\circ}\text{C}$  en los últimos años, y se prevé que haya un aumento de hasta  $5,8^{\circ}\text{C}$  en el 2100, aunque si el aumento fuera menor también hay que saber que sería mayor que años atrás. Este aumento de la temperatura es debido a las combustiones, cada vez mayores, de combustibles, carbón y la tala indiscriminada de árboles, que producen un aumento de los gases de efecto invernadero en la atmósfera, dichos gases impiden que el calor solar regrese al espacio.

Un cambio climático puede traer muchos problemas. La actual tendencia hacia el calentamiento provocará algunas extinciones, producirá un aumento del nivel del mar y que disminuyan las capas de hielo en los polos. El nivel del mar aumentó entre 10 y 20 centímetros durante el siglo 20 y se prevé que llegará a aumentar unos 88 centímetros en el 2100, con lo que se invadiría algunos litorales. El calentamiento atmosférico es un problema que en la actualidad afecta a todo el mundo, y a la economía que también es importante.

### **Balance De Energía En Nuestro Sistema Climático**

De cada 100 unidades del flujo total de radiación solar (o de onda corta) que llega al tope de la atmósfera, 23 unidades son absorbidas por ésta: el  $\text{O}_3$  estratosférico y el vapor de agua troposférico absorben 19 unidades, y el agua líquida en las nubes 4 unidades. La superficie de los océanos y los continentes absorben 46 unidades. Las 31 unidades restantes son reflejadas hacia el espacio exterior: las nubes reflejan 17 unidades, la superficie del planeta 6 unidades, y los gases que componen la atmósfera dispersan hacia el espacio exterior 8 unidades. Estas últimas 31 unidades no participan en los procesos e interacciones del sistema climático. La energía absorbida por éste (69 unidades) es convertida en calor, movimiento de la atmósfera y de los océanos (energía cinética), y energía potencial.



### **1.4 ENERGÍA SOLAR.**

La energía solar es la energía obtenida directamente del Sol. La radiación solar incidente en la Tierra puede aprovecharse, por su capacidad para calentar, o directamente, a través del aprovechamiento de la radiación en dispositivos ópticos o de otro tipo.

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  $1000 \text{ W/m}^2$  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  $1354 \text{ W/m}^2$  (que corresponde a un valor máximo en el perihelio de  $1395 \text{ W/m}^2$  y un valor mínimo en el afelio de  $1308 \text{ W/m}^2$ ).

Una superficie inclinada puede recibir, además, la radiación reflejada por el terreno o por espejos de agua o por otras superficies horizontales, fenómeno conocido como **albedo**.



Las proporciones de radiación directa, dispersa y albedo recibida por una superficie dependen de:

- **las condiciones meteorológicas:** de hecho, los paneles fotovoltaicos generan electricidad incluso en días nublados, aunque su rendimiento disminuye. La producción de electricidad varía linealmente a la luz que incide sobre el panel; un día totalmente nublado equivale aproximadamente a un 10% de la intensidad total del sol, y el rendimiento del panel disminuye proporcionalmente a este valor.

- **la inclinación de la superficie respecto al plano horizontal:** una superficie horizontal recibe la máxima radiación dispersa, si no hay alrededor objetos a una altura superior a la de la superficie, y la mínima reflejada.

- **la presencia de superficies reflectantes:** debido a que las superficies claras son las más reflectantes, la radiación reflejada aumenta en invierno por efecto de la nieve y disminuye en verano por efecto de la absorción de la hierba o del terreno.

En función del lugar, además, varía la relación entre la radiación dispersa y la total, ya que al aumentar la inclinación de la superficie de captación, disminuye la componente dispersa y aumenta la componente reflejada. Por ello, la inclinación que permite maximizar la energía recogida puede ser diferente dependiendo del lugar.

La posición óptima, en la práctica, se obtiene cuando la superficie está orientada al sur, con ángulo de inclinación igual a la latitud del lugar: la orientación al sur maximiza la radiación solar captada recibida durante el día y si la inclinación es igual a la latitud hace que sean mínimas durante el año las variaciones de energía solar captadas debidas a la oscilación de 23.5° de la dirección de los rayos solares respecto a la perpendicular a la superficie de recogida.

Si llamamos  $I_D$  la radiación directa,  $I_S$  la dispersa y  $R$  al albedo, entonces resulta que la radiación solar total que cae sobre una superficie es:

$$I_T = I_S + I_D + R$$

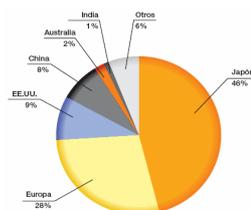
## **1.5 SITUACIÓN DE LA ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA EN EL MUNDO**

A nivel mundial también se ha incrementado en estos últimos años la producción de células fotovoltaicas, ya que se empieza a tener conciencia del empleo de energías renovables para evitar el deterioro del planeta y sobre todo después del protocolo de Kyoto.

Pese a que todavía es pequeña la oferta comercial, el mercado fotovoltaico actual está creciendo a un ritmo de casi un 20% anual. Aunque las empresas se desarrollan sujetas a una competencia muy dura se están produciendo grandes y significativos avances para articular el mercado. Pero ahora la inercia existente favorece a las fuentes energéticas más contaminantes debido al incorrecto funcionamiento de un sistema de precios que no refleja su auténtico coste real económico, social y medioambiental. No obstante todo el sector de la energía evoluciona amparado sobre la importancia que hoy en día tiene la liberación económica y la protección del entorno natural.

## **1.6 SITUACIÓN DE LA ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA EN EUROPA**

El objetivo previsto por la UE para el año 2010 es alcanzar los 3.000 MW de potencia instalada en sistemas fotovoltaicos, como parte del objetivo más genérico que propone que el 12% de la energía primaria demandada en la Unión Europea sea producida por fuentes de energía renovables en esa misma fecha. Si tomamos como referencia el año 1995, sería necesario multiplicar por 100 la potencia instalada para alcanzar dicho objetivo. Algunos organismos, como la EPIA en su informe "Solar Electricity in 2010", estiman que esa cifra podría elevarse hasta los 3000 MWp, o incluso hasta los 4000 MWp.



*Fig 1.6.1 Fabricación europea de células FV en MWp*

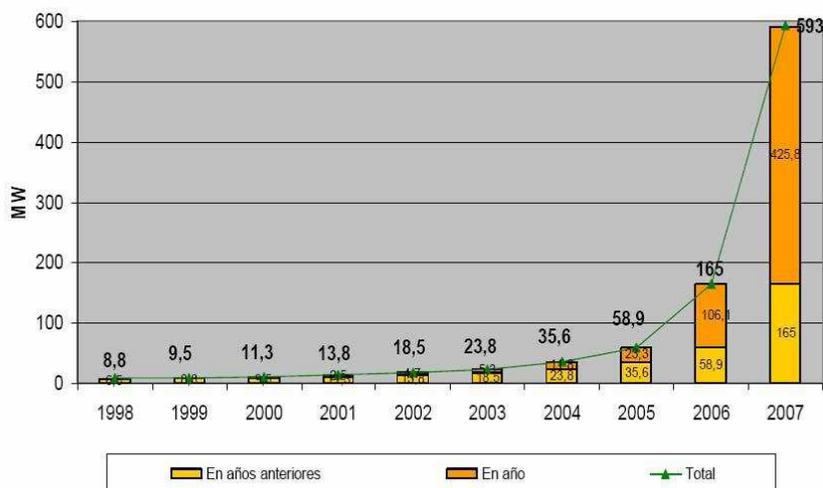
## **1.7 SITUACIÓN DE LA ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA EN ESPAÑA**

La energía solar fotovoltaica tiene un gran futuro en nuestro país, es el tercer país con más potencia fotovoltaica instalada. Sus aplicaciones en España se utilizan para:

- iluminación vial
- redes de control y toma automática de datos
- servicios municipales separados de la red eléctrica
- electrificación de edificios y otros sistemas aislados
- bombeo de agua
- electrificación rural
- repetidores

En España las principales instalaciones que se suelen hacer de superficies fotovoltaicas son las instaladas en tejados y fachadas.

La situación de España en cuanto a investigación de la generación de la energía fotovoltaica, hace que seamos uno de los principales países productores de paneles y células fotovoltaicas. Según la IDAE, España es un país para implantar y desarrollar energía solar fotovoltaica, pero aún no ha dado su punto máximo.



***Fig 1.7.1 Desarrollo del mercado fotovoltaico español***



**1.8 SITUACION DE LA ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA EN MADRID**

Actualmente la Comunidad de Madrid cuenta con una de las mayores y más modernas fábricas de Europa, BP SOLAR, con instalaciones situadas en Tres Cantos, Alcobendas y San Sebastián de los Reyes; la cuál aporta cerca del 3% de la producción mundial y exporta más del 80% de lo fabricado, tanto a países desarrollados como en vías de desarrollo.

Fuente	Energía anual actual(ktep)	Ayuda pública del Plan (M€)	Inversión Total	Potencia Instalada	Energía anual 2012	Energía anual 2012(ktep)
<b>Biocarburantes</b>	0	8	80		60 ktep	60
<b>Biomasa eléctrica</b>	0	5	15	10 MW	30 GWh	10
<b>Biomasa térmica</b>	93,5	4,5	9		120 ktep	120
<b>Eólica</b>	0	2	200	200 MW	400 GWh	35
<b>Fotovoltaica</b>	0,3	31,5	125	20 MW	30 GWh	2,6
<b>Hidráulica</b>	23,7				24 Ktep	24
<b>Residuos</b>	83	5	55	120 MW	500 GWh	128
<b>Solar baja temperatura</b>	3	24	240	280 MW	20 ktep	20
<b>Solar baja temperatura</b>	0	20	50	12 MW	25 GWh	6,4
<b>Total</b>	<b>203,5</b>	<b>100</b>	<b>774</b>	<b>342 MW+300 MWp</b>	<b>—</b>	<b>406</b>

*Fig 1.8.1 Producción de energía por fuentes renovables en Madrid y objetivos para el 2012*



## **1.9 PREVISIONES FUTURAS DE LA ENERGIA SOLAR E IMPACTOS POSIBLES SOCIALES**

Como característica de futuro la energía fotovoltaica se muestra una muy buena capacidad de trabajo con otras fuentes de energía. Podemos encontrar instalaciones fotovoltaicas trabajando con centrales nucleares, hidroeléctricas y de todo tipo. La polivalencia que muestra la fotovoltaica es muy grande, hay instalaciones que trabajan con la red eléctrica de distribución, otras ensambladas en un satélite artificial, etc...

Si solamente el 2% de los edificios europeos dispusieran de sistemas fotovoltaicos se podrían crear alrededor de 100.000 empleos. La tecnología fotovoltaica producirá efectos multiplicadores sobre el empleo. Además el empleo fotovoltaico resulta especialmente beneficioso por que asegura continuidad en el tiempo y no presente estacionalidad, se distribuye por todo el territorio y precisamente en aquellas áreas que más necesitan el estímulo del desarrollo económico.

También hay que decir que es un error tratar de comparar la energía solar con otras fuentes convencionales de energía, únicamente teniendo en cuenta factores cuantitativos de tipo económico, ya que la calidad de esta energía presenta ventajas a medio y largo plazo que compensan sobradamente sus inconvenientes limitaciones. Sin embargo la realidad es que no parece suficiente que la energía solar sea una energía limpia, segura, inagotable y gratuita para que sea capaz de cambiar en pocos años la tremenda inercia de consumo basado exclusivamente en las fuentes de energía tradicionales, así como en los hábitos arraigados en las sociedades económicamente avanzadas. Y es que, ciertamente, el uso generalizado de la energía solar exigiría cambios radicales en nuestro modo de vida.

A pesar de todo, la energía solar se impondrá por su propio peso. El acelerar el proceso de su expansión depende en gran parte de nosotros mismos. Reducir el consumo de energía, a través del ahorro y la eficiencia, es tan necesario como sustituir las fuentes de energía sucias por limpias y renovables.



Independientemente de que la energía solar fotovoltaica nos permita convertirnos en generadores de electricidad limpia, siempre debemos buscar una reducción del impacto de nuestro consumo energético sobre el medio ambiente local y global haciendo un uso más eficiente de la energía. Es necesario tener en cuenta que la generación eléctrica fotovoltaica es la única que se puede producir, a partir de una fuente renovable, electricidad allí donde se consume, reduciendo la saturación de las redes y disminuyendo las pérdidas en el transporte de electricidad.

Aunque la energía solar fotovoltaica representa el 0,001% del suministro de energía eléctrica que satisface las necesidades de consumo en todo el mundo, se prevé un rápido crecimiento, basado en el actual desarrollo de la tecnología y el compromiso medioambiental de los países desarrollados.

### **1.10 PROTOCOLO DE KYOTO.**

Cuando se adopta el Convenio en el año 1992, los gobiernos sabían que sus compromisos no serían suficientes para abordar en serio los problemas del cambio climático. En la COP1 (Berlín, marzo/abril de 1995), en una decisión conocida con el nombre de Mandato de Berlín, las partes pusieron en marcha una nueva ronda de conversaciones para decidir la adopción de compromisos más firmes y más detallados para los países industrializados. Después de dos años y medio de negociaciones intensas, se adoptó el protocolo de Kyoto en la COP3 de Kyoto (Japón), el 11 de diciembre de 1997.

No obstante, debido a la complejidad de las negociaciones, quedaron pendientes un considerable número de cuestiones, incluso después de la adopción del Protocolo de Kyoto. En este se esbozaban los rasgos básicos de sus mecanismos y el sistema de cumplimiento, pero no se especificaban las normas que regulaban su funcionamiento. Aunque 84 países firmaron el Protocolo, lo que significaba que tenían intención de firmarlo, muchos se resistían a dar el paso y hacer que el Protocolo entrara en vigor, antes de tener una idea clara sobre las normas del tratado. Por ello, se inició una nueva ronda de negociaciones para especificar las normas concretas del Protocolo de Kyoto,



que se organizaron en paralelo con las negociaciones sobre las cuestiones pendientes en el marco de la convención. Esta ronda culminó finalmente en la COP7 con la adopción de los acuerdos de Marrakech (2001), en el que se establecían normas detalladas para la aplicación del Protocolo de Kyoto.

### **1.10.1 NORMAS DEL PROTOCOLO DE KYOTO.**

Este protocolo tiene los mismos objetivos de la Convención, ya que a través de él las partes se comprometían a lograr objetivos individuales y jurídicamente vinculantes para limitar o reducir sus emisiones de gases de efecto invernadero. Sólo las partes de la Convención que sean también parte en el Protocolo estarían obligadas a cumplir los compromisos del Protocolo cuando entrara en vigor.

Los objetivos individuales para las partes se enumeran en un anexo del Protocolo. Entre todos suman un total de recorte de emisiones de gases de efecto invernadero para el periodo 2008-2012 de al menos el 5% con respecto a los niveles que hubo en el año 1990.

### **1.11 NORMATIVA ESPAÑOLA.**

La normativa en España sobre producción de energía eléctrica por medio de fuentes de energía renovables llamado *régimen especial*, aunque viene siendo regulado desde los años 1980, el primer plan de energías renovables se aprueba en 1986 y en el se prevé la instalación de 3MWp para el año 1992.

Posteriormente se aprueba el Plan de Ahorro y Eficiencia Energética como un anexo al Plan Energético Nacional 1991-2000. Este Plan puede considerarse el primer paso efectivo para el fomento de las energías renovables en nuestro país, teniendo como objetivo aumentar la contribución de las energías renovables al balance energético nacional.



Más tarde se aprueba el Plan de Fomento de Energías Renovables para el periodo 2000-2010, que incluye subvenciones para proyectos de I+D y financiación para la instalación de sistemas fotovoltaicos, desarrollo de normativa para la conexión a la red y exención de impuestos y tasas para las instalaciones fotovoltaicas. Este plan identificó la necesidad de establecer un reglamento que recoja los requisitos técnicos, administrativos y comerciales de las instalaciones fotovoltaicas conectadas a la red eléctrica.

Según dicho plan:

- El mercado potencial de la energía solar fotovoltaica se estima en 2300 MW, de ellos 2000 MW en conexión a red.
- El objetivo para el año 2010 se cifra en 115MW fotovoltaicos conectados a red.
- La realización de este objetivo implicaría la creación de 9545 empleos y evitar la emisión de entre 74.000 y más de 175.000 toneladas de CO<sub>2</sub> en el año 2010.

El siguiente paso fue la Ley 54/1997 del Sector Eléctrico, que establece los principios de un nuevo modelo de funcionamiento basado en la libre competencia impulsando también el desarrollo de instalaciones de producción de energía eléctrica en *régimen especial*, haciendo compatible la libre competencia con la consecución de otros objetivos tales como la mejora de la eficiencia energética, la reducción del consumo y la protección del medio ambiente, por otra parte necesarios en función de los compromisos adquiridos por España en la reducción de gases productores del efecto invernadero; y a la vez abre la posibilidad de que las energías renovables que se emplean a la producción de electricidad tengan acceso preferente a la red.

El **R/D 2818/98** sobre producción de energía eléctrica por instalaciones abastecidas por recursos o fuentes de energías renovables, residuos y cogeneración, desarrolla la ley 54/1997 en este aspecto, estableciendo un nuevo marco de funcionamiento para este tipo de fuentes energéticas, entre las que se encuentra la energía solar fotovoltaica. Para lograr este objetivo se establece *un sistema de incentivos* que para las energías renovables y de residuos no tiene límite temporal debido a que se hace necesario



internalizar sus beneficios medioambientales y a que, por sus especiales características y nivel tecnológico, sus mayores costes no les permite la competencia en un mercado libre.

Los incentivos que establece para las energías renovables son tales que van a permitir que su aportación a la demanda energética de España sea como mínimo del 12% en el año 2010.

El **R/D 1663/2000** sobre conexión de instalaciones fotovoltaicas a la red de baja tensión, recoge entre otros aspectos el procedimiento de inclusión de una instalación de producción de energía eléctrica en *régimen especial*, su régimen económico y las condiciones de entrega de la energía eléctrica producida en estas instalaciones.

**La resolución del 31 de mayo del 2001** de la Dirección General de Política Energética y Minas establece el modelo de contrato tipo y modelo de factura para instalaciones solares fotovoltaicas conectadas a la red de baja tensión.

El **R/D 841/2002** por el que se regula para las instalaciones de producción de energía eléctrica en *régimen especial*, su incentivación en la participación en el mercado de producción y determinadas obligaciones de información de sus previsiones de producción y de energía.

El **R/D 436/2004** del Ministerio de Economía establece la metodología para la actualización y sistematización del régimen jurídico y económico de la actividad de producción de energía eléctrica en *régimen especial* y deroga el R/D 2818/1998 y el R/D 841/2002.

En el preámbulo, éste **R/D** sienta las bases del porqué de la necesidad de este régimen especial de producción de energía, ya que en una sociedad moderna y avanzada, el progreso científico y tecnológico va acompañado de una cada vez mayor sensibilidad social hacia el medio ambiente.

El concepto del desarrollo sostenible en la producción de energía eléctrica no puede ser ajena a estos planteamientos.



El agua de nuestros ríos, la fuerza del viento o el calor provenientes del sol son fuentes limpias e inagotables de producción de energía eléctrica. Del mismo modo, las instalaciones que utilizan el biogás o la biomasa para la producción de energía eléctrica, por su reducido grado de emisiones de efecto invernadero a la atmósfera contribuyen también al doble objetivo de proteger el medio ambiente y producir electricidad. Para la consecución de este doble objetivo la vigente **Ley 54/1997** parte de la diferenciación de un conjunto de instalaciones de energía eléctrica que conforman el denominado *régimen especial*, las cuales disfrutan de una cierta singularidad jurídica y económica frente al resto de instalaciones de producción integrantes del llamado *régimen ordinario*.

Desde el punto de vista de la retribución, la actividad de producción de energía eléctrica en régimen especial se caracteriza por la posibilidad de que su régimen retributivo se complemente mediante la percepción de una materia prima, para cuya determinación pueden tenerse en cuenta factores como el nivel de tensión de entrega de energía a la red, la contribución a la mejora medioambiental, etc...

En este *régimen especial* está basado en la libre voluntad del titular de la instalación, que puede optar por vender su producción o excedentes de energía eléctrica al distribuidor, percibiendo por ello una retribución en forma de tarifa regulada, o bien vender dicha producción o excedentes directamente en el mercado diario, en el mercado a plazo a través de un contrato bilateral, percibiendo en este caso el precio negociado, más un incentivo y una prima por participar en él.

Este R/D en el capítulo I define el alcance objetivo de la norma y especifica las instalaciones que tienen la consideración de *régimen especial*, clasificándoles en categorías grupos o subgrupos ( la energía solar pertenece a la categoría b ); el capítulo II regula el procedimiento para la inclusión de una instalación de producción de energía eléctrica en el régimen especial; el capítulo III establece las condiciones de entrega de la energía producida en régimen especial y el capítulo IV regula el régimen económico ( tarifas, primas e incentivos ). Con este Real Decreto se pretende que en el año 2010, cerca de un tercio de la demanda de electricidad esté cubierta por tecnologías de alta eficiencia energética, y por energías renovables.

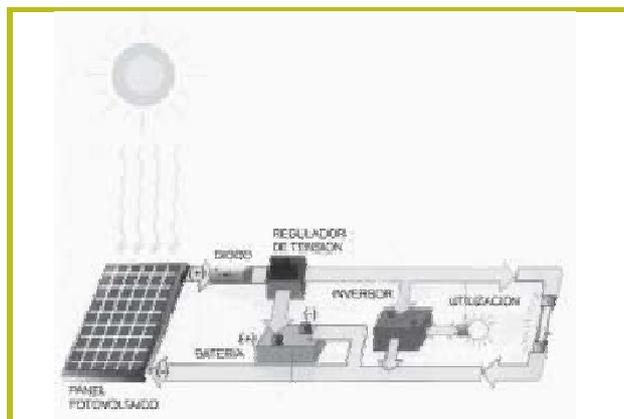
## 2.SISTEMAS FOTOVOLTAICOS

El objetivo de este capítulo es la explicación de los tipos de sistemas fotovoltaicos. De esta forma se pueden distinguir tres tipos: sistemas aislados, conectados a red e híbridos.

### 2.1 SISTEMAS FOTOVOLTAICOS AISLADOS

Los sistemas aislados están equipados con sistemas de acumulación de la energía producida. La acumulación de energía es necesaria porque el campo fotovoltaico puede proporcionar energía solamente durante las horas diurnas, y durante la tarde y noche se cubre la demanda con la energía acumulada. Una configuración de este tipo implica que el campo fotovoltaico debe estar dimensionado de forma que permita, durante las horas de insolación, la alimentación de la carga y de la recarga de las baterías de acumulación.

Los principales componentes que forman un sistema fotovoltaico aislado son: módulos fotovoltaicos, regulador de carga, inversor y sistema de acumulación (baterías de acumulación). En este tipo de sistemas, la energía producida por los módulos fotovoltaicos es almacenada en baterías de acumulación. La carga se alimenta a través del regulador de carga.



*Figura 2.1.1 Esquema de un sistema fotovoltaico*



### **2.1.1 Explicación de los componentes de un sistema fotovoltaico aislado**

El regulador de carga sirve para que los acumuladores no se estropeen en caso de un exceso de carga por el generador fotovoltaico y de la descarga por el exceso de uso.

Ya que normalmente la potencia requerida por el usuario no es proporcional a la radiación solar (y, por consiguiente, a la producción eléctrica de un sistema fotovoltaico) una parte de la energía producida por el campo fotovoltaico tiene que ser almacenada para poder ser reutilizada cuando el usuario la necesite. Esta es la finalidad del sistema de acumulación.

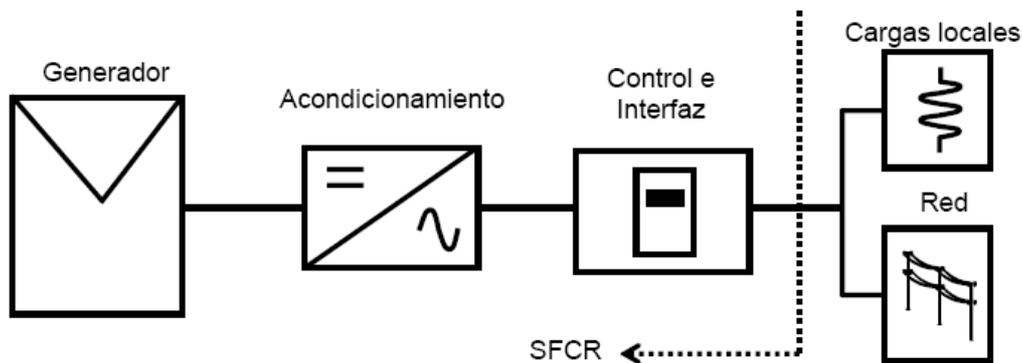
Un sistema de acumulación está formado por un conjunto de acumuladores recargables, dimensionado de forma que garantice la suficiente autonomía de alimentación de la carga eléctrica. Las baterías que se utilizan con esta finalidad son acumuladores de tipo estacionario y sólo en casos muy especiales es posible utilizar baterías tipo automoción.

Las baterías para uso fotovoltaico tienen que cumplir los siguientes requisitos: bajo valor de auto-descarga, larga vida útil, elevado números de ciclos de carga y descarga y manutención casi nula.

El inversor se encarga de transformar la corriente continua en corriente alterna necesaria para la alimentación a los usuarios, en este tipo de sistemas aislados el inversor no es un componente indispensable e incluso se puede alimentar directamente con corriente continua de baja tensión la carga.

## 2.2 SISTEMAS FOTOVOLTAICOS CONECTADOS A RED

Los sistemas fotovoltaicos conectados a la red eléctrica (SFCR) constituyen la aplicación de la energía solar fotovoltaica que mayor crecimiento ha experimentado en la última década. Se caracterizan por proporcionar la totalidad o parte de su producción a la red de distribución y su configuración responde al siguiente diagrama:



*Figura 2.2.1 Esquema de los sistemas de conexión red*

Un SFCR está formado por: el generador fotovoltaico (módulos interconectados eléctricamente y estructura de soporte), sistema de acondicionamiento: convertidor DC/AC o inversor que es uno de los componentes más importantes, ya que maximiza la producción de corriente del dispositivo fotovoltaico y optimiza el paso de energía entre el módulo y la carga. Es un dispositivo que transforma la energía continua producida por los módulos (12V, 24V, 48V..) en energía alterna (generalmente 220V), para alimentar el sistema y/o introducirla en la red, con la que trabaja en régimen de intercambio. Los inversores para la conexión a la red eléctrica están equipados generalmente con un dispositivo electrónico que permite extraer la máxima potencia, paso por paso, del generador fotovoltaico. Este dispositivo sigue el punto de máxima potencia (MPPT) y tiene justamente la función de adaptar las características de producción del campo fotovoltaico a las exigencias de la carga.

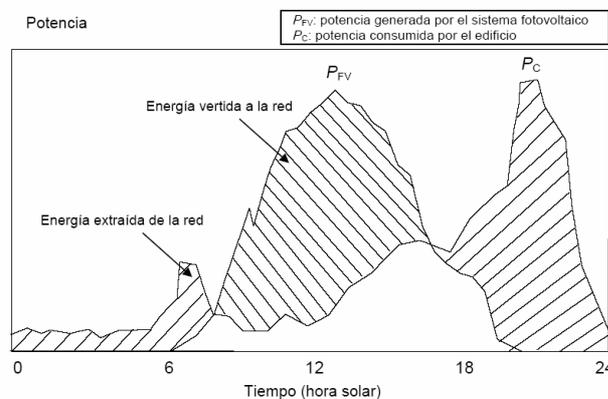
El sistema de control e interfaz con la red eléctrica, engloba el conjunto de medidas adoptadas para garantizar la calidad de servicio donde encuadraríamos el contador de energía que mide la energía producida por el sistema fotovoltaico durante su periodo de funcionamiento.

Se distinguen dos tipos de sistemas, que corresponden a motivaciones y objetivos diferentes:

**-Centrales fotovoltaicas**, se busca optimizar la producción energética mediante un enfoque centralizado, similar al empleado en centrales eléctricas convencionales. Se localizan en terrenos alejados de núcleos urbanos y debidamente acondicionados para albergar las estructuras de soporte de los módulos fotovoltaicos y otras infraestructuras. Emplean generadores fotovoltaicos de potencia nominal comprendida entre varios cientos de Kwp y 10 Mwp, que operan con estrategias de captación solar estáticas o móviles, y ponen la totalidad de su producción en redes eléctricas de media tensión.

**-Sistemas fotovoltaicos integrados en edificios**, son aquellos generadores fotovoltaicos, de potencia nominal entre uno y varios cientos de Kwp, que se integran en edificios y otras construcciones urbanas.

Para observar el cambio de energía entre un edificio fotovoltaico y la red eléctrica, tenemos la siguiente figura



**Figura 2.2.2 Potencia en función de la hora solar**



Podemos observar que en algunos casos se suministra parte del consumo del edificio y se vierte el excedente en la red de distribución mientras que en otros casos se inyecta toda la producción a la red de distribución.

Se consigue energía fotovoltaica de mayor eficiencia, por las siguientes razones:

a) Al producirse la generación energética en el lugar del consumo se evita que se produzcan pérdidas de transporte y distribución.

b) El suministro de electricidad fotovoltaica presenta pérdidas de transformación muy pequeñas, los inversores operan típicamente a elevados niveles de eficiencia y en baja tensión, y debido a la gran fiabilidad de la red eléctrica se puede aprovechar en su totalidad al no existir elementos de acumulación.

c) Al coincidir las horas de mayor producción con las de mayor consumo se consigue un beneficio adicional.

d) Al sustituir la energía producida mediante combustibles fósiles se reduce las emisiones de los agentes contaminantes.

e) Mejor aprovechamiento de la funcionalidad arquitectónica, lo que permite ahorro de costes e incrementa el valor añadido de esta aplicación.

	<b>Central fotovoltaica</b>	<b>Edificio fotovoltaico</b>
<i>Generación</i>	Centralizada	Descentralizada
<i>Emplazamiento</i>	Precisa compra/alquiler de terreno	Ya existente
<i>Instalación</i>	Precisa obra civil previa	Infraestructura sencilla
<i>Conexión a la red</i>	Precisa realizar	Ya existente

**Figura 2.2.3 Central fotovoltaica/edificio fotovoltaico**

En esta figura podemos observar las características de la central fotovoltaica/ edificio fotovoltaico en cuanto a generación, emplazamiento, instalación y conexiones a red.



### 2.2.1. Producción de energía en los sistemas fotovoltaicos conectados a red

La producción energética útil anual en un sistema fotovoltaico conectado a la red puede estimarse de forma sencilla a partir de tres parámetros:

-**P<sub>nom</sub>** (potencia nominal del generador fotovoltaico)

-**Y<sub>r</sub>** (siglas de “referente Yield”), es la cantidad de horas equivalentes de sol que inciden en la superficie del generador fotovoltaico

-**PR** es un factor de rendimiento del sistema respecto al valor P<sub>nom</sub> en condiciones reales de operación.

$$E_{FV} = P_{nomG} \cdot Y_R \cdot PR$$

En la siguiente tabla se muestra la producción de energía útil que puede obtenerse de sistemas fotovoltaicos conectados a la red Madrid, por Kwp, de potencia instalada en el generador fotovoltaico, para distintas ubicaciones (ángulos de inclinación de 15°, 35° y 90° y diferentes orientaciones).

Generador fotovoltaico			
Orientación	Inclinación	Y <sub>R</sub> (h)	E <sub>FV</sub>
α (°)	β (°)		(kWh/kW <sub>p</sub> )
0	15	1862	1304
0	35	1940	1358
0	90	1300	910
± 40°	15	1804	1263
± 40°	35	1843	1290
± 40°	90	1280	896
± 60°	15	1746	1222
± 60°	35	1727	1209
± 60°	90	1222	856
± 90°	15	1610	1127
± 90°	35	1513	1059
± 90°	90	1086	760

*Figura 2.2.1.1 Características generador fotovoltaico en Madrid*



### **2.3 SISTEMAS FOTOVOLTAICOS HÍBRIDOS**

Los sistemas fotovoltaicos híbridos utilizan la energía de los paneles solares fotovoltaicos combinada con otra fuente de energía, como la eólica, la de generadores diesel, pequeñas centrales mini hidráulicas, y cualquier otra fuente de energía, para satisfacer la demanda aprovechando en conjunto todos los recursos renovables de una zona. Si los sistemas híbridos se diseñan correctamente, es posible conseguir que la instalación suministre en todo instante la potencia eléctrica demandada. Sin embargo, el diseño óptimo de sistemas híbridos es muy complicado, debido a la variabilidad de la energía solar y de la demanda de la carga, así como las características no lineales de algunos componentes.

Por ejemplo, los sistemas PV-diesel (energía solar fotovoltaica y generador diesel) se utilizan cuando existen, puntualmente, consumos elevados en una instalación aislada, siendo el generador diesel el encargado de suministrar esos valores elevados de potencia eléctrica. En estos casos, si el sistema fuera únicamente fotovoltaico, sería preciso disponer de un número excesivamente elevado de paneles y de baterías.

#### **2.3.1. Ventajas de los sistemas híbridos:**

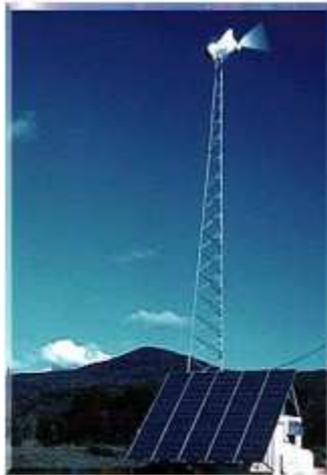
-El costo de la electricidad producida con aerogeneradores es menor que el de la producida con paneles fotovoltaicos.

-El costo del sistema ya que en algunos lugares el viento sopla cuando no hay sol, lo que reduce la necesidad de baterías y por lo tanto abarata costos. Este sistema es ideal para aplicaciones destinadas a zonas rurales.



*Figura 2.3.1.1 Sistema fotovoltaico híbrido*

Un caso muy extendido a lo largo de todo el mundo es el de hibridación, consiste en un sistema que consta de una central solar fotovoltaica, una central eólica y motor diesel convencional.



*Figura 2.3.1.2 Sistema fotovoltaico híbrido*

Los costes de construcción suelen ser una pequeña parte de aquellos que se requieren para realizar una extensión de la red eléctrica, y los gastos de mantenimiento y el combustible necesario son bastante inferiores que los que tendría un generador diesel funcionando solo, y tiene mucha mayor fiabilidad debido a que incluye diversos sistemas de generación eléctrica de apoyo y un banco de baterías más grande pudiéndose cubrir la demanda en días nublados en los cuales el generador diesel entraría a funcionar para apoyar al sistema



En España tenemos cuatro de las mayores fábricas solares:

-20 MW, Hoya de Los vincentes, **Jumilla (Murcia)**, construida por Luzentia, Enero 2008

-20 MW, **Beneixama (Alicante)**, construida por City Solar AG, Septiembre 2007

-13.8 MW **Salamanca Avanzalia Solar**, S.L. Kyocera Corp., Septiembre 2007

-12.7 MW, **Lobosillo (Murcia)**, construida por Ecostream, Septiembre 2007

Existen también programas piloto para conseguir 3MW con células de concentración

-**Institute of Concentration Photovoltaics Systems (ISFOC)**

**3 MW CPV( células de concentración)** programa piloto:

Phase I: 1.7 MW en proceso de instalación

- **Isofoton** ,empresa española, (700 kW, 200KW en Puertollano, 500KW en Talavera de la reina, utiliza concentradores de 15KW y módulos con una lente de Fresnel en plástico primario y una segunda óptica en plástico secundario)

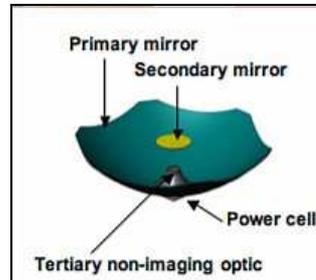


*Modulo de Isofotón*

- **SolFocus**, empresa estadounidense, (500 kW,200 KW en Puertollano y 300KW en Almoguera, utiliza concentradores de 6,2 KW,600V y 9,6ª con módulos de

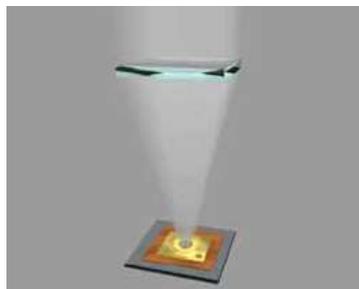


óptica primaria formada por una parábola y una lente que funciona como óptica secundaria, según se puede observar en la siguiente figura)



### *Características módulo Solfocus*

- **Concentrix**, empresa alemana, spin-off del instituto de Fraunhofer de Friburgo, (500 kW, 200KW en Puertollano y 300KW en Sotos, utiliza concentradores de 5,4 KW,800V y 6ª y módulo flatcorn con una sola lente de Fresnel, como se puede ver en la siguiente figura).



### *Módulo Flatcorn*

Phase II: 1.3 MW en proceso de licitación



### **2.4 LEGISLACIÓN**

La legislación española referente a los sistemas fotovoltaicos de conexión a red debe atenderse a las siguientes legislaciones o niveles: europea (por medio de las Directivas comunitarias), nacional (a través de las Leyes, Reales Decretos, Resoluciones y normas UNE que se mencionen explícitamente); de las Comunidades Autónomas, Municipales y Reglamentos de las Compañías Eléctricas de distribución.

Por otra parte, hay que tener en cuenta que cuando no exista disposición normativa de obligado cumplimiento aplicable se tendrán en cuenta los siguientes elementos:

- Normas técnicas nacionales de transposición de normas europeas no armonizadas
- Normas UNE
- Las recomendaciones de la Comisión Europea
- Los códigos de buenas prácticas
- El estado actual de los conocimientos y de la técnica

#### **2.4.1 Legislación de la Unión Europea**

La legislación de la Comunidad Europea, constituida por las correspondientes Directivas, se limita a establecer los requisitos esenciales que deben cumplir los productos. Estos requisitos fijan los límites o niveles de protección en materia de salud y seguridad para el conjunto de la Comunidad. A su vez, las denominadas Normas Armonizadas contienen las especificaciones técnicas que permiten desarrollar los requisitos esenciales de las Directivas. El cumplimiento con una norma, da presunción de conformidad con los requisitos esenciales.

Por tanto, uno de los objetivos de las Directivas Comunitarias es la eliminación de obstáculos a la libre circulación de productos. De esta manera, cada directiva marca



unas pautas cualitativas para garantizar la seguridad y salud de usuarios, bienes y medio ambiente. Mientras que la “cuantificación” se realiza a través de las normas.

Las especificaciones técnicas que responden a estos requisitos esenciales se elaboran con arreglo a la resolución del Consejo de 7 de mayo de 1985 relativa al nuevo enfoque en materia de armonización técnica y normalización (Diario Oficial C 136 de 04.06.1985) y a la Directiva 83/189/CEE. Esta establece un procedimiento de información sobre la normalización, así como un mecanismo mediante el que la Comisión da mandato a los organismos de normalización (CEN, CENELEC, ETSI) para elaborar dichas normas.

### **2.4.2 Normas armonizadas**

Las normas europeas armonizadas son especificaciones técnicas de carácter no obligatorio, elaboradas y editadas por los organismos y comités normalizadores europeos: CEN (Comité Européen de Normalisation), CENELEC (Comité Européen de Normalisation Electrotechnique) y ETSI (European Telecommunications Standards Institute), según mandato de la Comisión Europea. Su elaboración comprende un proceso transparente y abierto para lograr un consenso entre todas las partes interesadas. Aquellas normas se publican en el D.O.U.E. (Diario Oficial de la Unión Europea) como tal, y transpuesta a la legislación nacional.

### **2.4.3 Directivas relacionadas con los sistemas fotovoltaicos conectados a red**

Dos son las directivas de los sectores armonizados, de nuevo enfoque, relacionadas con los componentes (módulos fotovoltaicos e inversores) de las instalaciones fotovoltaicas de conexión a red: la que hace referencia al “Material eléctrico de baja tensión” y la que hace referencia a la “Compatibilidad electromagnética de los aparatos eléctricos y electrónicos”.



DIRECTIVA 2006/95/CE DEL PARLAMENTO EUROPEO Y DEL CONSEJO de 12 de diciembre de 2006 relativa a la aproximación de las legislaciones de los Estados miembros sobre el material eléctrico destinado a utilizarse con determinados límites de tensión (Directiva de «Baja Tensión»).

La **Directiva de Baja Tensión** 2006/95/CE está vigente desde el 17 de enero de 2007. Esta nueva Directiva viene a sustituir a la Directiva 73/23/CEE junto con sus modificaciones, aunque no supone ningún cambio a la legislación existente con la anterior Directiva 73/23/CEE. La nueva Directiva 2006/95/CE, es una “versión codificada” que viene a unificar la Directiva 73/23/CEE junto con todas las directivas que la modificaron. El artículo 14 de la nueva Directiva 2006/95/CE viene a establecer la derogación de la Directiva 73/23/CEE y da a entender que no es necesaria su transposición a la legislación española (las referencias a la Directiva derogada se entenderán hechas a la nueva Directiva con arreglo a la tabla de correspondencias que figura en su Anexo VI).

En la Declaraciones de Conformidad y en la Documentaciones Técnicas que se elaboren para nuevos productos, con fecha a partir de la entrada en vigor, 16 de enero de 2007, se hará referencia obligatoriamente a la nueva Directiva 2006/95/CE.

Por otra parte, el Real Decreto 7/1988 y su modificación Real Decreto 154/1995, se mantienen con el mismo estatus legal, no siendo necesaria la transposición de la nueva Directiva 2006/95/CE por cuanto que esta nueva Directiva no ha supuesto ninguna modificación a la versión en lengua española de la Directiva derogada 73/23/CEE.

Esta Directiva tiene como objetivo garantizar que el material eléctrico únicamente pueda comercializarse si, en caso de instalación y mantenimiento, no pone en peligro la seguridad de las personas, los animales domésticos y los bienes.

Las disposiciones de la Directiva tienen como fin armonizar las legislaciones de los Estados miembros en materia de concepción y fabricación de cualquier material eléctrico destinado a utilizarse:

- con una tensión nominal comprendida entre 50 y 1000 V en corriente alterna



- con una tensión nominal comprendida entre 75 y 1500 V en corriente continua

### **Procedimientos de evaluación de la conformidad**

El fabricante de material eléctrico o su representante en la Comunidad debe garantizar y declarar que el material eléctrico cumple las disposiciones de la Directiva.

El procedimiento de evaluación de la conformidad con los requisitos de la Directiva se aplica en tres fases. En primer lugar, el fabricante debe reunir la documentación técnica. A continuación, el fabricante o su representante en la Comunidad debe redactar una declaración de conformidad. Por último, el material eléctrico debe poseer el marcado «CE» antes de que se pueda comercializar el producto.

A continuación se detalla su transposición y desarrollo, en España:

Real Decreto 7/1988, de 8 de enero, relativo a las exigencias de seguridad del material eléctrico destinado a ser utilizado en determinados límites de tensión B.O.E. N° 12 publicado el 14/1/1988.

Resolución de 18 de enero de 1988, de la Dirección General de Innovación Industrial y Tecnología, por la que se autoriza el empleo del sistema de instalación con conductores aislados, bajo canales protectores de material plástico B.O.E. N° 43 publicado el 19/2/1988.

Orden de 6 de junio de 1989, por la que se desarrolla y complementa el Real Decreto 7/1988, de 8 de enero, relativo a las Exigencias de Seguridad del Material Eléctrico, destinado a ser utilizado en determinados límites de tensión B.O.E. N° 147 publicado el 21/6/1989.

Real Decreto 1505/1990, de 23 de noviembre, por el que se derogan diferentes disposiciones incluidas en el ámbito del Real Decreto 7/1988 B.O.E. N° 285 publicado el 28/11/1990.



Real Decreto 560/1993, de 16 de abril, por el que se derogan diferentes disposiciones vigentes en materia de normalización y homologación B.O.E. N° 98 publicado el 24/4/1993.

Real Decreto 154/1995, de 3 de febrero, por el que se modifica el Real Decreto 7/1988, de 8 de enero, por el que se regula las exigencias de seguridad del material eléctrico destinado a ser utilizado en determinados límites de tensión B.O.E. N° 53 publicado el 3/3/1995. Corrección de errores: BOE N° 69 de 22/3/1995.

Resolución de 24 de octubre de 1995, de la Dirección General de Calidad y Seguridad Industrial, por la que se actualiza el anexo I de la Orden del Ministerio de Industria y Energía de 6 de junio de 1989 B.O.E. N° 275 publicado el 17/11/1995.

Resolución de 20 de marzo de 1996, de la Dirección General de Seguridad Industrial del Departamento de Industria y Energía, por la que se autoriza al Laboratorio General de Ensayos e Investigaciones, como organismo de control notificado a la UE referente a los ensayos de aparatos a gas B.O.E. N° 103 publicado el 29/4/1996.

Real Decreto 1890/2000, de 20 de noviembre, por el que se aprueba el Reglamento que establece el procedimiento para la evaluación de la conformidad de los aparatos de telecomunicaciones B.O.E. N° 289 publicado el 2/12/2000.

Resolución de 19 de noviembre de 2001, de la Dirección General de Política Tecnológica, por la que se hacen públicas las normas armonizadas que satisfacen las exigencias de seguridad del material eléctrico destinado a ser utilizado en determinados límites de tensión. B.O.E. N° 296 publicado el 11/12/2001.

Resolución de 14 de octubre de 2002, de la Dirección General de Política Tecnológica, por la que se hacen públicas las normas armonizadas que satisfacen las exigencias de seguridad del material eléctrico destinado a ser utilizado en determinados límites de tensión B.O.E. N° 265 publicado el 5/11/2002.



Resolución de 11 de mayo de 2005, de la Dirección General de Desarrollo Industrial, por la que se acuerda la publicación de la relación de aprobaciones europeas de materiales en el ámbito del Real Decreto 769/1999, de 7 de mayo, por el que se dictan las disposiciones de aplicación de la Directiva 97/23/CE B.O.E. N° 131 publicado el 2/6/2005.

Resolución de 7 de octubre de 2005, de la Dirección General de Desarrollo Industrial, por la que se actualiza el anexo I de la Resolución de 14 de octubre de 2002, de la Dirección General de Política Tecnológica, por la que se publican las normas armonizadas y se incluyen las normas nacionales que satisfacen las exigencias de seguridad del material eléctrico destinado a ser utilizado en determinados límites de tensión. B.O.E. N° 269 publicado el 10/11/2005.

Directiva 2004/108/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 15 de diciembre de 2004, relativa a la aproximación de las legislaciones de los Estados miembros en materia de compatibilidad electromagnética y por la que se deroga la Directiva 89/336/CEE.

Esta Directiva está dirigida a armonizar las disposiciones de Derecho nacional que garantizan la protección contra las perturbaciones electromagnéticas de los equipos. La Directiva se basa en los principios del «nuevo enfoque» en materia de armonización técnica y de normalización. De conformidad con ese nuevo enfoque, el diseño y la fabricación de equipos están sujetos a requisitos esenciales relacionados con la compatibilidad electromagnética. La nueva Directiva 2004/108/CE sobre Compatibilidad Electromagnética entró en vigor el 20 de julio de 2007, sustituyendo a la Directiva 89/336/CEE.

Su transposición y desarrollo a la legislación española se hace por medio del Real Decreto 1580/2006, de 22 de diciembre, por el que se regula la compatibilidad electromagnética de los equipos eléctricos y electrónicos B.O.E. N° 15 publicado el 17/1/2007.



De acuerdo con esta directiva se definen los siguientes conceptos:

«Equipo»: cualquier aparato o instalación fija.

«Aparato»: cualquier aparato acabado, o una combinación de ellos comercializada como unidad funcional única destinada al usuario final, y que pueda generar perturbaciones electromagnéticas, o cuyo funcionamiento pueda verse afectado por estas perturbaciones.

«Instalación fija»: combinación particular de varios tipos de aparatos y, cuando proceda, de otros dispositivos, ensamblados, instalados y destinados a un uso permanente en un sitio predefinido.

«Compatibilidad electromagnética»: capacidad de que un equipo funcione de forma satisfactoria en su entorno electromagnético sin introducir perturbaciones electromagnéticas intolerables para otros equipos en ese entorno.

«Perturbación electromagnética»: cualquier fenómeno electromagnético que pueda crear problemas de funcionamiento a un equipo. Una perturbación electromagnética puede consistir en un ruido electromagnético, una señal no deseada o una modificación del propio medio de propagación.

Los requisitos esenciales de compatibilidad electromagnética genérica prescriben que los aparatos deben haber sido diseñados y fabricados de tal forma que:

- las perturbaciones electromagnéticas producidas no rebasen un nivel por encima del cual los equipos de radio y de telecomunicaciones u otros equipos no puedan funcionar de la forma prevista.
- tengan un nivel de inmunidad frente a las perturbaciones electromagnéticas que les permita funcionar sin una degradación inaceptable en el marco de la utilización prevista.



### 2.4.5 Marco legislativo nacional. Marco de referencia actual

A nivel nacional debe tenerse en cuenta que la legislación puede afectar a los siguientes aspectos: administrativos, técnicos y financieros.

En cuanto a la normativa general se deben mencionar los siguientes documentos:

- Ley 54/1997, del sector eléctrico, de 27 de noviembre
- Plan de Energías Renovables en España (PER) 2005-2010
- Real Decreto 842/2002, Reglamento Electrotécnico de Baja Tensión
- Real Decreto 314/2006 de 17 de Marzo, Código Técnico de Edificación

Con respecto a la normativa desde el punto de vista administrativo los siguientes documentos pueden distinguirse:

Real Decreto 2818/1998, de 23 de diciembre sobre producción de energía eléctrica por instalaciones abastecidas por recursos o fuentes de energía eléctrica por instalaciones abastecidas por recursos o fuentes de energías renovables, residuos y cogeneración (en todo lo no previsto por el Real Decreto 1663/2000).

Real Decreto 1663/2000, de 29 de septiembre sobre conexión de instalaciones fotovoltaicas a la red de baja tensión.

Orden de 5 de septiembre de 1985 por la que se establecen normas administrativas y técnicas para funcionamiento y conexión a las redes eléctricas de centrales hidroeléctricas de hasta 5000 KVA y centrales de autogeneración eléctrica.

Orden ECO/797/2002, de 22 de marzo por el que se aprueba el procedimiento de medida y control de continuidad del suministro eléctrico.



Real Decreto 154/1995, de 3 de febrero, por el que se modifica el real decreto 7/1988, de 8 de enero, por el que se regula las exigencias de seguridad del material eléctrico destinado a ser utilizado en determinados límites de tensión.

Real Decreto 1955/2000, de 1 de diciembre, por el que se regulan las actividades de transporte, distribución, comercialización, suministro y procedimientos de autorización de instalaciones de energía eléctrica.

Resolución de 31 de mayo de 2001 por la que se establecen modelo de contrato tipo y modelo de factura para instalaciones solares fotovoltaicas conectadas a la red de baja tensión.

Real Decreto 841/2002, de 2 de Agosto por el que se regula para las instalaciones de producción de energía eléctrica en régimen especial su incentivación en la participación en el mercado de producción, determinadas obligaciones de información de sus previsiones de producción, y la adquisición por los comercializadores de su energía eléctrica producida.

Real Decreto 1433/2002, de 27 de diciembre de 2002 por el que se establecen los requisitos de medida en baja tensión de consumidores y centrales de producción en Régimen Especial.

Real Decreto 1801/2003 de 26 de diciembre de 2003 sobre seguridad general de los productos.

Real Decreto 1580/2006, de 22 de diciembre, por el que se regula la compatibilidad electromagnética de los equipos eléctricos y electrónicos.

Real Decreto 661/2007, de 25 de mayo, por el que se regula la actividad de producción de energía eléctrica en régimen especial.

Real Decreto 1114/2007 de 24 de agosto de 24 de agosto, por el que se complementa el Catálogo Nacional de Cualificaciones Profesionales, mediante el establecimiento de



cuatro calificaciones profesionales correspondientes a la familia profesional energía y agua.

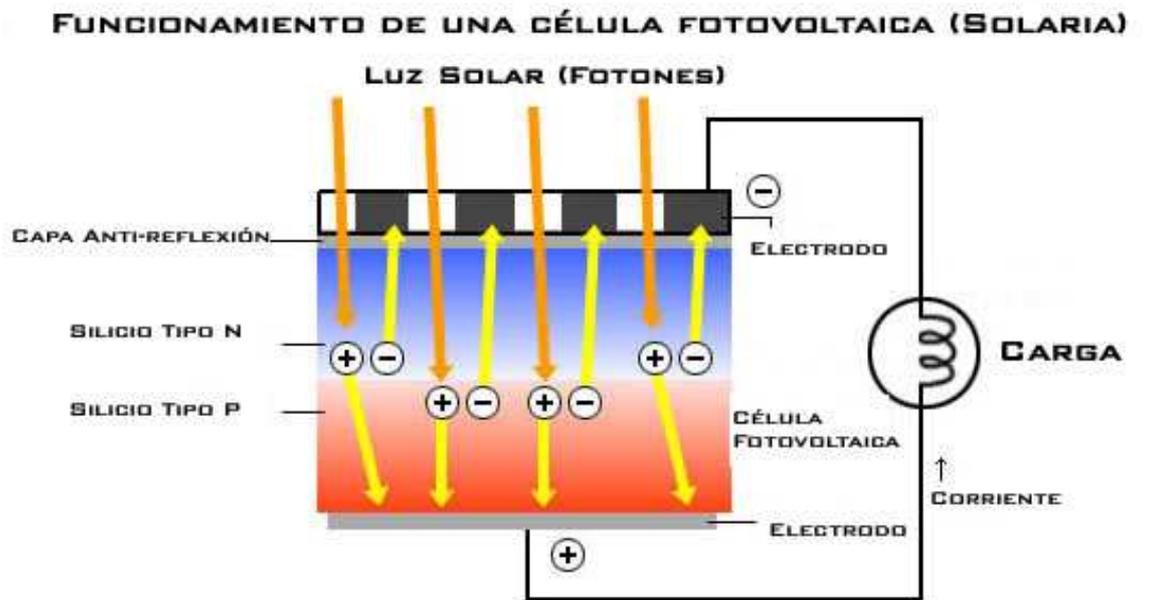
Resolución de 27 de septiembre de 2007, de la Secretaría General de Energía, por la que se establece el plazo de mantenimiento de la tarifa regulada para la tecnología fotovoltaica, en virtud de lo establecido en el artículo 22 del Real Decreto 661/2007, de 25 de mayo.

### 3.GENERADOR FOTOVOLTAICO

En este capítulo se va a presentar un estado de la técnica de los distintos tipos de células fotovoltaicas comercializadas en la actualidad.

#### 3.1.FUNCIONAMIENTO DEL GENERADOR FOTOVOLTAICO

El generador fotovoltaico (FV) es el que se encarga de generar la energía eléctrica a partir de la energía incidente del Sol. Está formado por un conjunto de módulos FV conectados en serie y paralelo. A su vez dichos módulos están formados por células fotovoltaicas.



*Figura 3.1.1 Funcionamiento de una célula fotovoltaica*

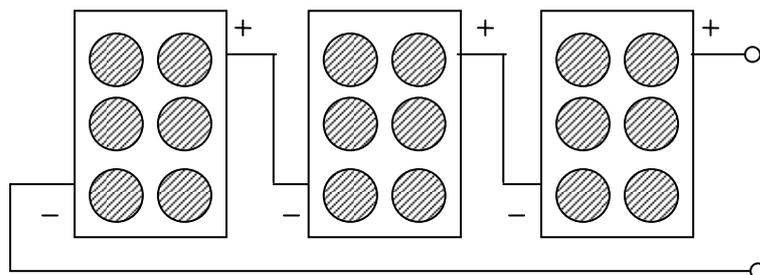


La luz solar incidente sobre la célula fotovoltaica es absorbida por la misma, al menos una parte de ella, y esa misma energía (fotones) son los que generan electricidad. La energía de la luz solar (fotones) es absorbida y genera partículas con cargas positivas y negativas (huecos y electrones), las cuales se mueven libremente en todas direcciones. Los electrones (carga negativa) tienden a la unión semiconductor N y los huecos a la unión semiconductor P.

Las celdas se agrupan en lo que se denomina el módulo solar o fotovoltaico. Este conjunto de celdas deben estar convenientemente conectadas, de tal forma que reúnan las condiciones óptimas para su integración en sistemas de generación de energía, siendo compatibles con las necesidades y los equipos estándares existentes en el mercado.

Las celdas solares se conectan en serie o en paralelo.

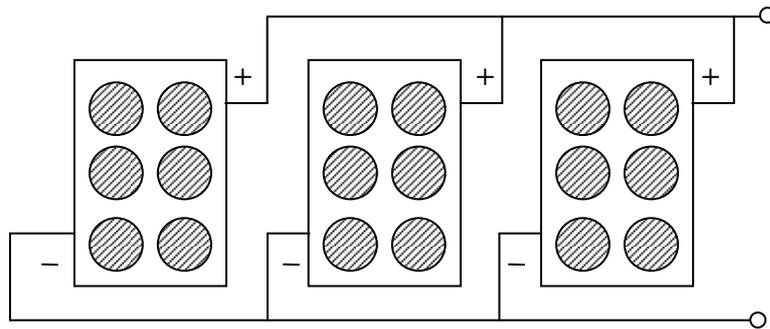
**\_Conexión en serie:** se conectan diferentes placas uniendo el polo de la primera con el contrario de la segunda. La tensión total del sistema es la tensión del sistema multiplicada por el número de placas colocadas en serie. La intensidad total por el contrario es la intensidad de una única placa.



*Figura 3.1.2 Conexión en serie*



**Conexión en paralelo:** se conectan diferentes placas uniendo todos los polos positivos por un lado y los negativos por el otro. La tensión total del sistema es la tensión de una sola placa. La intensidad total es la intensidad de una multiplicada por el número de placas solares en paralelo.



*Figura 3.1.3 Conexión en paralelo*



### **3.2 PARÁMETROS CARACTERÍSTICOS DEL MÓDULO SOLAR**

Generalmente en las hojas de características (datasheet) de los módulos suelen aparecer unos datos eléctricos que vienen a determinar el comportamiento eléctrico del módulo bajo unas condiciones estándar de medida (STC) 1000w/m<sup>2</sup> y una temperatura T=25°C.

#### **La intensidad o corriente de cortocircuito (I<sub>sc</sub>)**

Es la máxima corriente generada por el módulo solar y se mide cuando se conecta un circuito exterior a la celda con resistencia nula. La unidad de medición es el amperio. Su valor depende del área superficial y de la radiación luminosa.

#### **La tensión de circuito abierto (V<sub>oc</sub>)**

Es el voltaje máximo que genera un módulo solar. Su unidad de medición es el volt. Este voltaje se mide cuando no existe un circuito externo conectado a la celda.

#### **Potencia máxima (P<sub>mp</sub>)**

Punto de funcionamiento del módulo fotovoltaico, en el que éste da la máxima potencia posible.

#### **Corriente nominal y voltaje nominal (I<sub>mp</sub> y V<sub>mp</sub>)**

La corriente y el voltaje en el punto de máxima potencia (I<sub>mp</sub> y V<sub>mp</sub>) corresponden a la corriente nominal y voltaje nominal del módulo, respectivamente.

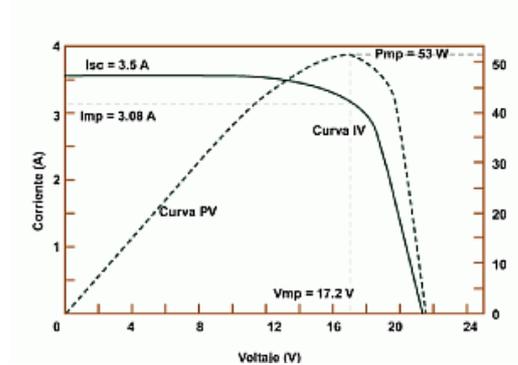
#### **Factor de forma (FF)**

Expresa la razón entre el punto de máxima potencia y el producto entre el voltaje a circuito abierto y la corriente en cortocircuito

El comportamiento eléctrico de los módulos está dado por las curvas de corriente contra voltaje (**curva IV**) o potencia contra voltaje (**curva PV**) que los caracteriza. La curva

de potencia se genera multiplicando la corriente y el voltaje en cada punto de la curva IV. Bajo condiciones estándares de prueba (irradiancia de  $1\text{kW/m}^2$  y temperatura de celda de  $25\text{ }^\circ\text{C}$ ), cada modelo de módulo tiene una curva IV (o PV) característica. Cuando el módulo opera lejos del punto de máxima potencia, la potencia entregada se reduce significativamente

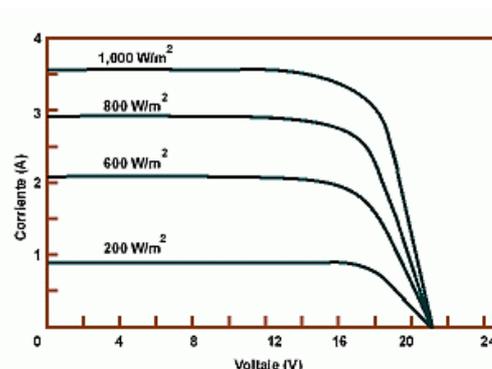
### Curva IV y PV para un módulo fotovoltaico típico a $1,000\text{ W/m}^2$ y $25\text{ }^\circ\text{C}$



*Figura 3.2.1 Curva IV y PV*

El funcionamiento del módulo fotovoltaico se ve afectado por la **intensidad de la radiación y de la temperatura**. Se presenta un aumento proporcional de la corriente producida con el aumento de la intensidad.

### Dependencia de la corriente producida en función del voltaje para diferentes intensidades de radiación (temperatura constante de $25\text{ }^\circ\text{C}$ )



*Figura 3.2.2 Corriente producida en función de voltaje*

En esta figura se muestra el efecto que produce la temperatura sobre la producción de corriente en el módulo. Esta vez, el efecto se manifiesta en el voltaje del módulo. La potencia nominal se reduce aproximadamente 0.5% por cada grado centígrado por encima de 25 °C.

### Dependencia de la corriente producida en función del voltaje para diferentes temperaturas de operación (irradiancia constante 1,000W/m<sup>2</sup>)

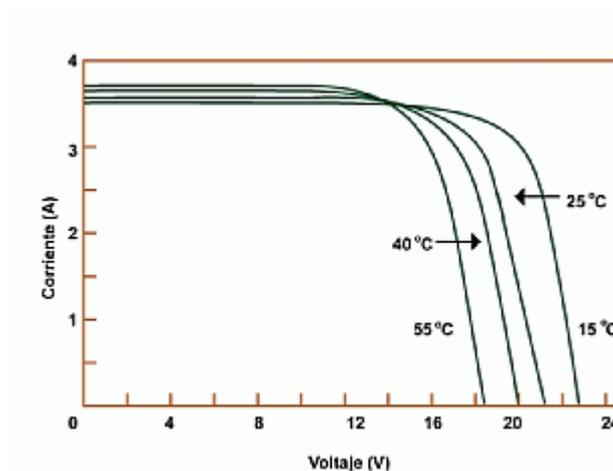


Figura 3.2.3 Corriente producida en función de voltaje

### Inclinación del generador fotovoltaico

La máxima energía se obtiene cuando los rayos solares llegan perpendiculares a la superficie del captador. En el caso de arreglos fotovoltaicos la perpendicularidad entre las superficies de los módulos y los rayos solares solo se puede conseguir si las estructuras de montaje del arreglo se mueven siguiendo al Sol.

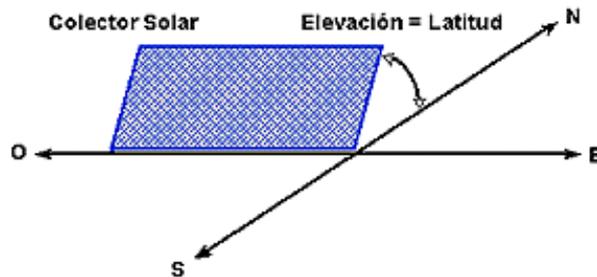
Existen estructuras de soporte que ajustan automáticamente el azimut y/o la elevación. Estas estructuras de montaje se llaman **seguidores**. Generalmente el ángulo de



elevación del arreglo es fijo. En algunos casos se usan seguidores azimutales. Dependiendo de la latitud del lugar, los seguidores azimutales pueden incrementar la insolación promedio anual en un 15-25%.

En el caso de que no se tenga un seguidor solar, el arreglo se monta en una estructura fija. Este montaje tiene la ventaja de ser muy sencillo. Debido a que el ángulo de elevación del Sol cambia durante el año, se debe tener un criterio de selección del ángulo óptimo del arreglo que garantice la máxima producción de energía eléctrica. En el hemisferio Norte el Sol se declina hacia el Sur, por lo cual se requiere que los arreglos fijos se coloquen inclinados (respecto de la horizontal) viendo hacia el Sur.

**Orientación de una estructura fija para maximizar la captación de radiación solar a lo largo del año**



*Figura 3.2.4 Orientación idónea para maximizar captación de radiación*



### **3.3 TIPOS DE CÉLULAS FOTOVOLTAICAS**

Dentro de los tipos de células solares podemos distinguir tres grandes grupos:

- **células “convencionales”** (tipo monocristalino, tipo policristalino, tipo silicio amorfo)
- **otro tipo de células** (silicio amorfo triple, silicio amorfo tándem, CdTe, EFG, RIBBON, CIS, Apex, HIT  $\mu$ -Si/a-Si, mono-LGBC)
- **células de concentración**

A continuación se va desarrollar cada uno de los grupos. Los fabricantes seleccionados en negrita, son los fabricantes más importantes en la fabricación de cada tipo de célula fotovoltaica, que serán utilizados en el capítulo cuatro en la comparativa realizada.

#### **3.3.1 SILICIO MONOCRISTALINO**

Los fabricantes de células de silicio monocristalino son los que a continuación se presentan, en la tabla.

##### **3.3.1.1 Fabricantes**

###### **Fabricantes de células fotovoltaicas**

Air Water Inc.

AstroPower

Bharat Electronics Limited

Bharat Heavy Electricals Ltd (BHEL)

###### **BP Solar**

Central Electronics Ltd.

Delsolar

###### **Deutsche Cell**

EniTecnologie

Resol Solar Energy AG

###### **E-Ton**

Eurosolare



## CAPÍTULO 3 GENERADOR FOTOVOLTAICO

Fortum Corporation
GE Energy
Helios Technology SRL
<b>Isofoton</b>
KL Solar Company Pvt. Ltd
Maharishi Solar Technology Pvt. Ltd.
Microsol Power P. Ltd.
<b>Motech Industries</b>
Others
<b>Photowatt Internacional SAS</b>
<b>Q-Cells AG</b>
<b>RWE Schott Solar GmbH / RWE Schott Solar Inc.</b>
<b>Sanyo Electric Co., Ltd.</b>
Semiconductor Manufacturing Internacional Corp.
<b>Sharp Corporation</b>
Shell Solar
<b>Siemens und Shell Solar GmbH</b>
Solartec s.r.o.
Solartron Co. Ltd.
Solarwatt Cells GmbH
Solec
Solterra Fotovoltaico SA
<b>SunPower Corp.</b>
<b>Suntech Power Co., Ltd.</b>
Sunways AG Photovoltaics
Telecom-STV Co., Ltd.
Topsolar
Usha Limited
USL Photovoltaics Pvt Ltd

*Fig.3.3.1.1.1 Tabla con los fabricantes del tipo silicio monocristalino*

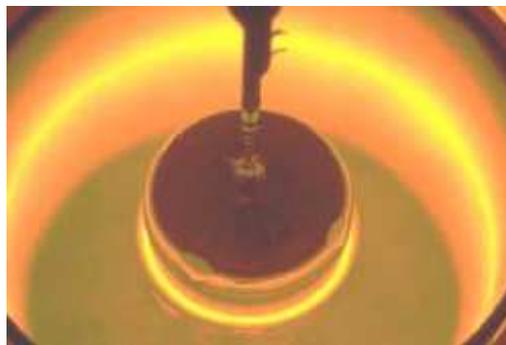


### 3.3.1.2 Características de las células fotovoltaicas de silicio monocristalino

Es el material más utilizado actualmente para la fabricación de células solares. Su fabricación es laboriosa y compleja, se intenta sustituir para abaratar los costos.

El proceso de fabricación es el siguiente: primero el silicio se purifica, se funde y se cristaliza en lingotes redondos. Una vez redondeado se corta en finas obleas, para conseguir células individuales cortando los extremos redondeados para aprovechar la superficie.

La técnica más extendida de fabricación de silicio **monocristalino** es el método Czochralski (o método CZ) figura 3.3.1.2, en el que una semilla de silicio monocristalino toca la superficie del silicio fundido contenido en un crisol. Conforme la semilla del cristal se va extrayendo muy lentamente, el silicio fundido se solidifica y sus átomos siguen la estructura de la semilla y, por tanto, van extendiendo la estructura monocristalina.



*Figura 3.3.1.2.1 Método czochalski*

Las células tienen un color uniforme, generalmente azul o negro y se consigue un rendimiento del 19,1% en laboratorio y entre un 10 % y un 13% en producción.



*Figura 3.2.1.2.2 Célula monocristalino*

### **3.3.2 SILICIO POLICRISTALINO**

Los fabricantes de células de silicio policristalino son los siguientes:

#### **3.3.2.1 Fabricantes**

##### **Fabricantes de células fotovoltaicas**

##### **BP Solar**

Canon

CSG Solar AG

##### **Deutsche Cell**

Diverse

Energies Nouvelles et Environnement (ENE)

EniTecnologie

ErSol Solar Energy AG

Eurosolare

##### **Kyocera**

Kyocera Corporation

Maharishi Solar Technology Pvt. Ltd.

##### **Mitsubishi Electric Corporation**

##### **Motech Industries**

Phönix SonnenStrom AG

Photovoltech NV SA

##### **Photowatt International SAS**



<b>Q-Cells AG</b>
<b>RWE Schott Solar GmbH / RWE Schott Solar Inc.</b>
Scanmodule AB
Schott Solar GMBH
<b>Sharp Corporation</b>
Shell Solar
<b>Siemens und Shell Solar GmbH</b>
SolarWorld AG
<b>SunPower Corp.</b>
<b>Suntech Power Co., Ltd.</b>
Sunways AG Photovoltaics
United Solar Ovonic LLC
Yunnan Tianda Photovoltaic Co., Ltd.

Fig 3.3.2.1.1 Tabla con los fabricantes del tipo silicio policristalino.

### 3.3.2.2 Características de las células fotovoltaicas de silicio policristalino

Las células **policristalinas** están fabricadas con silicio de menor pureza y por tanto de un costo más bajo que las células monocristalinas, esto da lugar generalmente a un rendimiento más bajo, pero los fabricantes de las células policristalinas afirman que las ventajas del coste compensan las pérdidas de la eficacia.

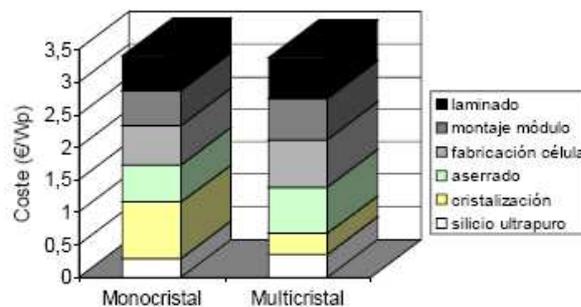


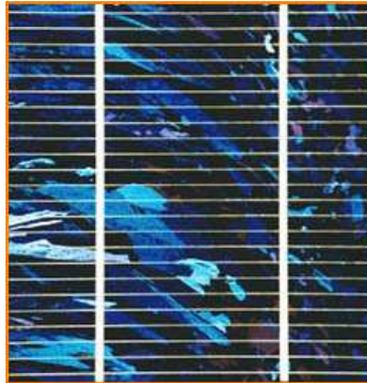
Figura 3.3.2.2.1 Comparación de tipo silicio monocristalino y multicristalino



En este gráfico podemos ver una distribución aproximada de costes de fabricación de una célula solar policristalina y monocristalina. Se puede observar que a pesar de la reducción de costes de la célula policristalina, los costes quedan aumentados por el menor rendimiento del módulo y mayor tasa de rechazo en la fabricación de la célula (10% frente al 5% en monocristalino).

La diferencia entre la superficie de las células monocristalinas y policristalinas se basa en que las policristalinas tienen zonas de colores diferentes, en vez del color uniforme de las células monocristalinas.

Las células policristalinas consiguen un rendimiento del 18% en laboratorio y entre un 10 y un 12% en producción.



***Figura 3.3.2.2.2 Célula policristalina***

### **3.3.3 SILICIO AMORFO(SINGLE)**

Los fabricantes de células de silicio amorfo single son las siguientes:

#### **3.3.3.1 Fabricantes**

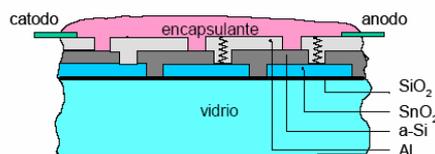
<b>Fabricantes de células fotovoltaicas</b>
<b>BP Solar</b>
Canon
<b>RWE Schott Solar GmbH / RWE Schott Solar Inc.</b>
Schott Solar GMBH
United Solar Ovonics LLC

*Figura 3.3.3.1.1 Tabla con los fabricantes de células fotovoltaicas tipo silicio amorfo*

#### **3.3.3.2 Explicación tipo de célula silicio amorfo simple**

El **silicio amorfo** no tiene ninguna estructura cristalina a diferencia de los anteriores. El silicio amorfo está formado por capas depositadas al vacío sobre un cristal, plástico o metal.

Puesto que pueden ser hechas de diversos tamaños forman generalmente una célula continua que ocupa todo el módulo. Hasta el momento actual el principal problema del silicio amorfo es su disminución de eficiencia tras una prolongada exposición a los rayos solares, a pesar de que el material es muy estable y el comportamiento frente a agentes externos como humedad, temperatura, corrosión es muy buena. En las 100 primeras horas de funcionamiento se produce una degradación hasta que se estabiliza y la producción de corriente es prácticamente estable después.



*Figura 3.3.3.2.1 Célula de silicio amorfo*

### 3.3.4 SILICIO AMORFO TIPO TÁNDEM

Los fabricantes de células tipo amorfo tándem son los siguientes:

#### 3.3.4.1 Fabricantes

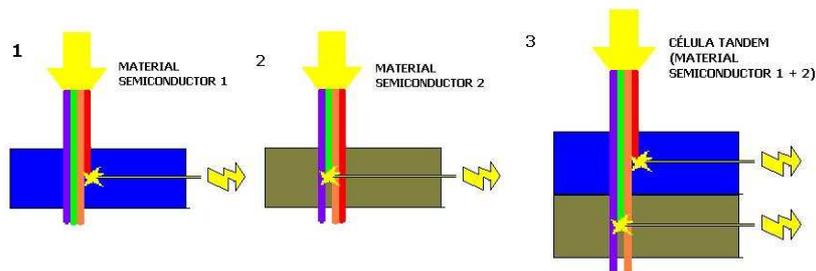
<p><b>Fabricantes de células fotovoltaicas</b></p> <p><b>RWE Schott Solar GmbH / RWE Schott Solar Inc.</b></p> <p>Schott Solar GMBH</p>
---

*Fig 3.3.4.1.1 Tabla con los fabricantes del tipo de célula de silicio amorfo tándem*

#### 3.3.4.2 Explicación de tipo silicio amorfo tándem

Los módulos tipo tándem consisten en una capa fotovoltaica de silicio amorfo y una capa fotovoltaica de silicio microcristalino en la parte superior. El módulo fotovoltaico tipo tándem puede absorber una variedad más amplia de longitudes de onda de luz solar (de ultravioleta a infrarrojo) y así se obtiene más alta eficiencia de conversión.

Las células de silicio tipo **tándem**, combinan dos tipos de materiales semiconductores distintos. Debido a que cada tipo de material aprovecha sólo una parte del espectro electromagnético de la radiación solar, mediante la combinación de dos o tres tipos de materiales, es posible aprovechar una mayor parte del mismo.



*Figura 3.3.4.2.1 Formación célula tipo silicio amorfo tándem*



La célula con material semiconductor 1, solo aprovecha una parte del espectro electromagnético de que está compuesta la luz solar (2). La célula con el material semiconductor 2 aprovecha otra parte del espectro electromagnético de la luz diferente al del material semiconductor 1 (3) en la célula de silicio-T se combinan ambos tipos de materiales, con lo que se aprovecha la parte del espectro electromagnético de ambos tipos de materiales son capaces de transformar en energía eléctrica. El rendimiento total será en teoría la suma de los rendimientos de ambos tipos de células por separado.

### **3.3.5 SILICIO AMORFO TRIPLE**

Los fabricantes de célula de tipo silicio amorfo triple son las siguientes.

#### **3.3.5.1 Fabricantes**

<b>Fabricantes de células fotovoltaicas</b> <b>RWE Schott Solar GmbH / RWE Schott Solar Inc.</b> Schott Solar GMBH
--

*Fig 3.3.5.1.1 Tabla con los fabricantes del tipo Silicio amorfo triple*

#### **3.3.5.2 Explicación del tipo silicio amorfo triple**

Estos módulos están formados por un sistema de tres elementos de silicio superpuesto que genera electricidad aprovechando los diferentes espectros de luz solar. Se trata de un sistema que está colocado entre dos electrodos conductores (polo positivo/polo negativo).

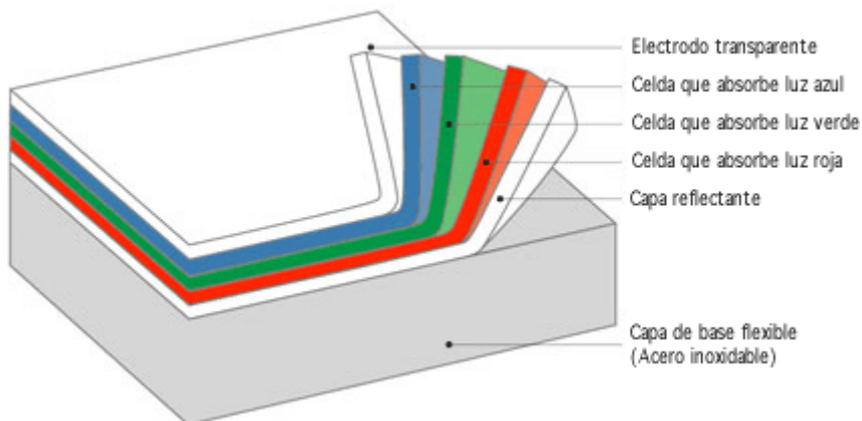
Consiguiéndose un sistema ligero, estanco e irrompible con las siguientes características:

- Gran eficacia en la captación de energía solar.

- Menor caída de potencia en situaciones de alta temperatura, debido al comportamiento de los módulos de silicio.
- Insensibilidad a las sombras parciales.

Al tener intercalado un diodo de derivación en cada una de las células la totalidad del sistema no se ve afectado en el momento que se producen sombras parciales en la superficie.

Como consecuencia la estructura de capa triple, mediante la combinación con una capa microcristalina, reduce la degradación lumínica". La combinación tiene como resultado "una eficiencia de conversión de un 13% en la célula y de un 10% en el módulo".



**Fig 3.3.5.2.1 Estructura de una célula fotovoltaica del tipo Silicio amorfo triple**



### **3.3.6 CdTe**

Los fabricantes de células fotovoltaicas tipo CdTe son:

#### **3.3.6.1 Fabricantes**

<b>Fabricantes de células fotovoltaicas</b>
Antec Solar Energy AG
<b>BP Solar</b>
First Solar LLC

*Fig 3.3.6.1.1 Tabla con los fabricantes del tipo de célula: CdTe*

#### **3.3.6.2 Explicación del tipo CdTe**

El **telurio de cadmio**, conocido como CdTe, es otra clase de película fina. Tiene cualidades útiles, pero tiene el problema que la sustancia es tóxica. El CdTe es también menos eficiente que el silicio, aunque es más barato

En la fabricación de este tipo de células se utiliza vidrio recubierto con una delgada película de un compuesto cristalino de cadmio - telurio en vez del típico y costoso silicio, necesitando 100 veces menos material semiconductor.

Debido a que este proceso crea paneles altamente eficaces (de 11 a 13%), y de una forma rápida, puede hacerse todo de una forma mucho más barata, con tecnologías existentes. El costo para el consumidor se podría reducir en un 50%.

Y algo también interesante es que esta nueva tecnología en paneles solares, no necesita ser conectada a la red eléctrica, por lo que puede utilizarse en cualquier región por más alejada e inhóspita que sea.

El problema de este tipo de material es que la sustancia es tóxica.

### **3.3.7 EFG**

Los fabricantes de células fotovoltaicas tipo EFG son los siguientes:

#### **3.3.7.1 Fabricantes**

<b>Fabricantes de células fotovoltaicas</b> RWE Schott Solar GmbH / RWE Schott Solar Inc. Schott Solar GmbH
---

*Fig 3.3.7.1.1 Tabla con los fabricantes de tipo de célula: EFG*

#### **3.3.7.2 Explicación del tipo de célula fotovoltaica: EFG**

Las obleas solares son elementos básicos de las células **EFG**, se fabrican por el proceso EFG (Edge defined Film-fed Growth) patentado en todo el mundo por SCHOTT Solar GmbH.

A diferencia de la fabricación tradicional por corte de un bloque de silicio, en el proceso EFG se obtiene el producto estirado directamente del punto de fusión en forma de tubo octogonal de silicio



*Figura 3.3.7.2.1 Formación célula tipo EFG*

El perfil octogonal de silicio de 6 m de longitud tiene un grosor de pared de 330  $\mu\text{m}$ , que ya es el grosor definitivo de las células. Luego, se cortan las obleas de 100mm<sup>2</sup> y 125mm<sup>2</sup> con un láser, como se puede ver en la figura 3.3.7.2.1. . Las empresas productoras de módulos de todo el mundo vienen utilizando células EFG desde 1981 para aplicaciones que van desde unos pocos Wp hasta grandes módulos de 300 Wp para las condiciones climáticas más severas.

### **3.3.8 STRING RIBBON**

Los fabricantes de células fotovoltaicas tipo String Ribbon son los siguientes:

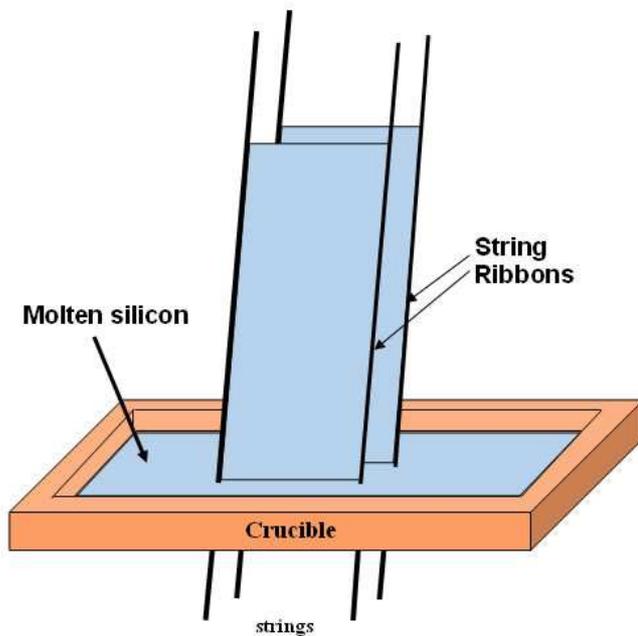
#### **3.3.8.1 Fabricantes**

<b>Fabricantes de células fotovoltaicas</b>
Ebara Solar Inc.
Evergreen Solar
<b>RWE Schott Solar GmbH / RWE Schott Solar Inc.</b>

*Fig 3.3.8.1.1 Tabla con los fabricantes de l tipo de célula fotovoltaica : String Ribbon*

#### **3.3.8.2 Explicación del tipo String Ribbon**

En la técnica de String-Ribbon, dos cadenas de alta temperatura se extraen verticalmente a través de un somero silicio, se derriten, y el silicio fundido se extiende entre las dos cuerdas a través de la tensión superficial y se congela entre ellas.



*Fig 3.3.8.2.1 Formación del tipo de célula String Ribbon*

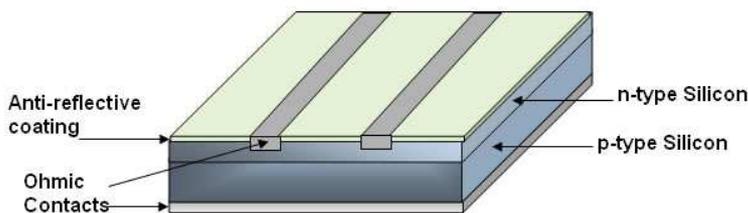
### Ventajas

- Casi logra la eficacia de las células de oblea de silicio
- Elimina el gasto de silicio del proceso de serrado.

### Inconvenientes

- Las obleas de cuerda no son tan planas como las obleas convencionales cortadas de silicio policristalino y esto puede afectar a la producción.
- Todavía es un proceso manual (aunque un sistema automatizado está en desarrollo).
- Tiene una penalización de eficacia.
- String Ribbon requiere alrededor del 35 % menos de silicio policristalino que las células convencionales solares pero este necesita la especialidad de el silicio policristalino granular.

Históricamente, el tipo String Ribbon ha quedado un poco alejado de la eficiencia de otras células de silicio, pero la diferencia se está acortando. Ahora ya se fabrican células con eficiencias en torno al 15%.



**Figura 3.3.8.2.2 Célula tipo String Ribbon**

### **3.3.9 DISELENIURO DE COBRE(CIS)**

Los fabricantes de células fotovoltaicas tipo CIS son los siguientes:

#### **3.3.9.1 Fabricantes**

<b>Fabricantes de células fotovoltaicas</b>
Mitsubishi Electric Corporation
Shell Solar
Sulfurcell Solartechnik GmbH

*Fig 3.3.9.1.1 Tabla con los fabricantes del tipo de célula fotovoltaica: CIS*

#### **3.3.9.2 Explicación del tipo CIS**

Este tipo de célula fotovoltaica, esta basado en el Diseleniuro de Cobre de Indio(CIS) y se prevé que en un futuro, debido a su competitiva relación entre producción de energía/costo pueda llegar a sustituir a los combustibles fósiles en la producción de energía. Los módulos CIS se caracterizan por absorber un espectro ancho de energía y garantizan máxima energía bajo condiciones desfavorables.



*Fig 3.3.9.2.1 Estructura de un módulo tipo CIS*

Los módulos CIS se distinguen por su superficie homogénea negra como se puede ver en la figura 3.2.9.3



*Figura 3.3.9.2.2 Célula tipo CIS*



### **3.3.10 APEX**

El fabricante de células fotovoltaicas tipo Apex se puede ver en la tabla siguiente:

#### **3.3.10.1 Fabricantes**

Fabricantes de células fotovoltaicas
AstroPower

*Fig 3.3.10.1.1 Tabla con el fabricante del tipo de célula fotovoltaica: Apex*

#### **3.3.10.2 Explicación del tipo Apex**

Elaborados con silicio multicristalino, las células fotovoltaicas **Apex** presentan la duración y estabilidad necesarias para ofrecer un óptimo comportamiento.



*Figura 3.3.10.2.1 Célula tipo Apex*

### **3.3.11 HIT**

El fabricante de células fotovoltaicas tipo HIT se puede observar en el cuadro siguiente:

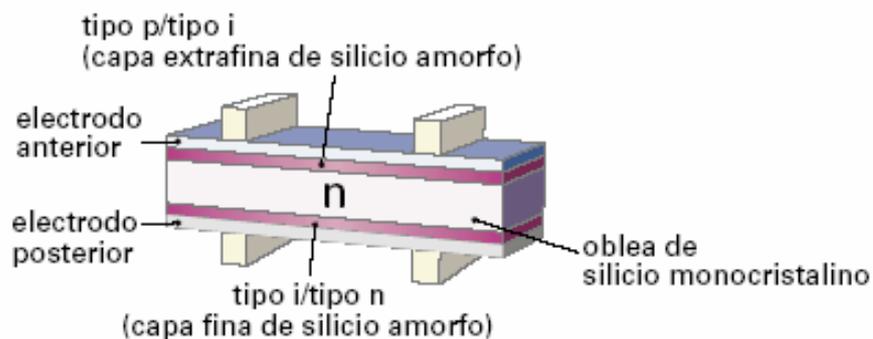
#### **3.3.11.1 Fabricante**

**Fabricantes de células fotovoltaicas**  
Sanyo Electric Co., Ltd.

*Fig.3.3.11.1.2 Tabla con el fabricante de células fotovoltaicas tipo HIT*

#### **3.3.11.2 Explicación del tipo HIT**

El panel solar tipo **HIT** de Sanyo se caracteriza por estar formado por obleas de silicio monocristalino recubiertas por una capa muy delgada de silicio amorfo. Esta célula es producida con las técnicas de producción más moderna, proporciona el rendimiento más elevado del sector.



*Figura 3.3.11.2.1 Composición célula tipo HIT*



### **Ventajas**

#### **Beneficios en términos de rendimiento**

- Alta eficiencia de la célula y del módulo. La célula HIT y el módulo tienen el nivel más alto del mundo en eficiencia conversión en producción de masa.
- Alto rendimiento a altas temperaturas

Incluso a altas temperaturas, la célula solar HIT puede mantener una eficiencia más alta que una célula solar cristalina convencional.

#### **Beneficios para el medioambiente**

- Baja necesidad de energía para la producción: la célula solar HIT requiere sólo 200° C para el proceso de formación de los enlaces (una célula solar cristalina: cerca de 900° C). Esto ayuda a ahorrar energía.
- Diseño plano: la célula solar HIT tiene alrededor de 200 µm de espesor (una célula solar convencional alrededor de 350 µm). Esto ayuda a ahorrar silicio.

#### **Aplicaciones**

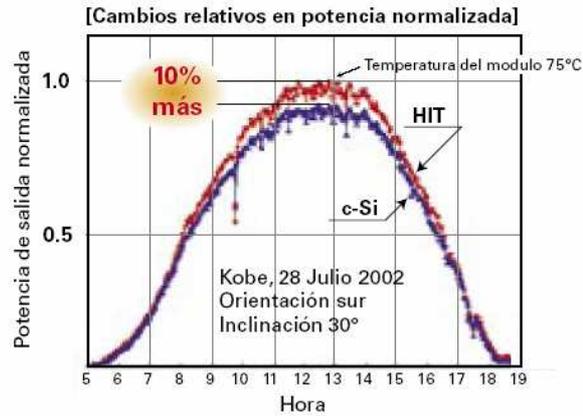
- Cubiertas de casas residenciales
- Sistemas aislados de alto voltaje
- Grandes sistemas de conexión a red
- Sistemas de bombeo de agua

#### **Beneficios en calidad**

Las células HIT y los módulos están sujetos a estrictas inspecciones y medidas para asegurar el cumplimiento de criterios eléctricos, mecánicos y visuales.



Los módulos HIT tienen al contrario que los módulos poli y mono cristalinos, una alta eficiencia a altas temperaturas lo cual hace que produzca mayor energía a igual potencia nominal como se puede ver en la siguiente figura:



*Figura 3.3.11.2 Potencia de salida en función de la hora*



### **3.3.12 MONOLGBC**

El fabricante de este tipo de célula fotovoltaica se puede observar en la tabla siguiente:

#### **3.3.12.1 Fabricante**

<b>Fabricantes de células fotovoltaicas</b> <b>bp solar</b>
--

*Fig 3.3.12.1.1 Tabla con el fabricante de células fotovoltaicas tipo monoLGBC.*

#### **3.3.12.2 Explicación del tipo LGBC**

El tipo LGBC de células solares de silicio cristalino tiene un selectivo emisor, con una excelente respuesta a la energía solar en el espectro de longitudes de onda 300-900 nm. Sin embargo, la eficiencia de la célula está limitada por una reducida respuesta 900-1200 nm en la región del espectro, debido a la alta recombinación características de la parte posterior de aluminio, de nuevo en contacto con la superficie interna y a la reducción de la reflexión en esta interfaz. La célula ( LGBC ) ha sido fabricada con una aleación de aluminio láser disparando el contacto ( LFC ) a través de uno posterior de óxido de silicio.

En este tipo de células se consigue un 20,1% de eficiencia.



### **3.3.13 $\mu$ -Si/a-Si**

El fabricante de células fotovoltaicas tipo  $\mu$ -Si/a-Si es el siguiente:

#### **3.3.13.1 Fabricante**

<b>Fabricantes de células fotovoltaicas</b> <b>Kaneka</b>
--

**Fig 3.3.13.1.1 Tabla con los fabricantes del tipo de célula  $\mu$ -Si/a-Si**

#### **3.3.13.2 Explicación del tipo de célula fotovoltaica**

Este tipo de célula es de silicio depositado en forma de láminas delgadas de silicio amorfo.

La investigación en láminas de silicio depositado ha permitido **desarrollar silicio amorfo intrínseco** de calidad de dispositivo depositado a alto ritmo de crecimiento. Se desarrolla el material en dos fases "una microcristalina y otra amorfa" llamado silicio híbrido. Este material, preparado a partir de silano muy diluido en helio, no presenta capa de incubación amorfa, y por lo tanto, se deposita con su microestructura característica incluso en forma de láminas extremadamente delgadas (del orden de 10 nm) como las necesarias para la formación de emisores dopados en células solares con otros tipos de dispositivos optoelectrónicos, basados en el silicio depositado.

### **3.3.14 CÉLULAS DE CONCENTRACIÓN**

La tecnología de concentración fotovoltaica se encuentra en un estado de desarrollo industrial, hasta el año 2006 no hubo iniciativas de comercialización de este tipo de célula. Es una tecnología que se encuentra poco desarrollada pero con unas perspectivas de futuro muy importantes.

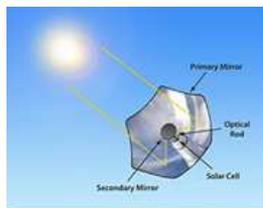
#### **3.3.14.1 Fabricantes**

<b>Fabricantes de células fotovoltaicas</b> Solfocus Sol3g
--

*Fig 3.3.14.1.1 Tabla con los fabricantes del tipo de célula de concentración*

#### **3.3.14.2 Explicación de células fotovoltaicas de concentración**

Las células de concentración intentan conseguir que llegue más radiación por unidad de superficie de la célula, de tal forma que una concentración dada (2x, 3x, etc.) lograría reducir en proporciones similares la cantidad de silicio necesaria para una misma energía generada. La tecnología de concentración (ya utilizada en las plantas solares térmicas de concentración) sólo requiere materiales baratos reflectantes como son los espejos, metales, plásticos, que mediante una geometría de tipo paraboloide son capaces de dirigir la radiación solar recogida en una superficie (S1) a otra muy inferior (S2), la concentración es el cociente entre estas dos superficies. La tecnología de concentración únicamente utiliza la energía directa (aquella que se sabe de donde viene) por lo que el sistema debe contar además con un sistema de seguimiento solar en dos ejes.



*Fig 3.3.14.2.1 Funcionamiento de la célula de concentración*



## CAPÍTULO 3 GENERADOR FOTOVOLTAICO

---

En el mercado existen distintos sistemas de concentración, algunos de ellos constituyen sistemas integrados y modulares compuestos por lentes Fresnel y la célula fotovoltaica, mientras que otros se basan en una concentración externa mediante helióstatos que dirigen la radiación solar concentrada a las células que se encuentran en el foco.



## **4.COMPARATIVA**

En este capítulo se va a presentar los resultados obtenidos tras la comparación de diversos parámetros eléctricos de los diferentes tipos de células fotovoltaicas.

### **4.1EXPLICACIÓN DE LOS REQUISITOS**

Los resultados se han obtenido a partir de la selección de células de Silicio monocristalino, Silicio policristalino, Silicio amorfo single, Silicio amorfo tándem, Silicio amorfo triple, String RIBBON, HIT, EFG, CdTe, CIS, Apex,  $\mu$ -Si/a-Si, MonoLGBC, células de concentración.

Se han recopilado, los siguientes parámetros de la célula para los dos tipos más importantes de tecnologías fotovoltaicas: Silicio monocristalino y Silicio policristalino.

- tamaño de la célula
- Voc (tensión en circuito abierto)
- Isc (corriente en cortocircuito)
- Pmp\_cell( potencia máxima producida)

Posteriormente se realizará una comparativa de las características de módulo para los catorce tipos de células fotovoltaicas de los siguientes parámetros eléctricos:

- Voc (tensión en circuito abierto)
- Isc (corriente en cortocircuito)
- Pmp\_módulo
- Eficiencia\_módulo

En la siguiente tabla, se muestran todas las compañías existentes en el mercado con el tipo de célula fotovoltaica que fabrica cada una.



## CAPITULO 4 COMPARATIVA

Fabricantes de células fotovoltaicas	Mono	Poli	a-Si (single)	a-si(tandem)	a-Si (triple)	CdTe	EFG	RIBBON	CIS	Apex	HIT	μ-Si/a-Si	Mono-LGBC	CONCENTRACIÓN
AET Alternative Energie Technik GmbH														
Air Water Inc.	<b>Mono</b>													
Antec Solar Energy AG						<b>CdTe</b>								
AstroPower	<b>Mono</b>									<b>Apex</b>				
Bangkok Solar Co. Ltd.			<b>a-Si (single)</b>											
Bekaert ECD Solar Systems LLC			<b>a-Si (single)</b>		<b>a-Si (triple)</b>									
Bharat Electronics Limited	<b>Mono</b>													
Bharat Heavy Electricals Ltd (BHEL)	<b>Mono</b>													
<b>BP Solar</b>	<b>Mono</b>	<b>Poli</b>	<b>a-Si (single)</b>			<b>CdTe</b>							<b>Mono-LGBC</b>	
Canon		<b>Poli</b>	<b>a-Si (single)</b>											
Central Electronics Ltd.	<b>Mono</b>													
CSG Solar AG		<b>Poli</b>												
Delsolar	<b>Mono</b>													
<b>Deutsche Cell</b>	<b>Mono</b>	<b>Poli</b>												
diverse		<b>Poli</b>												
Dunasolar Photovoltaics Inc.			<b>a-Si (single)</b>											
Ebara Solar Inc.								<b>RIBBON</b>						
Energies Nouvelles et Environnement (ENE)		<b>Poli</b>												
Energy Photovoltaics Inc.														
EniTecnologie	<b>Mono</b>	<b>Poli</b>												
ErSol Solar Energy AG	<b>Mono</b>	<b>Poli</b>												
<b>E-Ton</b>	<b>Mono</b>													
Eurosolare	<b>Mono</b>	<b>Poli</b>												
Evergreen Solar								<b>RIBBON</b>						
First Solar LLC						<b>CdTe</b>								
Fortum Corporation	<b>Mono</b>													
Free Energy Europe			<b>a-Si (single)</b>	<b>a-si(tandem)</b>										
Fuji Electric														
GE Energy	<b>Mono</b>													



## CAPITULO 4 COMPARATIVA

Helios Technology SRL	Mono		a-Si (single)										
Intersolar Limited			a-Si (single)										
Isoton	Mono												
Kaneka Corporation			a-Si (single)								$\mu$ -Si/a-Si		
KL Solar Company Pvt. Ltd	Mono												
Koncar			a-Si (single)										
<b>Kyocera</b>		Poli											
Kyocera Corporation		Poli											
Maharishi Solar Technology Pvt. Ltd.	Mono	Poli											
Microsol Power P. Ltd.	Mono												
<b>Mitsubishi Electric Corporation</b>		Poli							CIS				
Mitsubishi Heavy Industries			a-Si (single)										
<b>Motech Industries</b>	Mono	Poli											
others	Mono												
Peccell Technologies													
Phaesun GmbH													
Phönix SonnenStrom AG		Poli											
Photovoltaic NV SA		Poli											
<b>Photowatt International SAS</b>	Mono	Poli											
<b>Q-Cells AG</b>	Mono	Poli											
<b>RWE Schott Solar GmbH / RWE Schott Solar Inc.</b>	Mono	Poli	a-Si (single)	a-si(tandem)			EFG	RIBBON					
Sanyo Electric Co., Ltd.	Mono									HIT	$\mu$ -Si/a-Si		
Scanmodule AB		Poli											
Schott Solar GmbH		Poli	a-Si (single)	a-si(tandem)			EFG						
Semiconductor Manufacturing International Corp.	Mono												
<b>Sharp Corporation</b>	Mono	Poli											
Shell Solar	Mono	Poli							CIS				
<b>Siemens und Shell Solar GmbH</b>	Mono	Poli											
Sinonar Corp.			a-Si (single)										



Solar Cells Ltd.			a-Si (single)																	
Solartec s.r.o.	<b>Mono</b>																			
Solartron Co. Ltd.	<b>Mono</b>																			
Solarwatt AG																				
Solarwatt Cells GmbH	<b>Mono</b>																			
SolarWorld AG		<b>Poli</b>																		
Solec	<b>Mono</b>																			
Solterra Fotovoltaico SA	<b>Mono</b>																			
Spherical Solar Power Inc.																				
Sulfurcell Solartechnik GmbH																				
SunPower Corp.	<b>Mono</b>	<b>Poli</b>																		
Suntech Power Co., Ltd.	<b>Mono</b>	<b>Poli</b>																		
Sunways AG Photovoltaics	<b>Mono</b>	<b>Poli</b>																		
Swiss Sustainable Systems AG																				
Telecom-STV Co., Ltd.	<b>Mono</b>																			
TerraSolar			a-Si (single)																	
Topsolar	<b>Mono</b>																			
United Solar Ovonic LLC		<b>Poli</b>	a-Si (single)		a-Si (triple)															
Usha Limited	<b>Mono</b>																			
USL Photovoltaics Pvt Ltd	<b>Mono</b>																			
Webel SL Energy Systems Ltd.	<b>Mono</b>																			
Würth Solar GmbH & Co. KG																				
Yunnan Tianda Photovoltaic Co., Ltd.	<b>Mono</b>	<b>Poli</b>																		
Solfocus																				
Sol 3G																				

*Fig 4.1.1 Tabla explicativa de los tipos de células y los fabricantes seleccionados*

Los fabricantes que se pueden observar en la gráfica en negrita, son los que he seleccionado para hacer la comparativa en función de la importancia de cada compañía en la fabricación de cada tipo de tecnología fotovoltaica.



## **4.2 COMPARATIVA DE CÉLULA Y MÓDULO FOTOVOLTAICO**

A continuación se presenta la comparativa realizada para los catorce tipos de células fotovoltaicas estudiadas.

Los datos que aparecen en blanco en las gráficas ha sido imposible obtenerlos.

### **4.2.1 SILICIO MONOCRISTALINO**

Se han seleccionado los fabricantes siguientes, siguiendo las características, indicadas anteriormente. Quedándonos con los fabricantes más importantes y dentro de éstos, seleccionamos los módulos de mayor potencia para cada tamaño de célula fotovoltaica disponible en el mercado.

Las compañías y los módulos seleccionados son los siguientes:

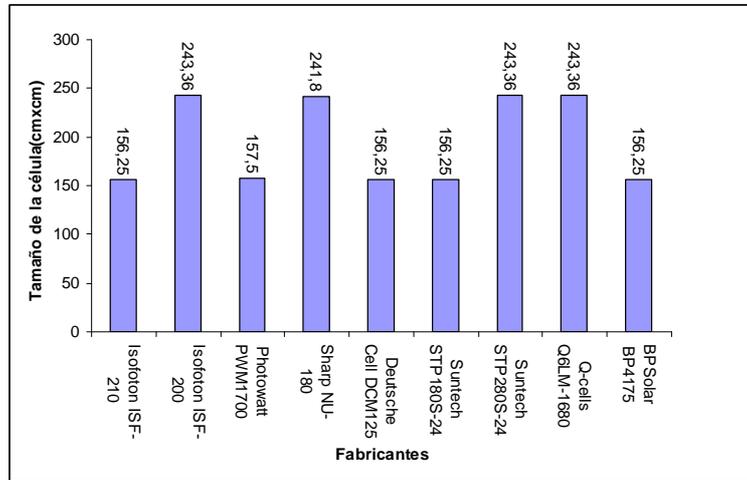
<b>ISF-210</b>	Isofoton
<b>ISF-200</b>	Isofoton
<b>PWM1700</b>	Photowatt
<b>NU-180</b>	Sharp
	Deutsche
<b>DCM125</b>	Cell
<b>STP180S-24</b>	Suntech
<b>STP280S-24</b>	Suntech
<b>Q6LM-1680</b>	Q-cells
<b>BP4175</b>	BPSolar

*Figura 4.2.1.1 Tabla con los módulos de silicio monocristalino*

### **Comparativa de la célula (silicio monocristalino)**

Primeramente, se ha desarrollado una comparativa de las características de la célula fotovoltaica y posteriormente se analizarán las características del módulo, realizando la comparativa pertinente.

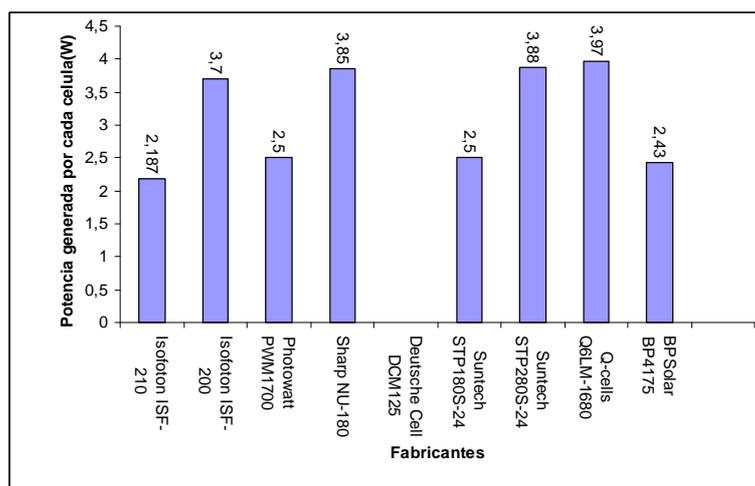
- **Tamaño de células**



*Figura 4.2.1.2 Tamaño de las células para cada uno de los fabricantes*

Según podemos observar en la gráfica, distinguimos los siguientes tamaños de célula: 156.25cm<sup>2</sup>(125mmx125mm),243.36cm<sup>2</sup>(156mmx156mm),157.5cm<sup>2</sup>(125.5mmx125.5mm) y 241.8cm<sup>2</sup>(155.5 mmx155.5mm).

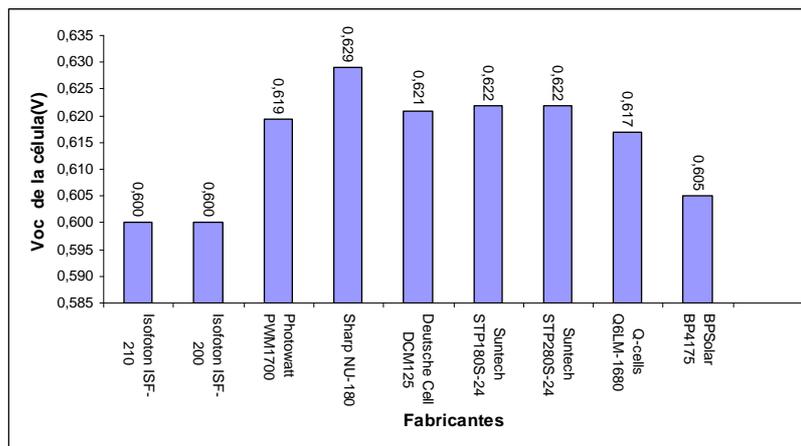
- **Pmp célula**



*Fig 4.2.1.3 Potencia generada por cada célula*

Podemos observar las siguientes potencias de célula fotovoltaica: 2.187W, 3.7W, 2.5W, 3.85W, 3.88, 3.97 y 2.43 W. La célula que más potencia genera es la célula de Q-cells Q6LM-1680, y la que menos potencia genera es la célula de la placa solar BP4175 de la compañía BPSolar.

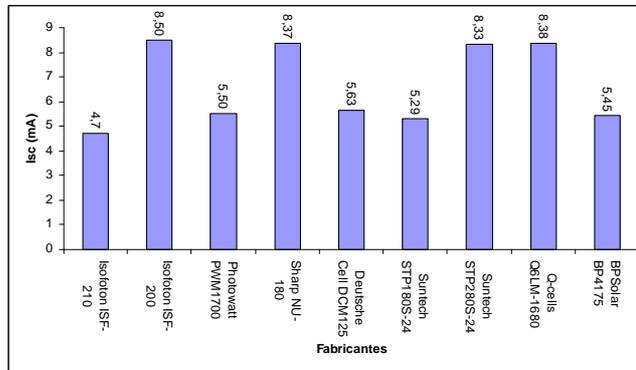
- **Voc célula**



**Figura 4.2.1.4. Voc de la célula para cada fabricante**

Los datos obtenidos de Voc, tensión en circuito abierto, como se puede observar varían en torno a 0.6 V, obteniéndose los siguientes valores: 0.6V, 0.619V, 0.629V, 0.621V, 0.622V, 0.617V y 0.605V. El valor de Voc más alto se ha obtenido para el módulo de Sharp corporation, NU-180 con 0.629V y el valor más bajo (0.6V) se ha obtenido en el módulo ISF-200 e ISF-210 de Isototón.

- **Isc**



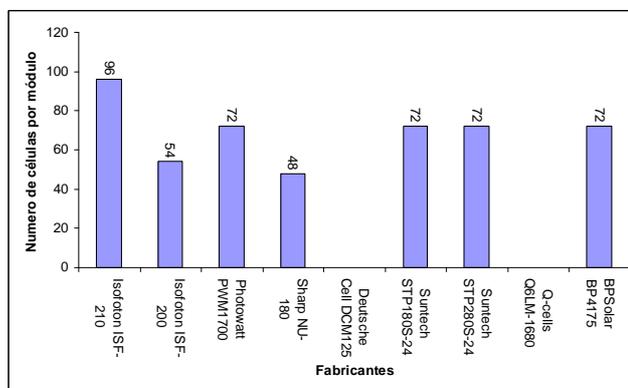
**Fig 4.2.1.5 Isc de la célula fotovoltaica para los distintos módulos**

Para los valores de corriente en cortocircuito (Isc) hemos obtenido los siguientes valores: 4.7, 8.5, 5.5, 8.37, 5.63, 5.29, 8.33, 8.38, y 5.45 (mA). El valor más alto obtenido es el de Q-cells con 8.38 mA y el valor más bajo es el de Isofotón módulo ISF-210 con 4.7 mA.

**Comparativa del módulo**

Las características del módulo que se han seleccionado son: el número de células por módulo, la eficiencia del módulo, Voc del módulo, potencia del módulo.

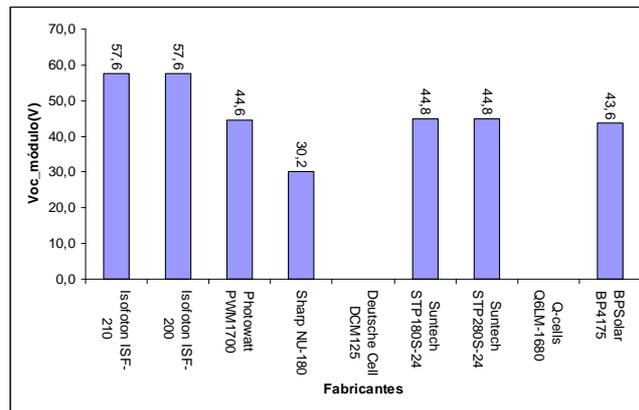
- **Número de células por módulo**



**Fig 4.2.1.6 Número de células por módulo para el tipo silicio monocristalino**

Los valores obtenidos para el número de células por módulo son los siguientes: 96, 54, 72 y 48 células por módulo.

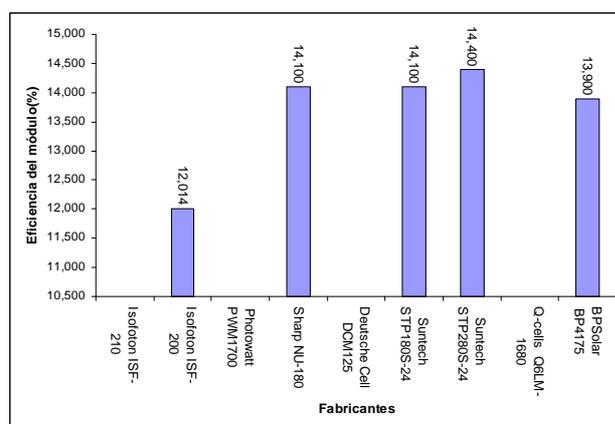
- **Voc módulo**



**Fig 4.1.2.7 Voc\_módulo para módulos tipo silicio monocristalino**

Los valores de Voc\_módulo obtenidos son los siguientes: 57.6, 44.6, 30.2, 44.8 y 43.6(V). El valor más alto, 57.6 V, corresponde a los módulos de Isofotón ISF-200 y ISF-210 y el valor más bajo, 30.2 V, corresponde al módulo NU-180 de Sharp Corporation.

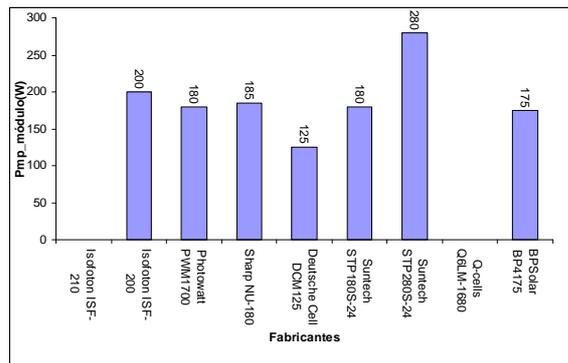
- **Eficiencia módulo**



**Fig.4.1.2.8 Eficiencia de los módulos tipo silicio monocristalino**

Como se puede observar en la gráfica, la eficiencia del módulo de este tipo de células (silicio monocristalino) está en torno al 14%. El valor más bajo corresponde al módulo ISF-200 de Isofotón(12.014%) y el valor más alto(14.400%) corresponde al módulo de Suntech ( STP 280S-24).

- **Pmp\_módulo**



**Fig.4.1.2.9 Potencia generada por los módulos tipo silicio monocristalino**

Los datos obtenidos para la potencia de módulo son los siguientes: 200, 180, 185, 125, 280 y 175 (W). El dato más alto (280 W) corresponde a la compañía Suntech, módulo STP 280S-24 y el dato más bajo (W) corresponde a la compañía Deutsche Cell con el módulo DCM125.



### **4.2.2 SILICIO POLICRISTALINO**

Para el estudio de las características de la célula de silicio policristalino, se ha tenido en cuenta los fabricantes más importantes productores de este tipo de células y dentro de éstos se han seleccionado las placas de mayor potencia dentro de cada tamaño posible de célula.

A continuación se presentan los módulos seleccionadas en función de las características expuestas anteriormente.

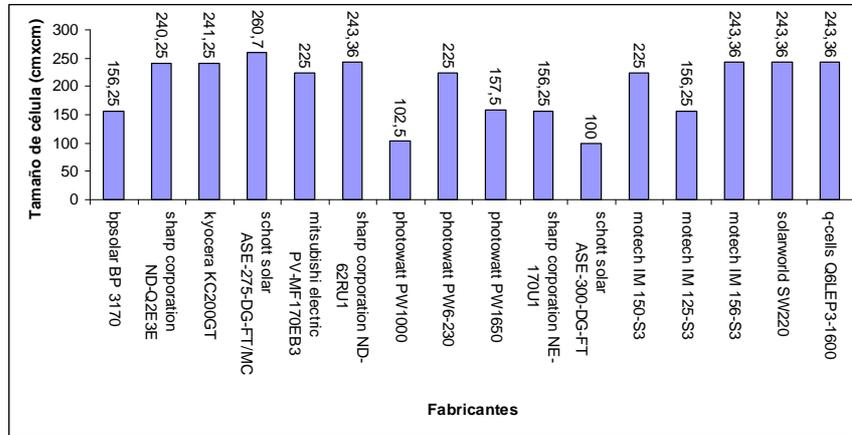
<b>BP 3170</b>	Bpsolar
<b>ND-Q2E3E</b>	sharp corporation
<b>KC200GT</b>	Kyocera
<b>ASE-275-DG-FT/MC</b>	schott solar
	mitsubishi electric corporation
<b>PV-MF170EB3</b>	sharp corporation
<b>ND-62RU1</b>	Photowatt
<b>PW1000</b>	Photowatt
<b>PW6-230</b>	Photowatt
<b>PW1650</b>	Photowatt
<b>NE-170U1</b>	sharp corporation
<b>ASE-300-DG-FT</b>	schott solar
<b>IM 150-S3</b>	Motech
<b>IM 125-S3</b>	Motech
<b>IM 156-S3</b>	Motech
<b>SW220</b>	Solarworld
<b>Q6LEP3-1600</b>	q-cells

*Fig 4.2.2.1 Tabla con los módulos y fabricantes tipo silicio policristalino*

### **Comparativa de la célula fotovoltaica de Silicio policristalino**

La comparativa de la célula se ha realizado tomando los siguientes parámetros, según lo expuesto anteriormente: tamaño de célula, Voc\_célula, Isc\_célula y Pmp\_célula.

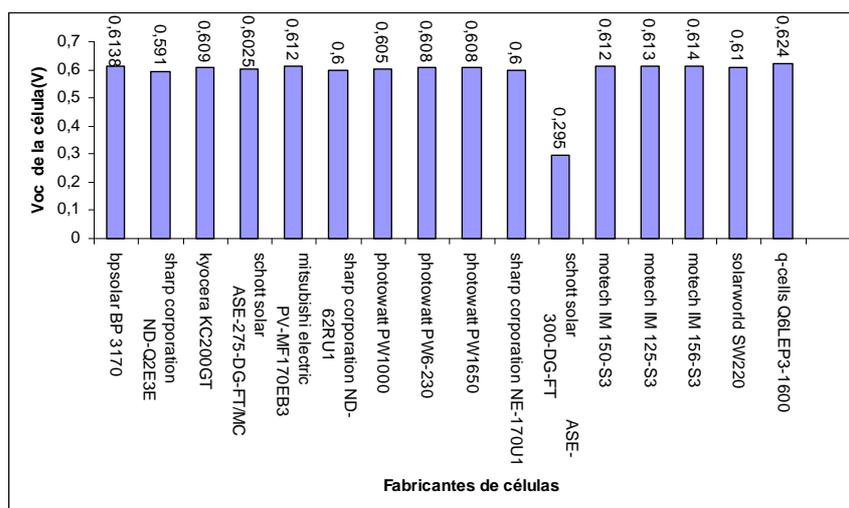
• **Tamaño de la célula**



*Fig 4.2.2.2 Tamaño de la célula para silicio policristalino*

Podemos observar que para los fabricantes seleccionados dentro de este tipo de célula fotovoltaica, tenemos los siguientes tamaños de célula: 156.25, 240.125, 241.25, 260,7, 225, 243.36, 102.5, 157.5, 100, 225, 243 y 36 (cm<sup>2</sup>).

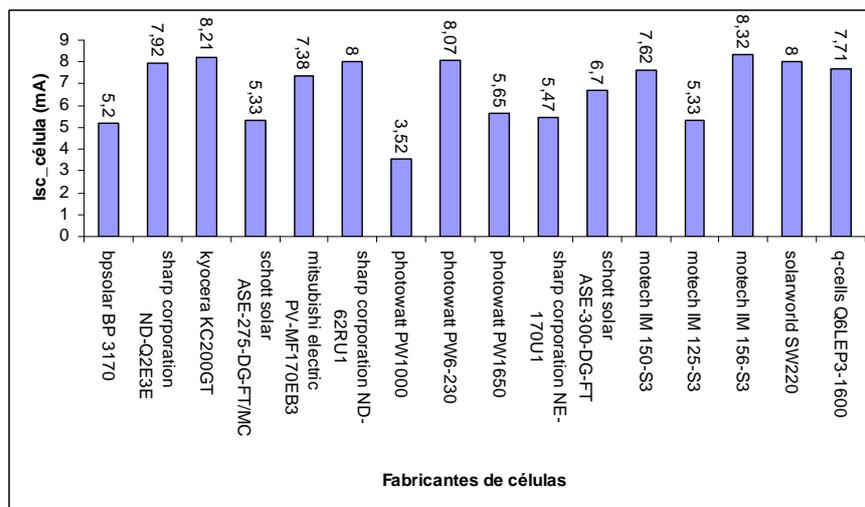
• **Voc célula**



*Fig 4.2.2.3 Voc de la célula para silicio policristalino*

Podemos observar los siguientes valores de Voc: 0.613, 0.591, 0.609, 0.6025, 0.612, 0.60, 0.295, 0.612, 0.613, 0.614, 0.61 y 0.624 (V). La célula fotovoltaica que mayor Voc tiene es la del módulo Q6LEP3, de q-cells con 0.624 V y la compañía Schot-solar, con el módulo ASE-300-DG-FT nos da un Voc de 0.295 V que es el menor obtenido.

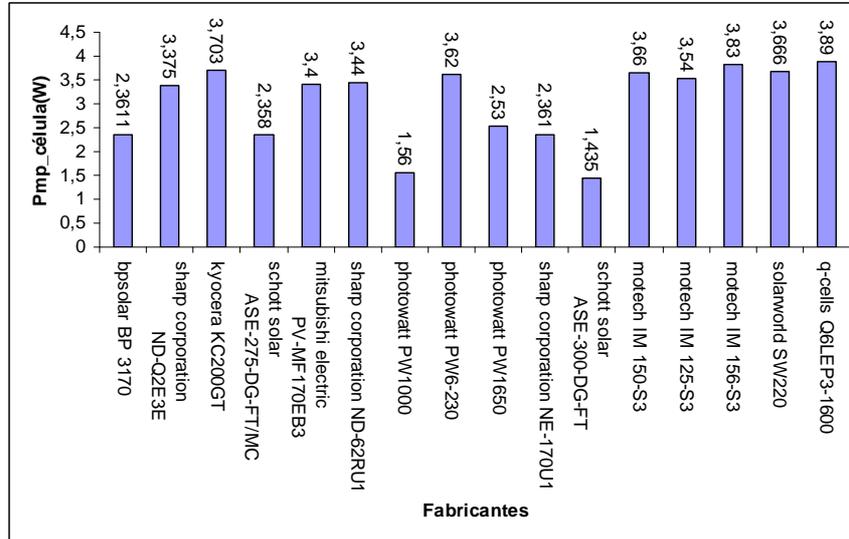
- **Isc célula**



**Fig 4.2.2.4 Isc de la célula para silicio policristalino**

Podemos observar los valores de Isc obtenidos son los siguientes: 5.2, 7.92, 8.21, 5.33, 7.38, 8, 3.52, 8.07, 5.65, 5.47, 6.7, 7.62, 5.33, 8.32 y 7.71 (mA). Observamos que el valor más alto, 8.32 mA, corresponde a la compañía Motech módulo IM 156-S3 y la que menos Isc tiene, 3.52 mA, es la compañía Photowatt módulo PW1000.

- **Pmp\_celula**



**Fig 4.2.2.5 Pmp\_célula para silicio policristalino**

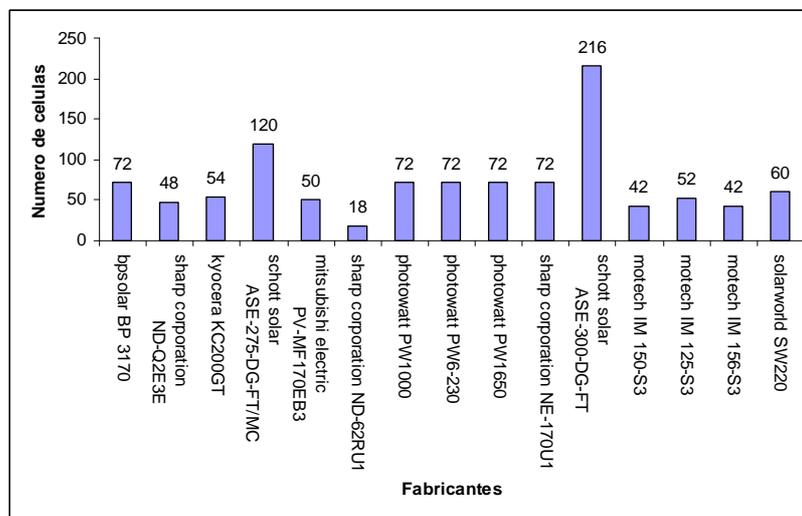
Podemos observar como la célula que más potencia nos ofrece (3.89 W), es la célula de la placa solar de q-cells Q6LEP3-1600 mientras que la célula de la placa solar de Schott solar ASE-300-DG-FT es la que menos potencia nos da (1.435 W) suponiendo una variación del 38%.

Esta placa solar, ASE-300-DG-FT, es la que más potencia nos da, al tener el módulo 216 células y obtener una potencia de 310 W, como se puede observar en la comparativa de módulo siguiente.

### Comparativa de módulos (silicio policristalino)

Como características del módulo se han seleccionado: número de células por módulo, eficiencia del módulo, Voc del módulo y potencia del módulo.

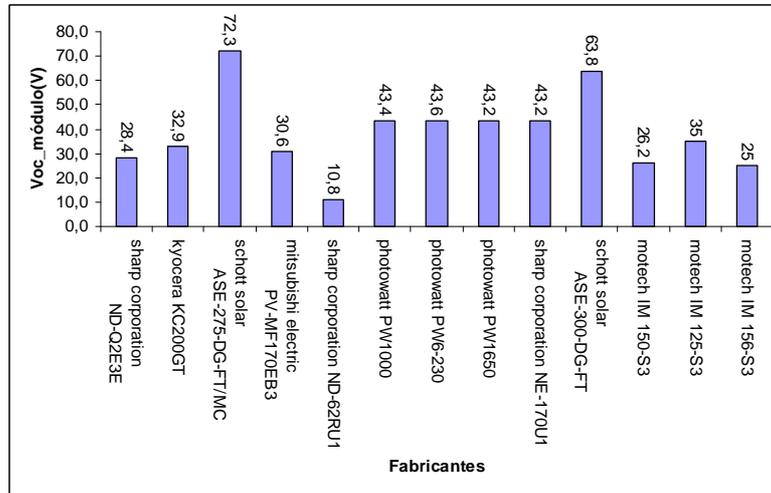
- Número de células por módulo



*Fig 4.2.2.6 Número de células por módulo para silicio policristalino*

A partir de la gráfica anterior podemos observar que, el módulo fotovoltaico que menos potencia genera es la de Sharp-Corporation con 62W (18 células x 2.361w por célula), y la placa que más potencia genera es la de Schott-solar con 310 W (216 células x 1.435 W por célula).

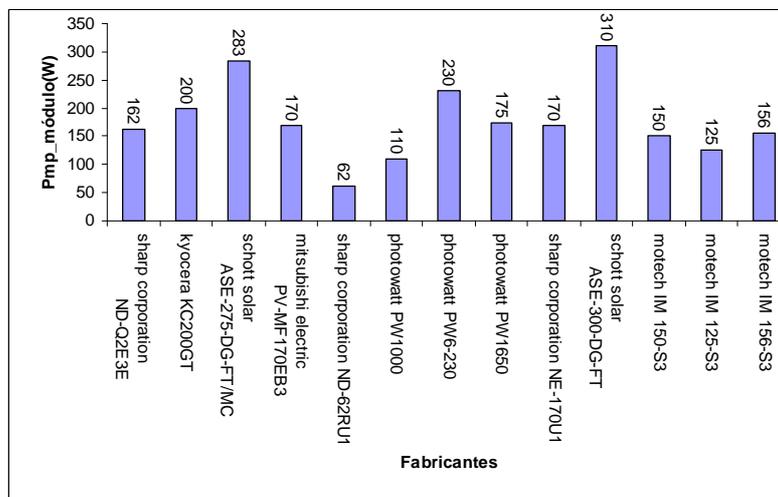
• **Voc módulo**



*Fig 4.2.2.7 Voc\_módulo para cada módulo de silicio policristalino*

Los datos de Voc\_modulo obtenidos son los siguientes: 28.4, 32.9, 72.3, 30.6, 10.8, 43.4, 43.6, 43.2, 63.8, 26.2, 35 y 25 (V). El valor más alto corresponde con el módulo de Schott-solar ASE 275 DG-FT/MC con 72.3 V y el valor más bajo obtenido corresponde a la compañía Sharp Corporation con el módulo ND-6RU1 cuyo valor de Voc es 10.8 V.

• **Pmp módulo**

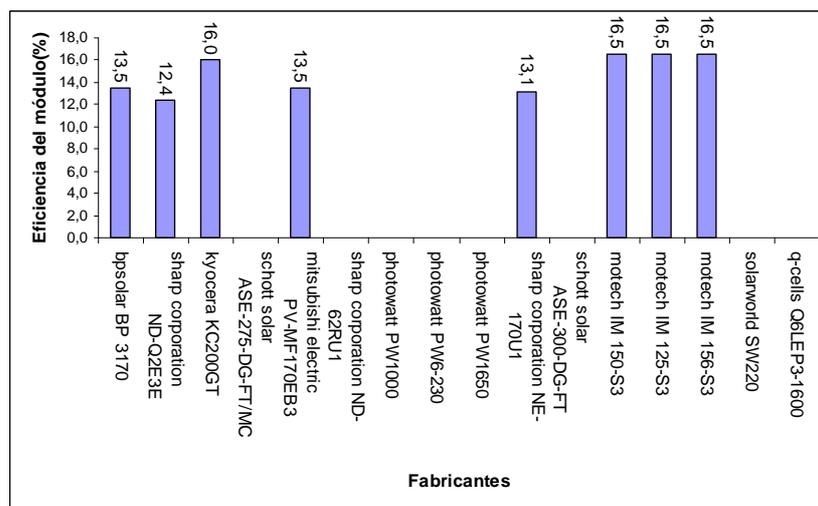


*Fig 4.2.2.7 Pmp\_módulo para cada módulo de silicio policristalino*



Los datos de Pmp\_módulo obtenidos son los siguientes: 162, 200, 283, 170, 62, 110, 230, 175, 310, 150, 125 y 16 (W). El valor más alto corresponde con el módulo de Schott-solar, ASE-300-DG-FTC con 310W y el valor más bajo obtenido corresponde a la compañía Sharp Corporation con el módulo ND-6RU1 cuyo valor de Pmp\_módulo es de 62 W.

- **Eficiencia módulo**



*Fig 4.2.2.8 Eficiencia para cada módulo de silicio policristalino*

Para la eficiencia del módulo, como se puede observar en la gráfica previa, no se han podido obtener para bastantes módulos seleccionados. Los datos encontrados han sido los siguientes: 13.5, 12.4, 16.0, 13.1 y 16.5 (%). El valor más alto corresponde a Motech que consigue en sus módulos seleccionados, independientemente del tamaño estudiado una eficiencia del 16.5%, El valor más pequeño de eficiencia corresponde a la compañía Sharp Corporation con un 12.4% de eficiencia.

### 4.2.3 SILICIO AMORFO

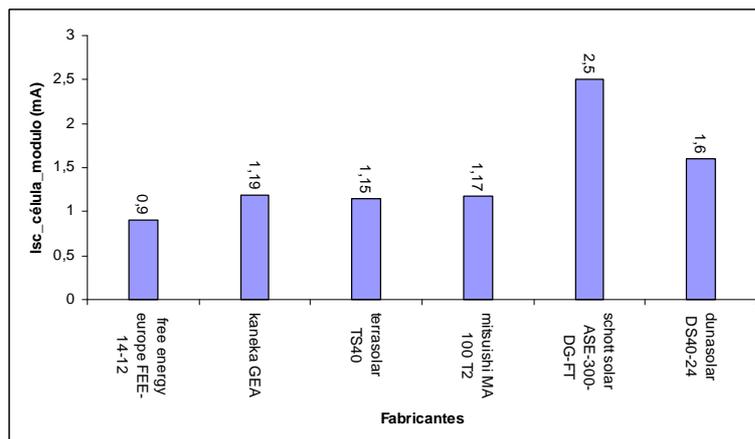
Para realizar la comparativa de las características de módulo, de este tipo de célula fotovoltaica, se han seleccionado las compañías más importantes y dentro de éstas, el módulo que mayor potencia ofrece.

Los fabricantes seleccionados han sido los siguientes:

<b>FEE-14-12</b>	free energy europe
<b>GEA</b>	kaneka
<b>TS40</b>	terasolar
<b>MA 100 T2</b>	mitsuishi
<b>ASI-F</b>	
<b>32/12</b>	schott solar
<b>DS40-24</b>	dunasolar

*Fig 4.2.3.1 Tabla con los fabricantes y módulos seleccionados para el tipo silicio amorfo*

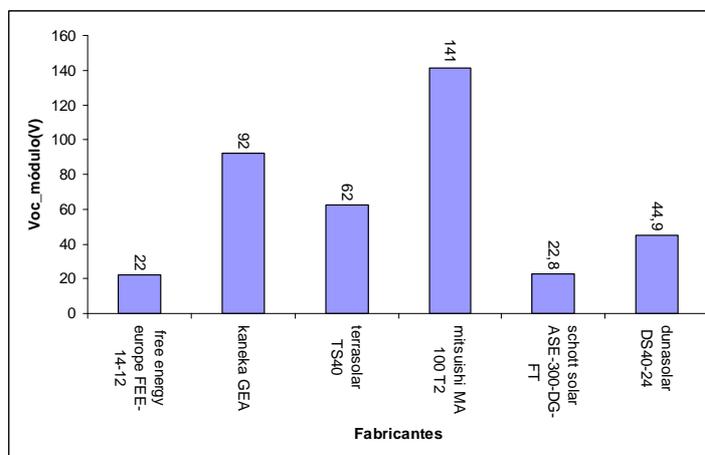
- Isc modulo



*Fig 4.2.3.1 Isc para cada módulo de silicio amorfo*

Como podemos observar los datos obtenidos para la corriente en cortocircuito,  $I_{sc}$ , han sido los siguientes: 0.9mA, 1.19mA, 1.15mA, 1.17mA, 2.5mA y 1.6mA, el valor más alto (2.5mA) corresponde a la compañía alemana Schott-solar, y el dato más bajo (0.9mA) corresponde a la compañía francesa Free energy europe.

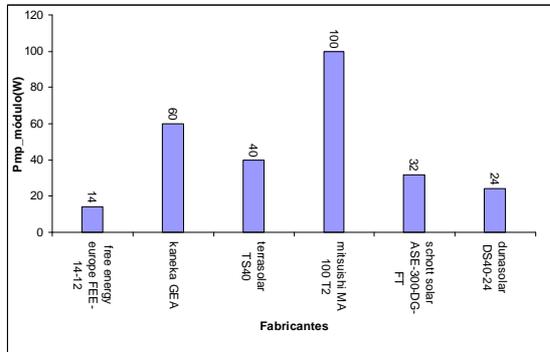
- **Voc modulo**



*Fig 4.2.3.2 Voc para cada módulo de silicio amorfo*

Podemos observar los siguientes valores de Voc: 22V, 92V, 62V, 141V, 22.8V y 44.9V. Podemos apreciar que el dato más alto corresponde al módulo MA100T2 de Mitsubishi con 141V, y el dato más bajo corresponde al módulo FEE-41-12 de Free Energy Europe con 22V.

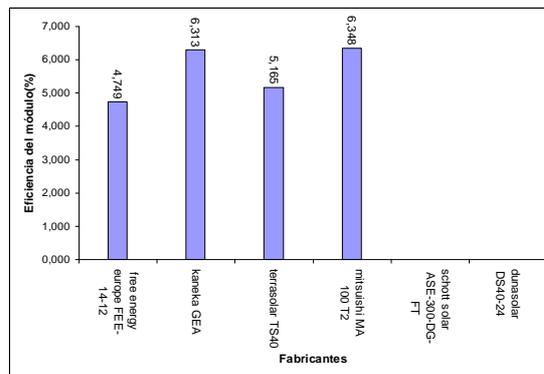
- **Pmp modulo**



*Fig 4.2.3.3 Pmp para cada módulo de silicio amorfo*

Podemos observar los siguientes valores de potencia del módulo: 14W, 60W, 40W, 100W, 32W y 24W. Podemos apreciar que el dato más alto corresponde al módulo MA100T2 de Mitsubishi con 100W, y el dato más bajo corresponde al módulo FEE-41-12 de Free Energy Europe con 14W.

- **Eficiencia del módulo**



*Fig 4.2.3.4 Eficiencia para cada módulo de silicio amorfo*

Podemos observar los siguientes valores: 6.348%, 5.165%, 6.313%, y 4.749%. Podemos apreciar que el dato más alto corresponde al módulo MA100T2 de Mitsubishi con 100W, y el dato más bajo corresponde al módulo FEE-41-12 de Free energy europe con 4.749%.

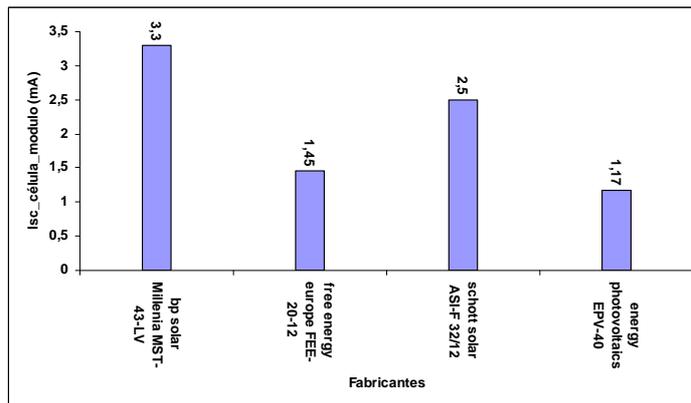
#### 4.2.4-SILICIO AMORFO TIPO TÁNDEM

Los fabricantes seleccionados para este tipo de célula han sido los siguientes:

<b>MST-43-LV</b>	bp solar Millenia
<b>FEE-20-12</b>	free energy europe
<b>ASI-F</b>	
<b>32/12</b>	schott solar
<b>EPV-40</b>	energy photovoltaics

*Fig 4.2.4.1 Tabla con los módulos y fabricantes seleccionados para tipo amorfo tándem*

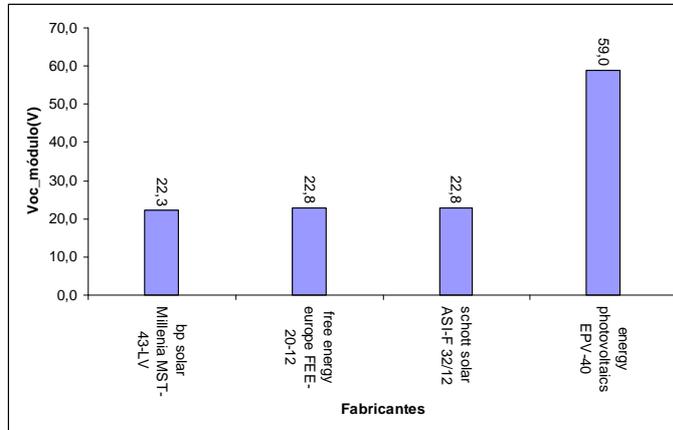
- Isc módulo



*Fig 4.2.4.2 Isc para cada módulo de silicio amorfo tándem*

Podemos observar los siguientes valores de Isc: 3.3 mA, 1.45mA, 2.5mA y 1.17mA. Podemos apreciar que el dato más alto corresponde a Bp Solar, módulo Milenio MST-43-LV con 3.3mA, y el dato más bajo corresponde a Free energy europe, módulo FEE-20-12 con 1.45mA.

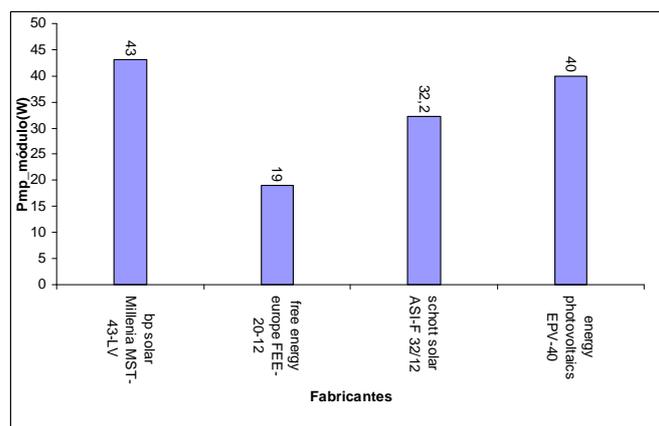
- **Voc módulo**



*Fig 4.2.4.3 Voc para cada módulo de silicio amorfo tipo tándem*

Podemos observar los siguientes valores de Voc: 22.3 V, 22.87V y 59 V. Podemos apreciar que el dato más alto corresponde a Energy Photovoltaics con 59 V, y el dato más bajo corresponde a Free energy europe y schott-solar con 22.8 V.

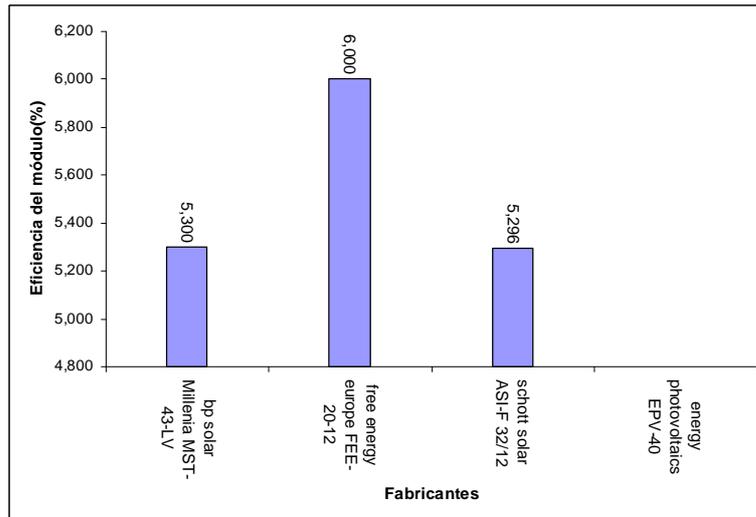
- **Pmp módulo**



*Fig 4.2.4.4 Pmp para cada módulo de tipo silicio amorfo tipo tándem*

Podemos observar los siguientes valores: 43, 19, 32.2 y 40 (W). Podemos apreciar que el dato más alto corresponde Al módulo MST-43-LV de Mitsubishi con 100W, y el dato más bajo corresponde a Free energy europe, módulo FEE-20-12 con 14W.

- **Eficiencia módulo**



*Fig 4.2.4.5 Eficiencia para cada módulo silicio tipo tandem*

Los valores de eficiencia de módulo han sido los siguientes: 5.3, 6 y 5.296 (%). El valor más alto obtenido ha sido el del módulo FEE 20-12 de Free Energy Europe, 6%, y el valor más bajo de eficiencia ha sido el de el módulo ASI-F-32/12 de la compañía Schott solar con 5.296%.

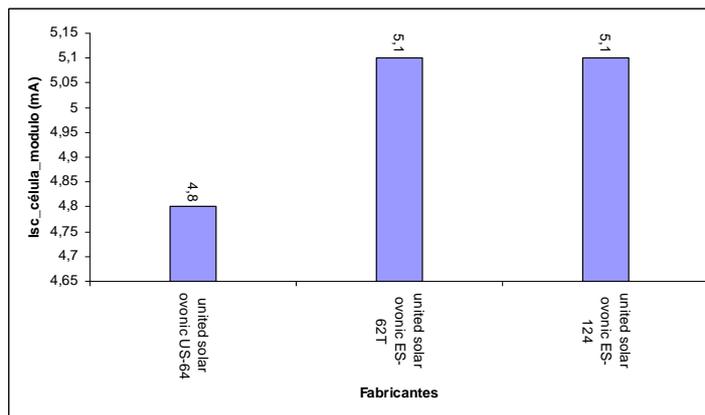
### 4.2.5-SILICIO AMORFO-TRIPLE

Los fabricantes y módulos seleccionados del tipo silicio amorfo triple seleccionados son los siguientes:

<b>US-64</b>	united solar ovonic US-64
<b>ES-62T</b>	united solar ovonic ES-62T
<b>ES-124</b>	united solar ovonic ES-124

*Fig 4.2.5.1 Tabla con los módulos y fabricantes seleccionados para tipo silicio amorfo triple*

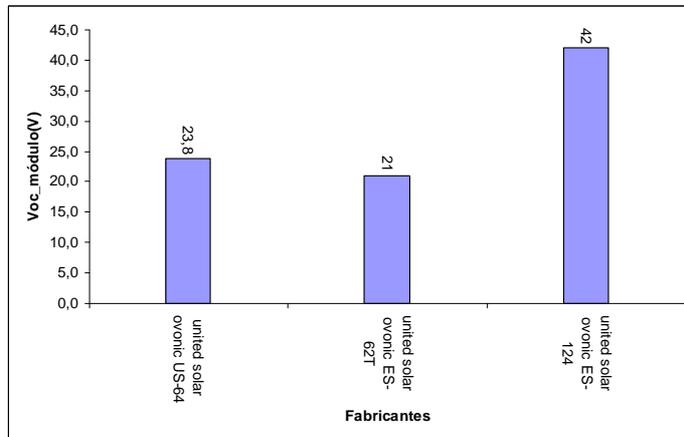
- Isc modulo



*Fig 4.2.5.2 Isc para cada módulo tipo silicio amorfo triple*

Los datos obtenidos como se puede observar en la gráfica previa han sido los siguientes: 4.8 y 5.1 (mA). El valor más alto de Isc se ha obtenido en los módulos ES 62T Y ES 124 de United Solar Ovonic y el valor más bajo se ha obtenido en el módulo US-64 de United Solar Ovonic.

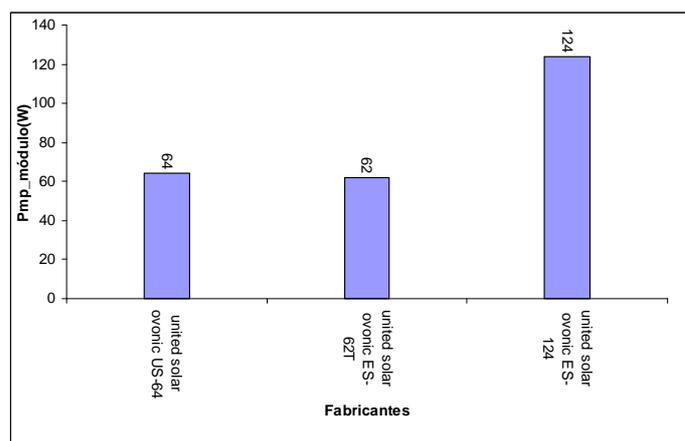
- **Voc módulo**



*Fig 4.2.5.2 Voc para cada módulo tipo silicio amorfo triple*

Podemos observar los siguientes valores para el Voc\_módulo: 23.8, 21 y 42 (V). El valor más elevado, 42 V, corresponde al módulo de United Solar Ovonic ES-124 y el valor más bajo, 21 V, corresponde al módulo ES-62T de United Solar Ovonic.

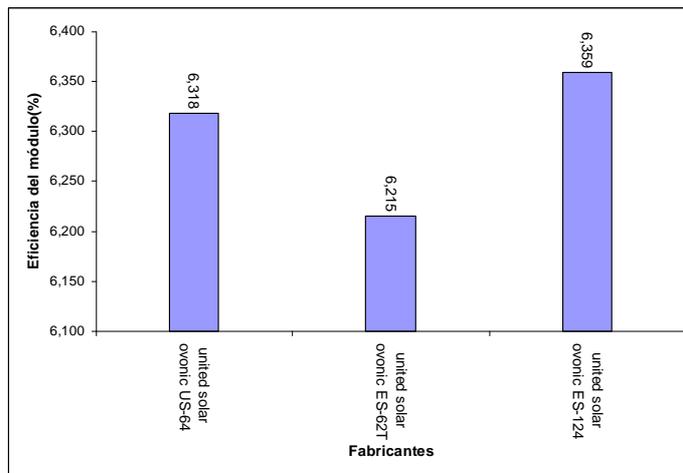
- **Pmp módulo**



*Fig 4.2.5.4 Pmp para cada módulo tipo silicio amorfo triple*

Podemos observar los siguientes valores para la potencia del módulo (Pmp\_módulo): 64,62 y 124 (W). El valor más alto, 124 W, corresponde al módulo ES-124 de United Solar Ovonix y el valor más bajo, 62 W, al módulo ES-62T de United Solar Ovonix.

- **Eficiencia módulo**



*Fig 4.2.5.5 Eficiencia para cada módulo tipo silicio amorfo triple*

Podemos observar los siguientes valores para la eficiencia del módulo: 6.318, 6.215 y 6.359(%). El valor más alto de eficiencia del módulo corresponde al módulo ES-124, 6.359%, de United Solar Ovonix y el valor más bajo corresponde al módulo ES-62T ,6.215%, de United Solar Ovonix.

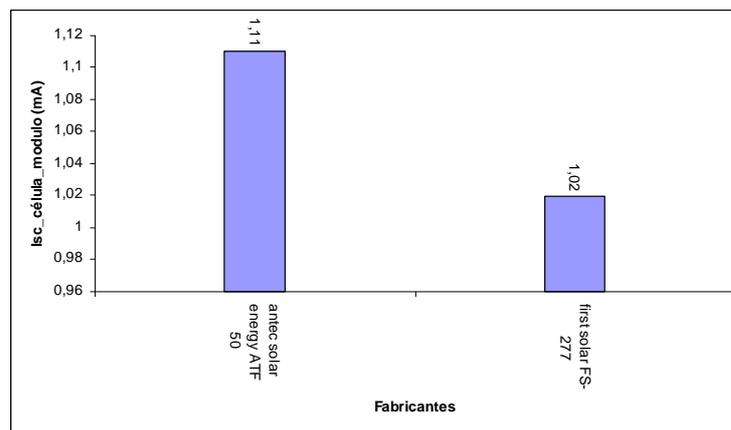
#### 4.2.6 CD TE

Los fabricantes y los módulos seleccionados de este tipo de célula (Cd Te) han sido los siguientes:

**ATF 50**      antec solar ATF 50  
**FS-277**      first solar FS-277

*Fig 4.2.6.1 Fabricantes y módulos seleccionados pa el tipo Cd Te*

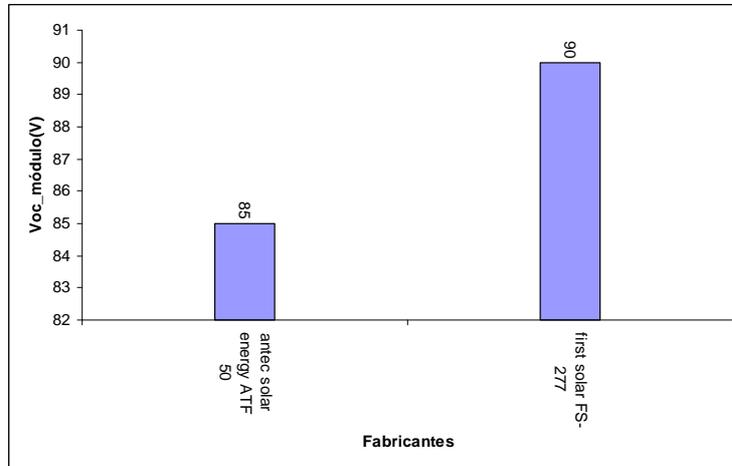
- Isc módulo



*Fig.4.2.6.2 Isc del módulo para el tipo TeCd*

Los valores obtenidos de Isc\_módulo han sido los siguientes: 1.11 y 1.02 (mA). El valor más alto 1.11 mA, corresponde a la compañía Antec solar energy, módulo ATF 50 y el valor más bajo corresponde a la compañía First solar, módulo FS-217 con 1.02 mA

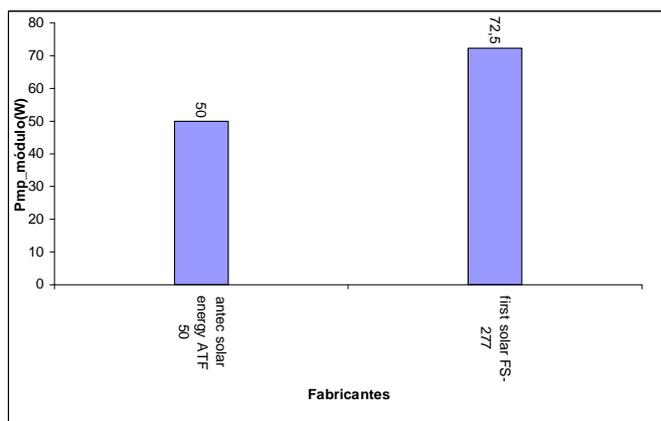
- **Voc\_módulo**



*Fig.4.2.6.3 Voc\_módulo para el tipo CdTe*

Los valores obtenidos de Voc\_modulo han sido los siguientes: 85 y 90 (V). El valor más alto 90 V corresponde a la compañía First solar, módulo FS-217 y el valor más bajo corresponde a la compañía Antec solar energy, módulo ATF 50 con 85 V.

- **Pmp\_módulo**

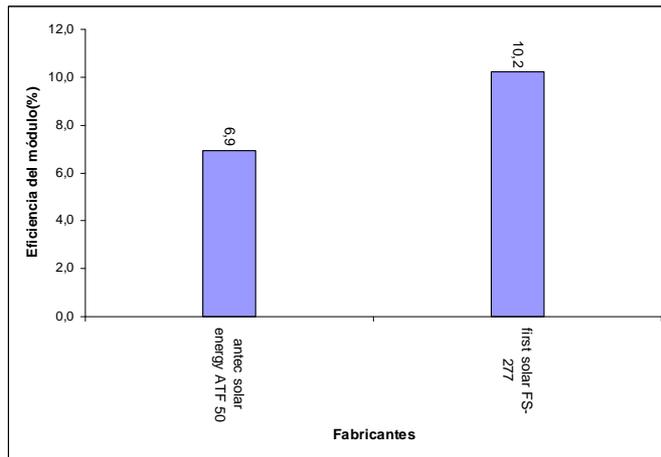


*Fig.4.2.6.4 Pmp\_módulo para el tipo CdTe*



Los valores obtenidos de Pmp\_módulo han sido los siguientes: 50 y 72.5 (W). El valor más alto 72.5 W corresponde a la compañía First solar, módulo FS-217 y el valor más bajo corresponde a la compañía Antec solar energy, módulo ATF 50 con 50 W.

- **Eficiencia módulo**



***Fig.4.2.6.5 Eficiencia de los módulos para el tipo CdTe***

Los valores obtenidos de eficiencia del módulo han sido los siguientes: 6.9 y 10.2 (%). El valor más alto 10.2 % corresponde a la compañía First solar, módulo FS-217 y el valor más bajo corresponde a la compañía Antec solar energy, módulo ATF 50 con 6.9 %.

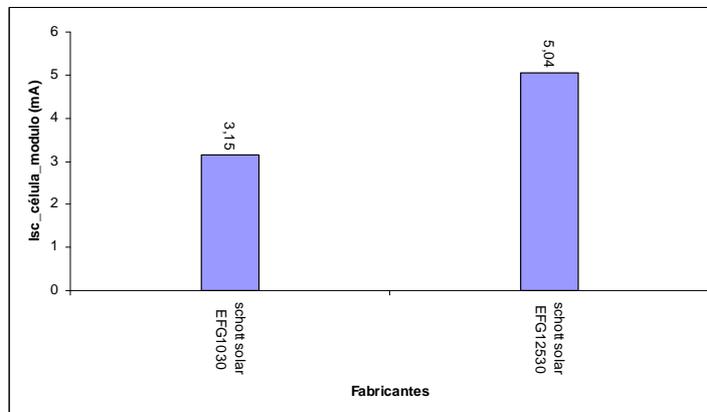
### **4.2.7 EFG**

Los fabricantes y módulos seleccionados del tipo de célula EFG son los siguientes:

**EFG1030** schott solar  
**EFG12530** schott solar

*Fig.4.2.7.1 Tabla con los módulos y fabricantes seleccionados del tipo EFG*

- **Isc módulo**



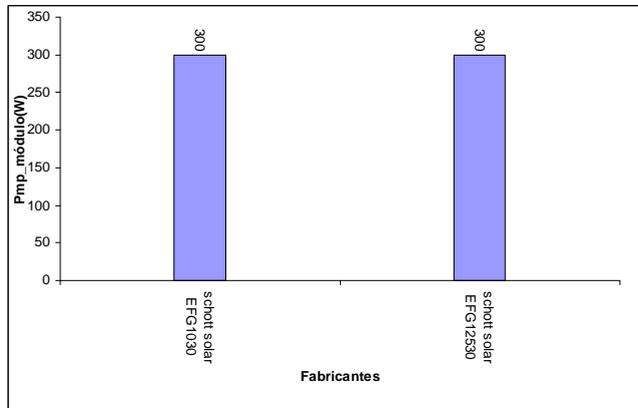
*Fig.4.2.7.2 Isc del módulo para el tipo EFG*

Los valores obtenidos de Isc\_módulo son los siguientes: 3.15, y 5.04 (mA). El valor más elevado corresponde al módulo EFG 12530 de Schott solar y el valor más pequeño corresponde al módulo EFG1030 de Schott solar.

- **Voc módulo**

Estos datos han sido imposibles encontrarlos, para poder realizar la comparativa.

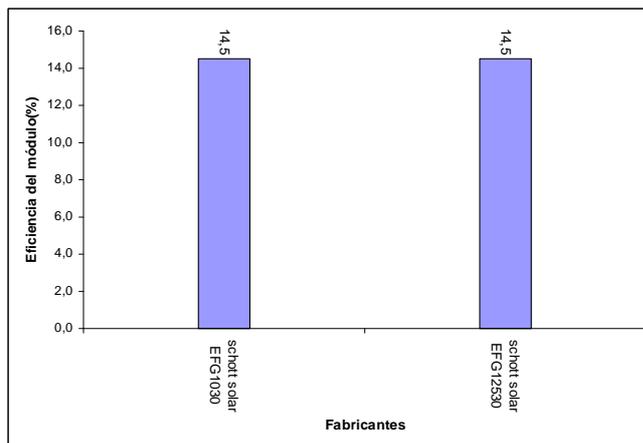
- **Pmp\_módulo**



*Fig.4.2.7.3 Pmp\_módulo para el tipo EFG*

Los valores obtenidos de Pmp\_módulo son los siguientes: 300 (W).Este valor corresponde al módulo EFG 12530 de Schott solar y al módulo EFG1030 de Schott solar.

- **Eficiencia\_módulo**



*Fig.4.2.7.4 Eficiencia\_módulo para el tipo EFG*

Como se puede observar en la gráfica la eficiencia en estos módulos EFG es de 14.5%.

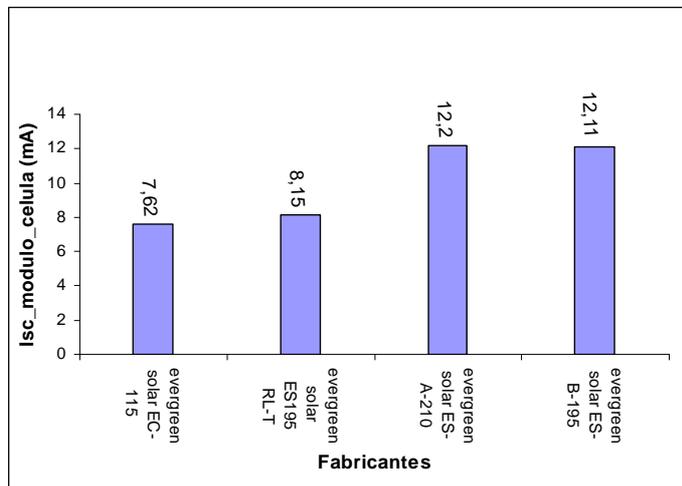
#### **4.2.8 RIBBON**

El fabricante y módulos seleccionados han sido los siguientes:

<b>EC-115</b>	evergreen solar EC-115
<b>ES195 RL-T</b>	evergreen solar ES195 RL-T
<b>ES-A-210</b>	evergreen solar ES-A-210
<b>ES-B-195</b>	evergreen solar ES-B-195

**Fig.4.2.8.1** Tabla con los fabricantes y módulos seleccionados tipo **RIBBON**

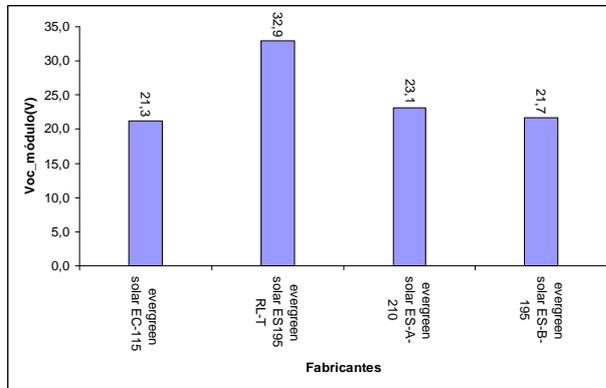
- **Isc módulo**



**Fig.4.2.8.2** Isc\_módulo para el tipo **RIBBON**

Los valores de Isc del módulo obtenido son los siguientes: 7.62, 8.15, 12.2 y 12.11 (mA). El valor más alto obtenido, 12.2 mA, corresponde al módulo ES-A-210, de Evergreen solar. El módulo de Isc menor, 7.62, corresponde al módulo EC-115 de Evergreen solar.

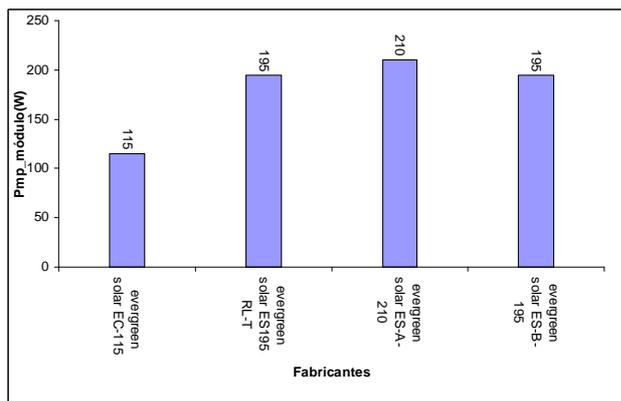
- **Voc módulo**



***Fig.4.2.8.3 Voc\_módulo para el tipo RIBBON***

Los valores de Voc del módulo obtenido son los siguientes: 21.3, 32.9, 23.1 y 21.7 (V). El valor más alto obtenido, 32.9 V, corresponde al módulo ES-195 RL-T de Evergreen solar. El módulo de Voc menor, 21.3 V, corresponde al módulo EC-115 de Evergreen solar.

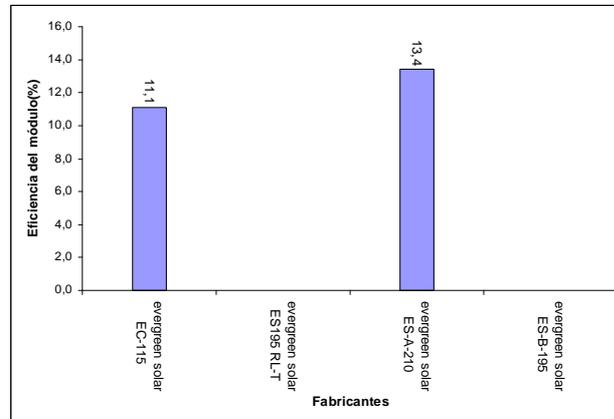
- **Pmp módulo**



***Fig.4.2.8.4 Pmp\_módulo para el tipo RIBBON***

Los valores de Pmp del módulo obtenido son los siguientes: 115, 195 y 210 (W). El valor más alto obtenido, 210 W corresponde al módulo ES-A-210 de Evergreen solar. El módulo de Pmp menor, 115 W, corresponde al módulo EC-115 de Evergreen solar.

- **Eficiencia módulo**



***Fig.4.2.8.5 Eficiencia\_módulo para el tipo RIBBON***

Como se puede observar no se ha obtenido información relevante a la eficiencia del módulo para dos de los módulos estudiados. Dentro de la información encontrada, los valores de eficiencia del módulo obtenido son los siguientes: 11.1 y 13.4 (%). El valor más alto obtenido, 13.4 % corresponde al módulo ES-A-210 de Evergreen solar. El módulo de eficiencia menor, 11.1%, corresponde a EC-115 de Evergreen solar.

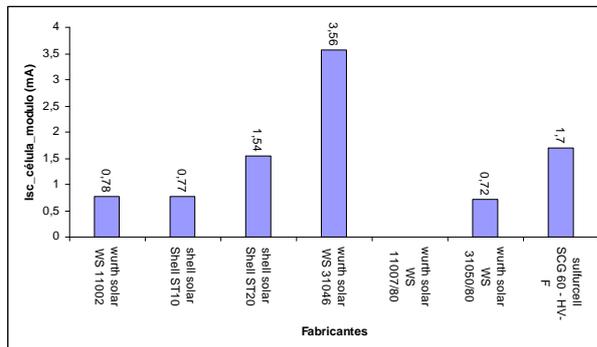
### 4.2.9 CIS

Los fabricantes y módulos seleccionados del tipo CIS son los siguientes:

<b>WS 11002</b>	wurth solar
<b>Shell ST10</b>	shell solar
<b>Shell ST20</b>	shell solar
<b>WS 31046</b>	wurth solar
<b>WS 11007/80</b>	wurth solar
<b>WS 31050/80</b>	wurth solar
<b>SCG 60 - HV-F</b>	sulfurcell

*Fig.4.2.9.1 Tabla con los fabricantes y módulos seleccionados tipo CIS*

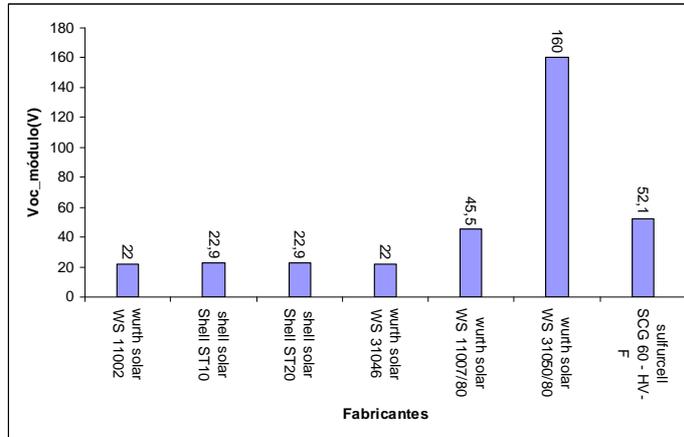
- Isc módulo



*Fig.4.2.9.2 Isc\_módulo para el tipo CIS*

Los valores de Isc\_módulo son los siguientes: 0.78, 0.77, 1.54, 3.56, 0.72 y 1,74 (mA). El valor más alto de Isc, 3.56 mA, corresponde al módulo WS 31046 de Wurth solar y el valor más bajo, 0.72 mA, corresponde al módulo WS 31050/80 de Wurth solar.

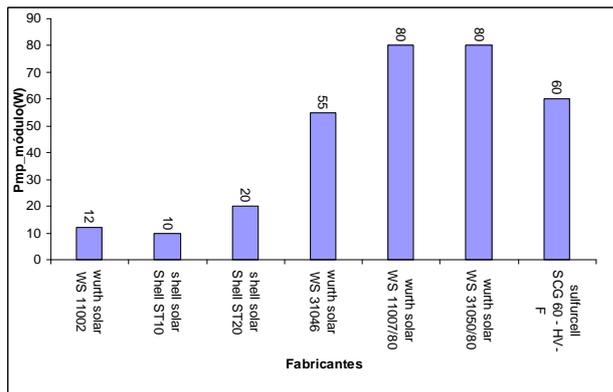
- **Voc módulo**



**Fig 4.2.9.3 Voc\_módulo para el tipo CIS**

Los valores de Voc\_módulo son los siguientes: 22, 22.9, 160, 45.5 y 52.1 (V). El valor más alto de Voc, 160 V, corresponden al módulo WS 31050/80 de Wurth solar y el valor más bajo, 22 V, corresponden a los módulos WS 11002 y WS 31046 de Wurth solar.

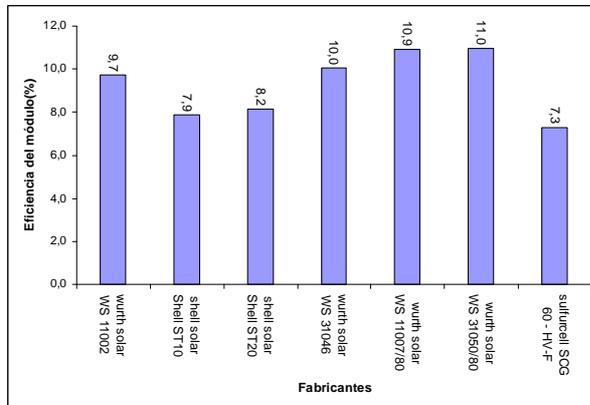
- **Pmp módulo**



**Fig4.2.9.4 Pmp\_módulo para el tipo CIS**

Los valores de Pmp\_módulo son los siguientes: 12, 10, 20, 55, 80 y 60 (W). El valor más alto de Pmp, 80 W, corresponden a los módulos WS 31050/80 y WS 11007/80 de Wurth solar y el valor más bajo, 10 W, corresponde al módulo ST10 de Shell solar.

- **Eficiencia**



***Fig.4.2.9.5 Eficiencia\_módulo para el tipo CIS***

Los valores de eficiencia del módulo son los siguientes: 9.7, 7.9, 8.2, 10, 10.9, 11 y 7.3 (%). El valor más alto de eficiencia, 11 %, corresponde al módulo WS 31050/80 de Wurth solar y el valor más bajo, 7.3%, corresponde al módulo SCG 60-HVF de Sulfurcell.

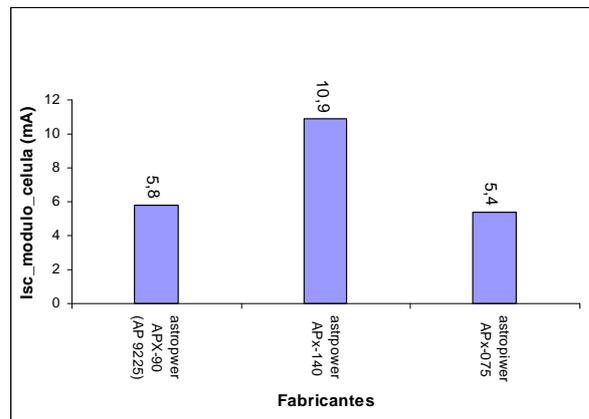
#### **4.2.10 APEX**

Los fabricantes y los módulos seleccionados para el tipo de célula Apex son los siguientes:

<b>APX-90 (AP 9225)</b>	astropwer
<b>APx-140</b>	astrpower
<b>APx-075</b>	astropiwer

*Fig.4.2.10.1 Tabla con los fabricantes y módulos seleccionados para el tipo Apex*

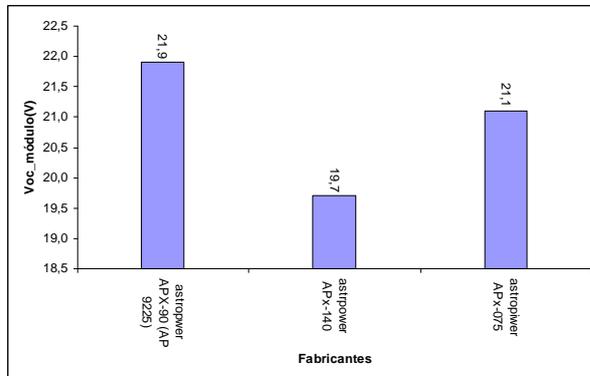
- **Isc módulo**



*Fig.4.2.10.2 Isc\_módulo para el tipo Apex*

Los valores obtenidos para Isc\_módulo para el tipo Apex son los siguientes: 5.8, 10,9 y 5,4 (mA).El valor más elevado, 10,9 mA, corresponde al módulo AP-X-140 de Astropower y el valor más bajo, 5,4mA, corresponde al módulo AP-X-075 de Astropower.

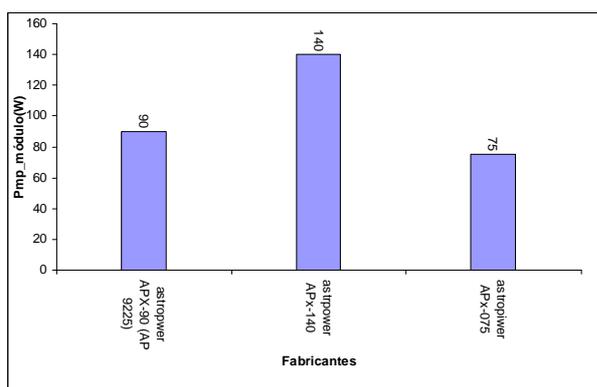
- **Voc módulo**



*Fig.4.2.10.3 Voc\_módulo para el tipo Apex*

Los valores obtenidos para Voc\_módulo para el tipo Apex son los siguientes: 21.9, 19.7 y 21.1 (V).El valor más elevado, 21.9 V, corresponde al módulo AP-X-90 de Astropower y el valor más bajo, 19.7 V, corresponde al módulo AP-X-075 de Astropower.

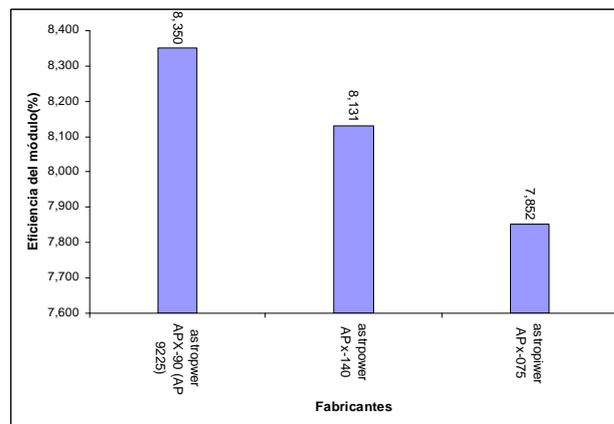
- **Pmp módulo**



*Fig.4.2.10.4 Pmp\_módulo para el tipo Apex*

Los valores obtenidos para Pmp\_módulo para el tipo Apex son los siguientes: 90, 140, y 75 (W).El valor más elevado, 140W, corresponde al módulo AP-X-140 de Astropower y el valor más bajo, 75W, corresponde al módulo AP-X-075 de Astropower.

- **Eficiencia módulo**



*Fig.4.2.10.5 Eficiencia\_módulo para el tipo Apex*

Los valores obtenidos para Eficiencia\_módulo para el tipo Apex son los siguientes: 8.350, 8.131 y 7.852 (%)). El valor más elevado, 8.350%, corresponde al módulo AP-X-90 de Astropower y el valor más bajo, 7.852%, corresponde al módulo AP-X-075 de Astropower.

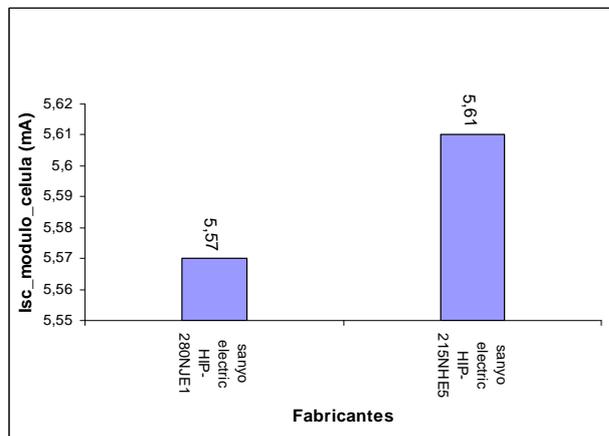
#### **4.2.11 HIT**

Los fabricantes y módulos seleccionados del tipo HIT son los siguientes:

<b>HIP-280NJE1</b>	sanyo electric
<b>HIP-215NHE5</b>	sanyo electric

*Fig 4.2.11.1 Tabla con los módulos y fabricantes seleccionados tipo HIT*

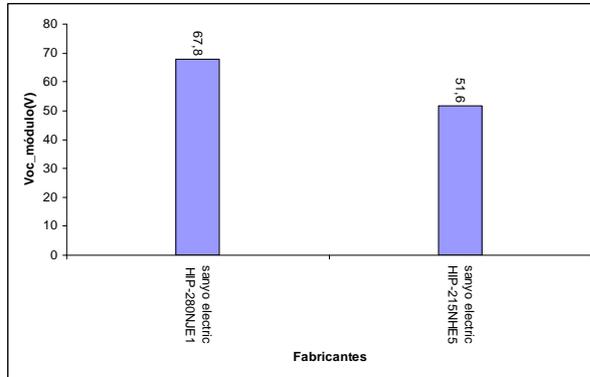
- **Isc módulo**



*Fig4.2.11.2 Isc\_módulo para el tipo HIT*

Los valores obtenidos de Isc\_módulo para el tipo HIT son los siguientes: 5.57 y 5.61 (mA). El valor más alto, 5.61 mA, corresponde al módulo HIP-215NHE5 de Sanyo electric, y el valor más bajo, 5.57 mA, corresponde al módulo HIP-280NUE1 de Sanyo Electric.

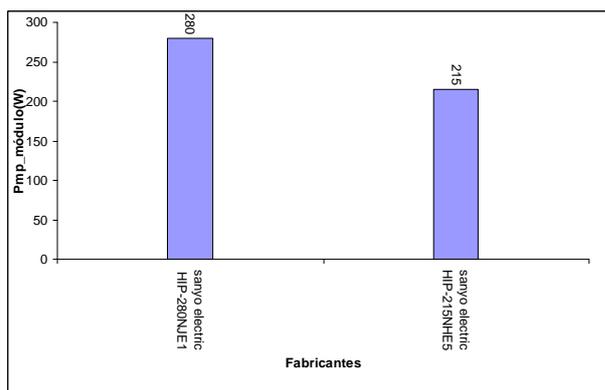
- **Voc módulo**



*Fig 4.2.11.3 Voc\_módulo para tipo HIT*

Los valores obtenidos de Voc\_módulo para el tipo HIT son los siguientes: 67.8 y 51.6(V). El valor más alto, 67.8 V corresponde al módulo HIP-285NUE1 de Sanyo electric, y el valor más bajo, 51.6 V corresponde al módulo HIP-215NHE5 de Sanyo Electric.

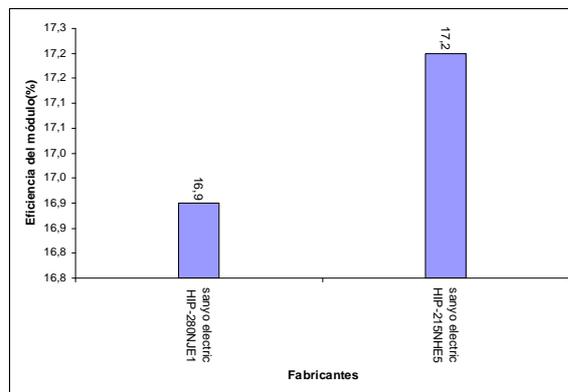
- **Pmp módulo**



*Fig 4.2.11.4 Pmp\_módulo para tipo HIT*

Los valores obtenidos de Pmp\_módulo para el tipo HIT son los siguientes: 280 y 215 (W). El valor más alto, 280 W corresponde al módulo HIP-215NHE5 de Sanyo electric, y el valor más bajo, 215 W corresponde al módulo HIP-280NUE1 de Sanyo Electric.

- **Eficiencia módulo**



*Fig 4.2.11.5 Eficiencia\_módulo tipo HIT*

Los valores obtenidos de eficiencia del módulo para el tipo HIT son los siguientes: 16.9 y 17.2 (%). El valor más alto corresponde al módulo HIP-215NHE5 de Sanyo electric, y el valor más bajo corresponde al módulo HIP-280NUE1 de Sanyo Electric.

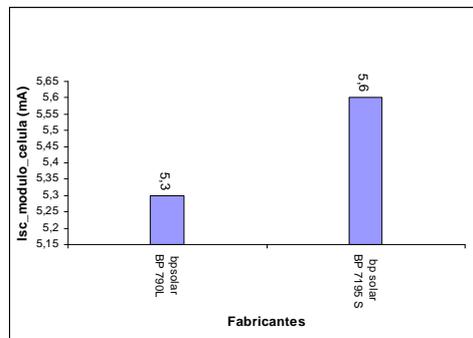
#### 4.2.12 MONOLGBC

Los módulos y fabricantes seleccionados para el tipo MonoLGBC son los siguientes:

**BP 790L** bpsolar  
**BP 7195 S** bp solar

*Fig. 4.2.12.1 Tabla con los módulos y fabricantes seleccionados para el tipo monoLGBC*

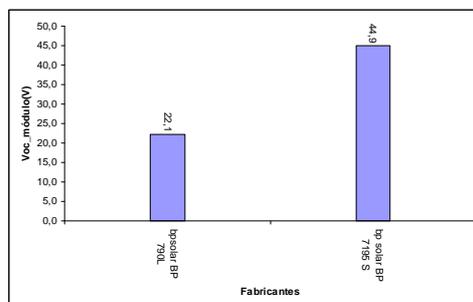
- Isc módulo



*Fig.4.2.12.2 Isc\_módulo para el tipo monoLGBC*

Los valores de Isc\_módulo son los siguientes: 5.3 y 5.6 (mA). El valor más alto, 5.6 mA corresponde al módulo BP 7195 S de BP solar y el valor más bajo, 5.3 mA corresponde al módulo BP 790L de BP solar.

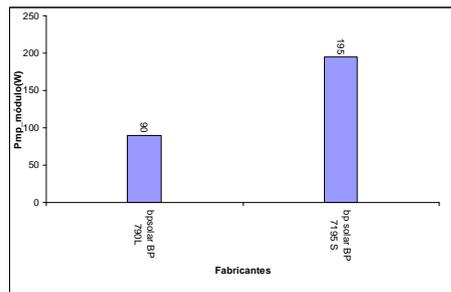
- Voc módulo



*Fig.4.2.12.3 Voc\_módulo para el tipo monoLGBC*

Los valores de Voc\_módulo son los siguientes: 22.1 y 44.9 (V).El valor más alto, 44.9V mA corresponde al módulo BP 7195 S de BP solar y el valor más bajo, 22.1 V corresponde al módulo BP 790L de BP solar.

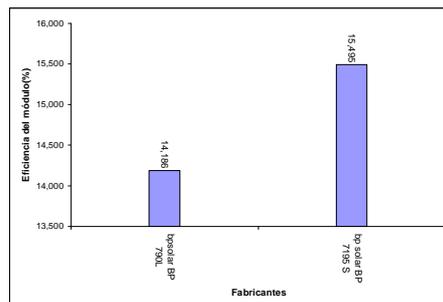
- **Pmp módulo**



*Fig.4.2.12.4 Pmp\_módulo para el tipo monoLGBC*

Los valores de Pmp\_módulo son los siguientes: 90 y 195 (W). El valor más alto, 195 W corresponde al módulo BP 7195 S de BP solar y el valor más bajo, 90 W corresponde al módulo BP 790L de BP solar.

- **Eficiencia módulo**



*Fig 4.2.12.5 Eficiencia\_módulo para el tipo monoLGBC*

Los valores de Eficiencia\_módulo son los siguientes: 14.186 y 15.495 (%).El valor más alto, 15.495% corresponde al módulo BP 7195 S de BP solar y el valor más bajo, 14.186 % corresponde al módulo BP 790L de BP solar.

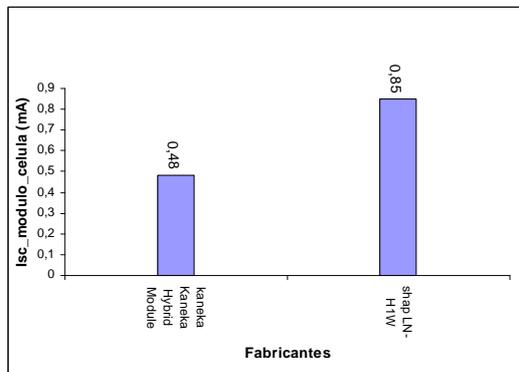
### 4.2.13 $\mu$ -Si/a-Si

Los fabricantes y módulos seleccionados para el tipo  $\mu$ -Si/a-Si son los siguientes:

<b>Kaneka Hybrid Module</b>	kaneka
<b>LN-H1W</b>	shap

*Fig.4.2.13.1 Tabla con los módulos y fabricantes seleccionados para el tipo  $\mu$ -Si/a-Si.*

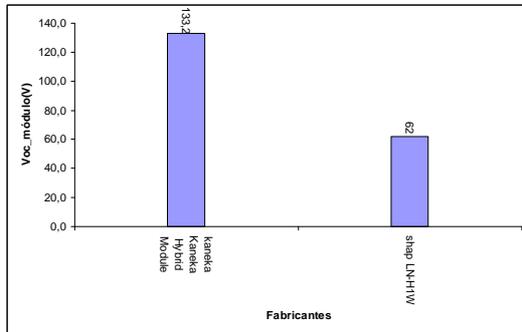
- Isc módulo



*Fig.4.2.13.2 Isc\_módulo para el tipo  $\mu$ -Si/a-Si*

Los valores obtenidos para el Isc\_módulo son los siguientes: 0.48 y 0.85 (mA). El valor más alto, 0.85 mA, corresponde al módulo LN-H1W de Sharp corporation y el valor más bajo, 0.48 mA, corresponde al módulo Kaneka Hybrid de Kaneka solar.

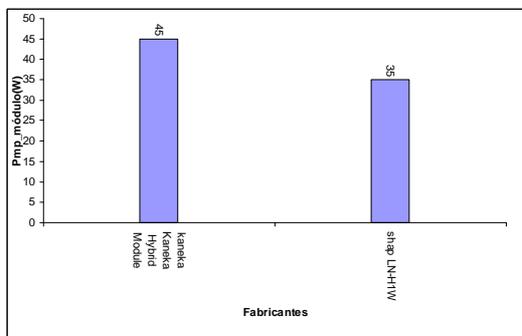
- **Voc módulo**



***Fig.4.2.13.3 Voc\_módulo para el tipo  $\mu$ -Si/a-Si***

Los valores obtenidos para el Voc\_módulo son los siguientes: 133.2 y 62(V).El valor más alto, 133.2 V corresponde al módulo Kaneka Hybrid de Kaneka solar y el valor más bajo, 62 V, corresponde al módulo LN-H1W de Sharp corporation.

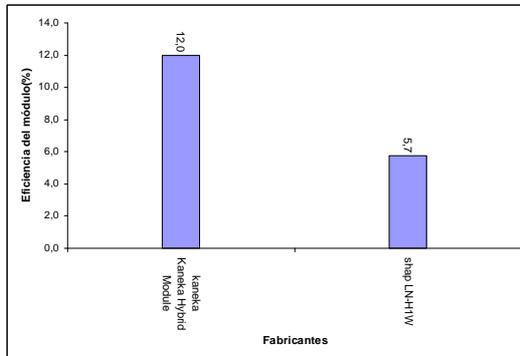
- **Pmp módulo**



***Fig.4.2.13.4 Pmp\_módulo para el tipo  $\mu$ -Si/a-Si***

Los valores obtenidos para la Pmp\_módulo son los siguientes: 45 y 35 (W).El valor más alto, 45 W corresponde al módulo Kaneka Hybrid de Kaneka solar y el valor más bajo, 35 W, corresponde al módulo LN-H1W de Sharp corporation.

- **Eficiencia módulo**



***Fig.4.2.13.5 Eficiencia\_módulo para el tipo  $\mu$ -Si/a-Si***

Los valores obtenidos para la eficiencia\_módulo son los siguientes: 12 y 5.7 (%).El valor más alto, 12% corresponde al módulo Kaneka Hybrid de Kaneka solar y el valor más bajo, 5.7 %, corresponde al módulo LN-H1W de Sharp corporation.

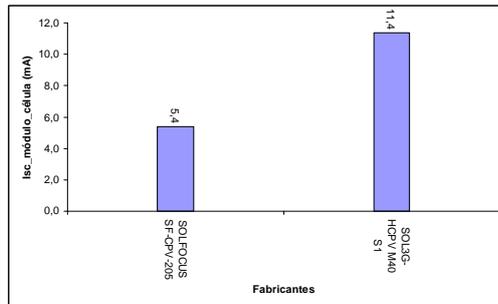
#### **4.2.14 CELULAS DE CONCENTRACIÓN**

Los módulos y fabricantes seleccionados para el tipo de célula de concentración son los siguientes:

<b>SF-CPV-205</b>	Solfocus
<b>HCPV M40 S1</b>	Sol 3g

**Fig.4.2.14.1** *Tabla con los módulos seleccionados y fabricantes para el tipo células de concentración*

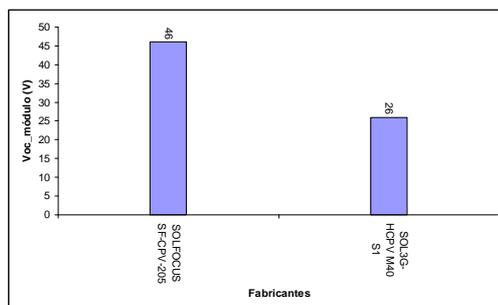
- **Isc\_módulo**



**Fig.4.2.14.2** *Isc del módulo para el tipo células de concentración*

Los valores de Isc\_módulo obtenidos son los siguientes: 5.4 y 11.4 (mA). El valor más alto, 11.4 mA corresponde al módulo HCPV-M40-S1 de la compañía Sol3g y el valor más bajo, 5.4 mA, corresponde al módulo SF-CPV-205 de la compañía Solfocus.

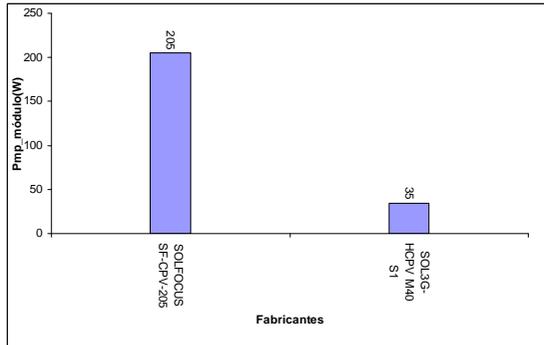
- **Voc\_módulo**



**Fig.4.2.14.3** *Voc\_módulo para el tipo células de concentración*

Los valores de Voc\_módulo obtenidos son los siguientes: 46 y 26 (V). El valor más alto, 46 V, corresponde al módulo SF-CPV-205 de la compañía Solfocus y el valor más bajo ,26 V, corresponde al módulo HCPV M40 S1 de la compañía Sol3g.

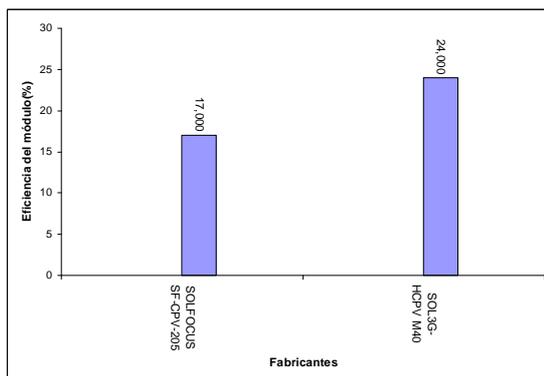
- **Pmp módulo**



*Fig.4.2.14.4 Pmp\_módulo para el tipo células de concentración*

Los valores de Pmp\_módulo obtenidos son los siguientes: 205 y 35 (W). El valor más alto, 205 W, corresponde al módulo SF-CPV-205 de la compañía Solfocus y el valor más bajo , 35 W, corresponde al módulo HCPV M40 S1 de la compañía Sol3g.

- **Eficiencia módulo**



*Fig.4.2.14.5 Eficiencia\_módulo para el tipo células de concentración*



Los valores de Eficiencia\_módulo obtenidos son los siguientes: 24 y 17 (%). El valor más alto, 24 %, corresponde al módulo HCPV-M40-S1 de la compañía Sol3g y el valor más bajo, 17%, corresponde al módulo SF-CPV-205 de la compañía Solfocus.



## **5 CONCLUSIONES**

Para presentar las conclusiones obtenidas, se han realizado dos grupos (conclusiones según tipo de célula fotovoltaica y conclusiones según tipo de módulo fotovoltaico), con las tecnologías más importantes comparadas en cada uno de ellos:

1-Según el tipo de célula analizado, las tecnologías seleccionadas han sido:

- Silicio monocristalino
- Silicio policristalino

2-Según el tipo de módulo analizado, las tecnologías seleccionadas han sido:

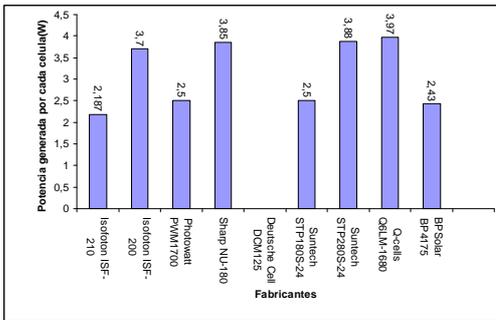
- Silicio monocristalino
- Silicio policristalino
- HIT
- CIS
- RIBBON
- Silicio amorfo

### **5.1 CONCLUSIONES SEGÚN TIPO DE CÉLULA FOTOVOLTAICA ( TIPO SILICIO MONOCRISTALINO Y POLICRISTALINO)**

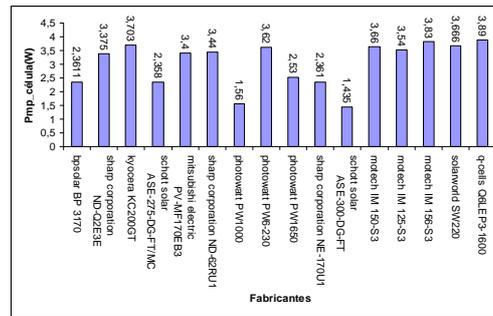
Para presentar las conclusiones obtenidas sobre las características de las diferentes tecnologías de la célula fotovoltaica, se han comparado las características de célula de ambas tecnologías (silicio monocristalino y policristalino), según el estudio comparativo realizado en el capítulo anterior.

- **Pmp célula**

**Silicio Monocristalino**



**Silicio Policristalino**



**Fig 5.1.1 Gráficas de Pmp célula para tipos: Silicio monocristalino y Silicio policristalino**

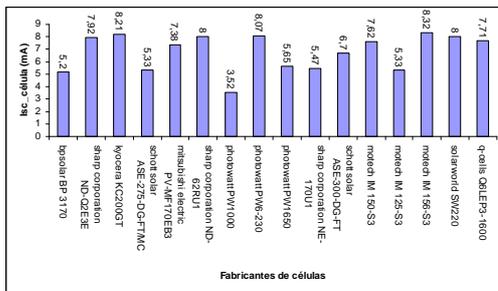
Según el estudio realizado anteriormente, el tipo de célula que ofrece mayor potencia es el tipo silicio monocristalino con el módulo estudiado BP 4175 con 3.97 W, de BP solar, la diferencia con la célula fotovoltaica de silicio policristalino de mayor potencia estudiada de Q-cells con 3.89 W supone una variación de un 2%.

La potencia menor de célula encontrada corresponde al tipo silicio policristalino, módulo ASE-3000-DG-FT de Schott-solar con 1.435 W Podemos observar que la potencia menor que ofrece el silicio monocristalino, 2.187 W, con el módulo ISF 210 de Isofotón.

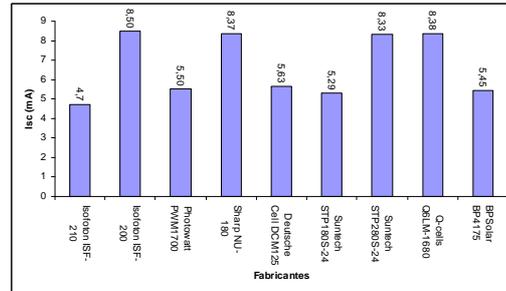


- Isc célula

*Silicio policristalino*



*Silicio monocristalino*



**Fig 5.1.3 Gráficas de Isc\_célula para tipos: Silicio monocristalino y Silicio policristalino**

Según la comparativa analizada anteriormente, para el valor de corriente en cortocircuito (Isc\_célula) podemos observar como la tecnología que consigue un mayor (Isc\_célula) es la tecnología de silicio monocristalino, con la célula estudiada del módulo ISF-200 de Isofotón (8.50 mA). Con el tipo de célula silicio policristalino, el máximo valor de Isc obtenido, se ha encontrado en el módulo IM-156 S3 (8.32 mA) de la compañía Motech, lo cual supone una variación de Isc de los tipos de células comparados de un 2%.

En cuanto al valor mínimo de corriente en cortocircuito, el silicio policristalino con el módulo estudiado PW1000 de Photowatt es el que menos corriente en cortocircuito produce (3.52 mA), mientras que para el silicio monocristalino los valores más bajos obtenidos están en torno a 5mA, siendo la célula el módulo ISF-210 de Isofotón la que menor Isc produce, de las células estudiadas, con 4.7mA. Por lo que tenemos una variación del 45%.



### **Conclusiones finales para la comparativa de célula**

Podemos observar una variabilidad de los datos obtenidos para ambas tecnologías (silicio monocristalino y silicio policristalino), obteniendo una gran dispersión en los datos, según la célula fotovoltaica estudiada, llegando a las siguientes conclusiones:

- **Isc\_célula.**

Para los valores de corriente en cortocircuito de ambas tecnologías he obtenido valores que varían entre (8.5-4.7 mA) para silicio monocristalino y entre (8.32-3.52 mA) para silicio policristalino, por lo que el rango de variación es mayor en el silicio policristalino que en el monocristalino.

- **Voc\_célula.**

Para la tensión en circuito abierto (Voc) podemos observar valores muy uniformes y parecidos en ambas tecnologías, en torno a 0.6 V.

- **Pmp\_célula.**

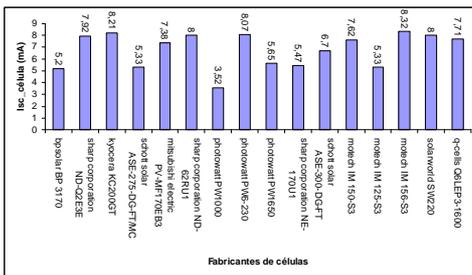
Para la potencia máxima obtenemos un rango de variación mayor en el tipo Silicio policristalino (1.135-3.7 W), que en el tipo Silicio monocristalino (2.5-3.97 W).

**5.2 TIPO DE MÓDULO FOTOVOLTAICO (SILICIO MONOCRISTALINO, SILICIO POLICRISTALINO, HIT, CIS Y SILICIO AMORFO)**

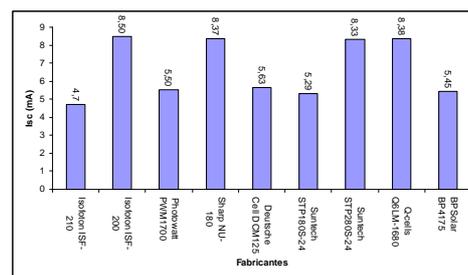
Para presentar las conclusiones obtenidas con respecto a los módulos estudiados, se han seleccionado las siguientes tecnologías: silicio monocristalino, silicio policristalino, HIT, CIS, RIBBON y silicio amorfo, la comparativa se va a realizar a partir de los datos expuestos en el capítulo anterior.

• **Isc módulo**

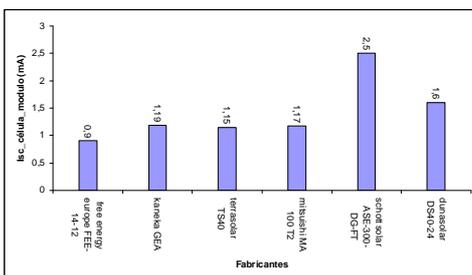
*Silicio policristalino*



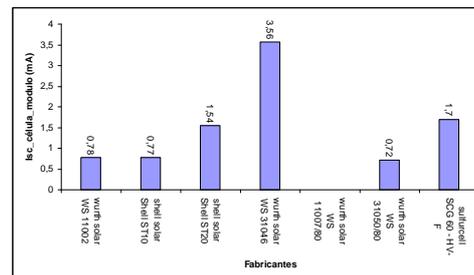
*Silicio monocristalino*



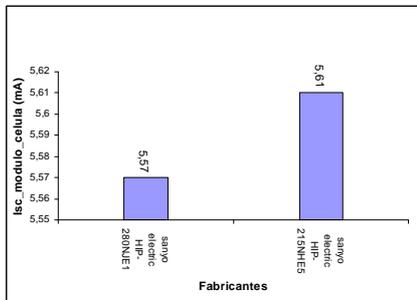
*Silicio amorfo*



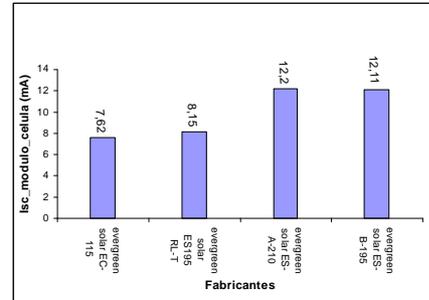
*CIS*



**HIT**



**RIBBON**



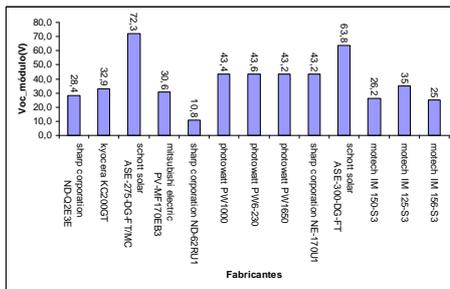
**Fig 5.2.1 Gráficas de Isc\_módulo para tipos: Silicio monocristalino y Silicio policristalino, Silicio amorfo, RIBBON, CIS y HIT.**

Para estas tecnologías estudiadas, podemos observar como las que mayor corriente en cortocircuito (Isc) tienen son: RIBBON, Silicio policristalino y Silicio monocristalino. Las que menos Isc tienen son: CIS y HIT, con valores que pueden llegar a tener una variación de casi el 90% respecto a las anteriores. Para el tipo Silicio amorfo se han encontrado valores intermedios de Isc en torno a 5 mA.

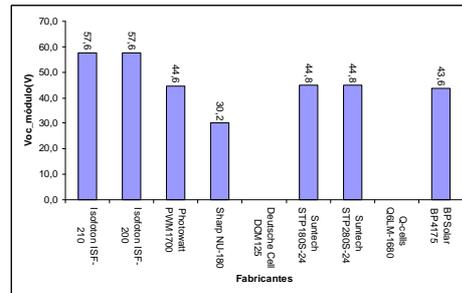
Según la comparativa realizada, para la corriente en cortocircuito (Isc), podemos observar que la tecnología que mayor Isc tiene de todas, es el la tecnología tipo String Ribbon con el módulo ES B195 de Evergreen solar (12.2 mA). La tecnología que menos Isc tiene es la tipo CIS, con el valor mínimo estudiado (0.72 mA) encontrado en el módulo WS 31050/80 de Wurth solar.

• Voc módulo

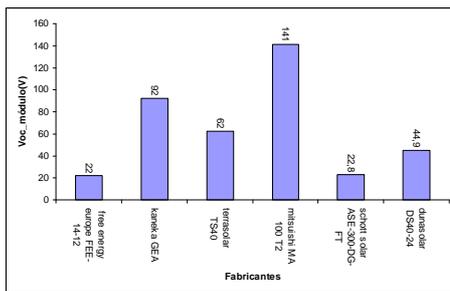
*Silicio policristalino*



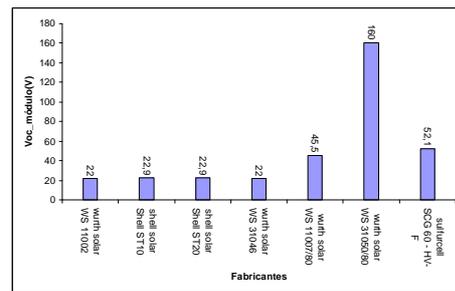
*Silicio monocristalino*



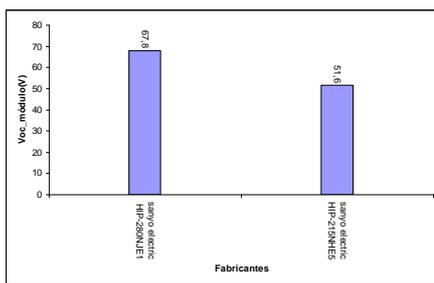
*Silicio amorfo*



*CIS*



*HIT*



*RIBBON*

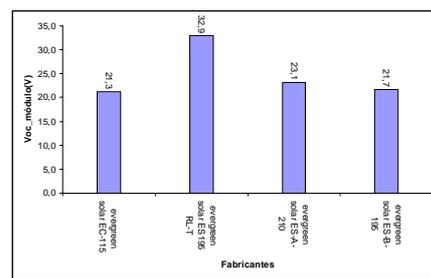


Fig 5.2.2 Gráficas de Voc\_módulo para tipos: Silicio monocristalino y Silicio policristalino, Silicio amorfo, RIBBON, CIS y HIT.

Para los valores de Voc\_módulo presentados anteriormente, podemos observar como la tecnología que mayor tensión en circuito abierto (Voc) nos ofrece es la tecnología tipo CIS (160 V) con el módulo estudiado WS 31050/80 de la compañía Wurth solar. El

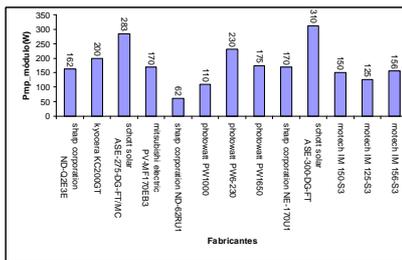


módulo de los comparados que menor Voc tiene es ND-6RU1 cuyo valor es 10.8 V de la compañía Sharp Corporation.

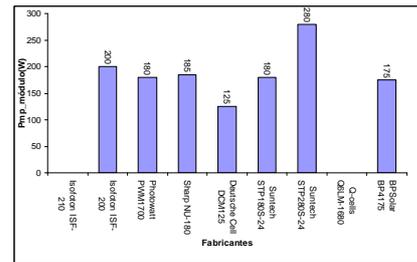
Podemos observar como de las tecnologías estudiadas, la tecnología tipo RIBBON es la que menos Voc tiene, ya que para los módulos estudiados, el valor mayor de Voc obtenido es de 32.9 V en el módulo ES 195-RL-T de Evergreen solar.

• **Pmp módulo**

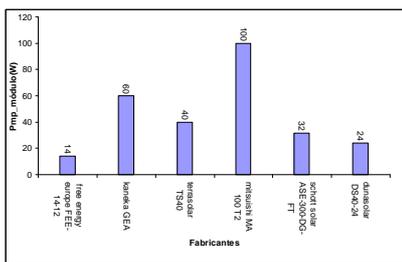
***Silicio policristalino***



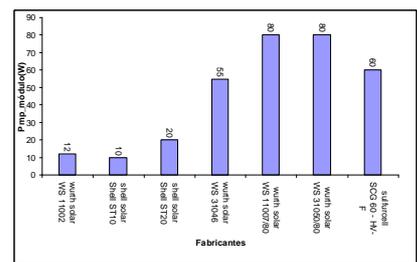
***Silicio monocristalino***



***Silicio amorfo***

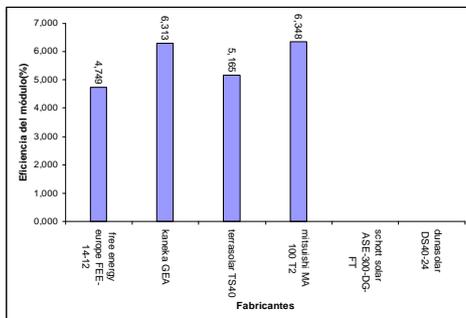


***CIS***

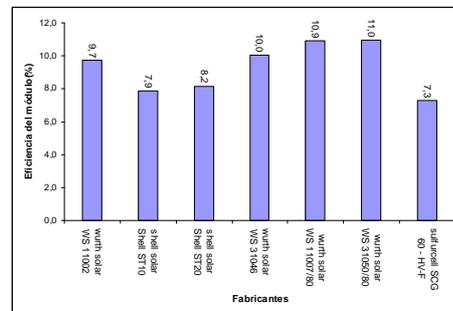




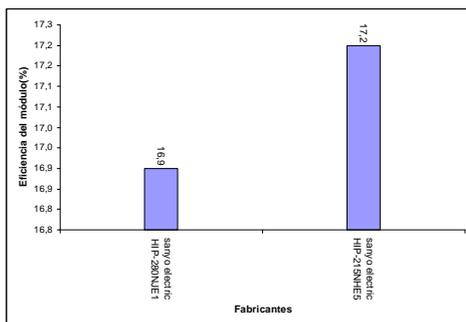
**Silicio amorfo**



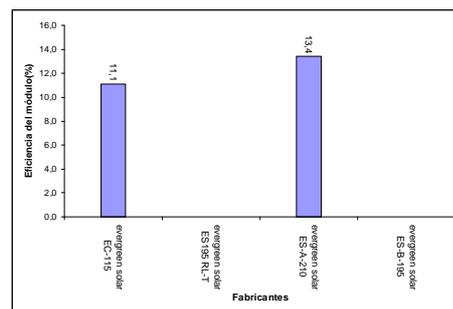
**CIS**



**HIT**



**RIBBON**



**Fig 5.2.4 Gráficas de Eficiencia\_módulo para tipos: Silicio monocristalino y Silicio policristalino, Silicio amorfo, RIBBON, CIS y HIT.**

Para la eficiencia de módulo, según los valores expuestos anteriormente, podemos observar que la tecnología que mayor eficiencia nos ofrece (17.2%), es la tecnología tipo HIT con el módulo HIP-215NHE5 de Sanyo Electric, y la tecnología que menor eficiencia nos ofrece (4.7 %) es la tecnología de Silicio amorfo con el módulo FEE-41-12 de Free energy europe.

Podemos observar que la eficiencia según la tecnología estudiada se mantiene en un rango de valores:

- Silicio monocristalino. Rango de eficiencia (12-14.1 %)



- Silicio policristalino. Rango de eficiencia (12.4-16.5 %)
- Silicio amorfo. Rango de eficiencia (4.7-6.3 %)
- HIT. Rango de eficiencia (16.9-17.2 %)
- CIS. Rango de eficiencia (11-7.3%)
- RIBBON. Rango de eficiencia (13.4-11.1 %)

**Conclusiones finales para la comparativa del módulo:**

Podemos observar una variabilidad de los datos obtenidos para las tecnologías (silicio monocristalino, silicio policristalino, silicio amorfo, HIT, CIS y RIBBON), obteniendo una gran dispersión en los datos, según el módulo fotovoltaico estudiado, llegando a las siguientes conclusiones:

- **Isc\_módulo**

Para el valor de corriente en cortocircuito ( $I_{sc}$ ), podemos observar como las que mayor corriente en cortocircuito ( $I_{sc}$ ) tienen son: tecnología tipo Silicio policristalino, RIBBON y Silicio monocristalino. Las que menos  $I_{sc}$  tienen son las tecnologías: CIS y HIT. Para el tipo Silicio amorfo se han encontrado valores intermedios de  $I_{sc}$  en torno a 5 mA.

- **Voc\_módulo**

Para el valor de tensión en circuito abierto ( $V_{oc}$ ), la tecnología donde se ha encontrado el mayor valor ha sido en la tecnología tipo CIS, 160 V, aunque la media para esta tecnología esta en torno a 50 V, que es el valor de  $V_{oc}$  medio obtenido para las tecnologías tipo silicio monocristalino, policristalino y HIT.

La tecnología con menor valor de tensión en circuito abierto ( $V_{oc}$ ) es la tecnología tipo RIBBON con valores encontrados de  $V_{oc}$  en el rango (21.3-32.9 V)



- **Pmp\_módulo**

Para el valor de Pmp\_módulo, la tecnología que mayor potencia ofrece es el silicio policristalino seguido de la tecnología de silicio monocristalino, HIT y RIBBON, con valores encontrados en algunos módulos de dichas tecnologías en torno a 300 W.

Las tecnologías CIS y silicio amorfo son las que menos potencia nos dan con valores de Pmp\_módulo que están en torno a 10 W, en algunos módulos estudiados de ambas tecnologías.

- **Eficiencia\_módulo**

Para el valor de eficiencia\_módulo, se han obtenido datos menos variables. La tecnología que menos eficiencia\_módulo ofrece es la de Silicio amorfo, según lo esperado ya que el principal problema de esta tecnología es la baja eficiencia tras una prolongada exposición a rayos solares y la tecnología que más eficiencia\_módulo ofrece es la tecnología tipo HIT, que también era el resultado esperado ya que la tecnología tipo HIT es la que mayor rendimiento teórico ofrece del sector.



Este estudio presentado se puede continuar en un futuro, realizando una comparativa de las características de cada tipo de célula fotovoltaica, para todas las tecnologías presentadas en este proyecto.

El estudio para poder realizar una comparativa global con todas las tecnologías actuales a nivel de célula fotovoltaica, necesitaría la recopilación de la información necesaria para poder realizar la comparativa pertinente de las tecnologías:

- 3. Silicio amorfo
- 4. Silicio amorfo tipo tándem
- 5. Silicio amorfo triple
- 6.CdTe
- 7.EFG
- 8.RIBBON
- 9.CIS
- 10.Apex
- 11.HIT
- 12,MonoLGBC
- 13.  $\mu$ -Si/a-Si
- 14.Células de concentración

Con ello se conseguiría a nivel de célula fotovoltaica, una mayor precisión en los datos comparados, que a nivel de módulo fotovoltaico. Realizándose una comparativa similar a la de las tecnologías:

- 1.Silicio monocristalino
- 2.Silicio policristalino



**(1) Guía completa de la energía solar fotovoltaica (Adaptada al código de edificación)**

- Fernandez Salgado, Jose María

**(2) Biofuels, solar and wind as renewable energy systems: benefits and risks.**

- Pimentel, David

**(3) Fundamentos, dimensionamiento y aplicaciones de la energía solar fotovoltaica.**

- Centro de Investigaciones energéticas, medioambientales y tecnológicas.

**(4) Photovoltaic systems engineering.**

- Messenger, Roger

**(5) The physics of solar cells.**

- Nelson, Jenny

**(6) Organic Photovoltaics material, device physics and manufacturing technologies**

- Brabec, C.J

**(7) Practical photovoltaics electricity from solar cells**

- Komp, Richard

**(8) Principles of solar engineering.**

- Goswami, D.Yogi



## ANEXOS ELECTRÓNICOS

- [www.schott.com/solar](http://www.schott.com/solar)
- [www.photowatt.com](http://www.photowatt.com)
- [www.sharppusa.com/solar](http://www.sharppusa.com/solar)
- [www.bpsolar.es](http://www.bpsolar.es)
- [www.Kyocera.com](http://www.Kyocera.com)
- [www.solarworld.de](http://www.solarworld.de)
- [www.shell-solar.com](http://www.shell-solar.com)
- [www.q-cells.com](http://www.q-cells.com)
- <http://Global.MitsubishiElectric.com/solar>
- [www.motech.com.tw](http://www.motech.com.tw)
- [www.freeenergyeurope.com](http://www.freeenergyeurope.com)
- [www.terrasolar.com](http://www.terrasolar.com)
- [www.erpt.net](http://www.erpt.net)
- [www.mhi.co.jp/e\\_a-si](http://www.mhi.co.jp/e_a-si)
- [www.technosun.com](http://www.technosun.com)
- [www.epv.net](http://www.epv.net)
- [www.firstolar.com](http://www.firstolar.com)
- [www.antec-solar.de](http://www.antec-solar.de)
- [www.wuerth-solar.com](http://www.wuerth-solar.com)
- [www.surfurcell.de](http://www.surfurcell.de)
- [www.sanyo-componet.com](http://www.sanyo-componet.com)
- [www.uni-solar.com](http://www.uni-solar.com)
- [www.atersa.com](http://www.atersa.com)
- [www.suntech-power.com](http://www.suntech-power.com)
- [www.deutsche-cell.de](http://www.deutsche-cell.de)
- [www.siemens.es](http://www.siemens.es)
- [www.canon.es](http://www.canon.es)
- [www.bekaert.com](http://www.bekaert.com)
- [www.sunways.de/es](http://www.sunways.de/es)
- [www.peccell.com](http://www.peccell.com)