

Sumario

1. Introducción
2. Principios de Operación
 - a. Efecto Fotovoltaico
 - b. La Celda Fotovoltaica
 - c. Respuesta Espectral de la Célula de Silicio
3. Fabricación y Características
4. Estructura de un Generador Fotovoltaico
5. Dimensionamiento de un Sistema Fotovoltaico

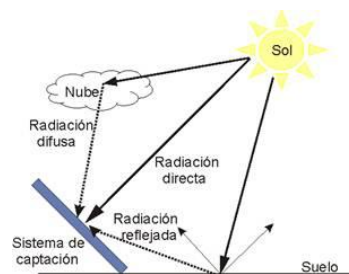
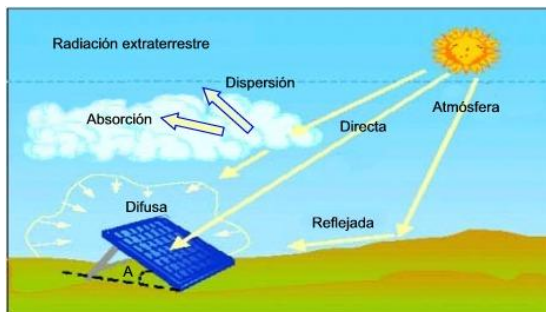
1.- Introducción

- Las principales aplicaciones de la energía solar son de tipo térmico. (Colectores Solares)
- Se puede producir electricidad a partir de la radiación solar mediante celdas solares y paneles fotovoltaicos.
- La energía eléctrica no está presente como fuente de energía primaria, se obtiene por la transformación de alguna otra forma de energía.



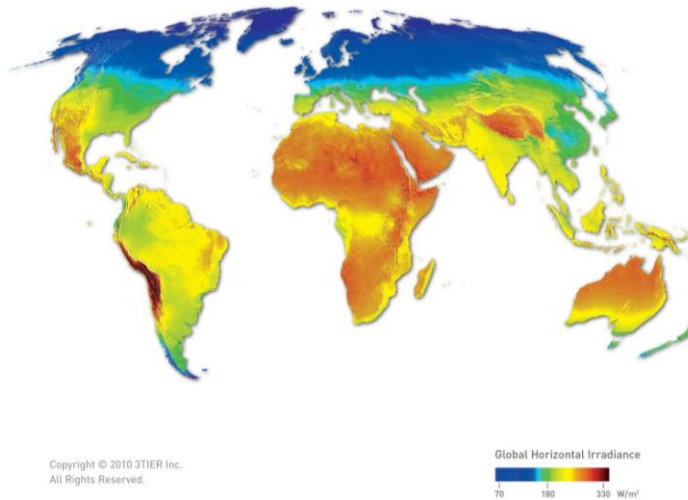
1.- Introducción

- La radiación solar sufre ciertas transformaciones al incidir sobre la atmósfera.
- La irradiación sobre una superficie se mide en W/m^2
 - Radiación Directa.- La que se recibe directamente del sol, sin sufrir ninguna dispersión atmosférica.
 - Radiación Difusa.- Es la que se recibe del sol, después de ser desviada por dispersión atmosférica.
 - Radiación Terrestre.- Proviene de los objetos terrestres.
 - Radiación Total.- La suma de la radiación directa, difusa y la terrestre.



1.- Introducción

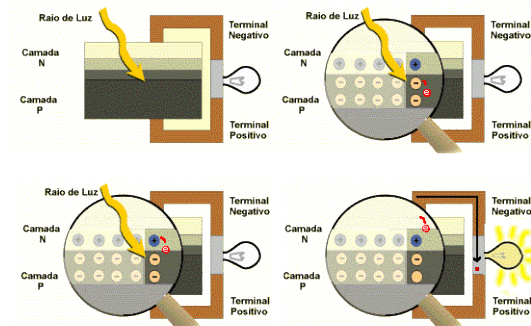
- Patrón de radiación solar a nivel mundial.



2.- Principios de Operación y Características

a.- Efecto Fotovoltaico

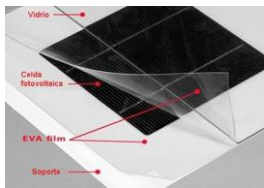
- Ciertos materiales al absorber algún tipo de radiación electromagnética generan en su interior pares de cargas positivas y negativas.
- Si la radiación electromagnética es la solar y el material semiconductor es el Silicio(Si). Los pares de cargas electrones(e-) y huecos(h+) se mueven aleatoriamente en el material.
- Se crea un campo eléctrico permanente en el interior del material que separa la cargas + y -, generando una diferencia de potencial.
- Se conecta a un circuito externo dando origen a una corriente eléctrica.



2.- Principios de Operación y Características

b.- La Celda Fotovoltaica

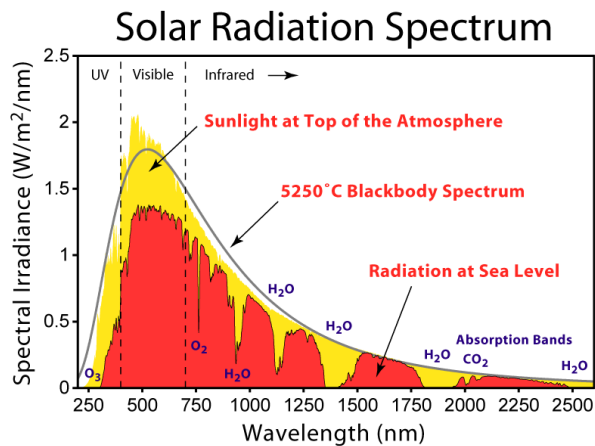
- Partiendo de una oblea de Si mono cristalino (disco delgado) se produce una célula solar una vez que se ha creado el campo eléctrico interno con los contactos eléctricos adecuados.



2.- Principios de Operación y Características

c.- Respuesta Espectral de la Célula de Silicio

- Esta compuesto por radiación de diferente longitud de onda.



2.- Principios de Operación y Características

C.- Respuesta Espectral de la Célula de Silicio

La energía de los fotones se mide convencionalmente en electrón-voltio (eV).

h : constante de Planck

c : velocidad de la luz

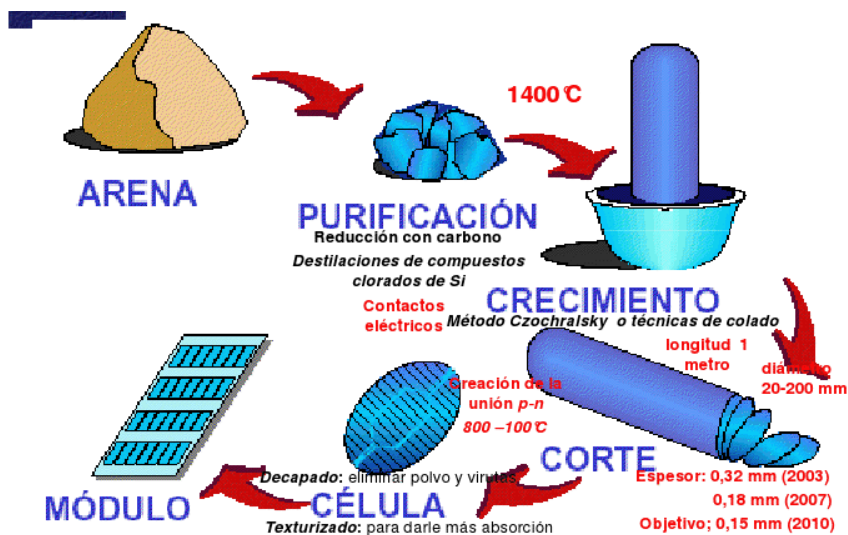
λ : longitud de la onda

$$E_{\text{fotón}} = \frac{hc}{\lambda}$$

- Características generales de las células de Si mono cristalino:
 - Corriente en Corto Circuito 2.2 A
 - Tensión en Circuito Abierto 0.5 V
 - Corriente en el Punto de Máxima Potencia 2.0 A
 - Tensión en el Punto de Máxima Potencia 0.48 V
 - Potencia Máxima 1.0 W
 - Rendimientos Actuales 10-14%

3.- Fabricación y Características.-

a.- Fabricación



3.- Fabricación de una Célula Fotovoltaica

PRIMERA FASE: OBTENCIÓN DEL SILICIO

A partir de las rocas ricas en cuarzo (rocas formadas principalmente por SiO_2 , muy abundantes en la naturaleza) y mediante el proceso de reducción con carbono, se obtiene silicio con una pureza aproximada del 99%, que no resulta suficiente para usos electrónicos y que se suele denominar silicio de grado metalúrgico.

La industria de semiconductores purifica este silicio por procedimientos químicos, normalmente destilaciones de compuestos clorados de silicio, hasta que la concentración de impurezas es inferior a 0.2 partes por millón. El material así obtenido suele ser llamado silicio grado semiconductor y aunque tiene un grado de pureza superior al requerido en muchos casos por las células solares, ha constituido la base del abastecimiento de materia prima para aplicaciones solares, representando en la actualidad casi las tres cuartas partes del abastecimiento de las industrias de fabricación de células.

Sin embargo, para usos específicamente solares, son suficientes (dependiendo del tipo de impureza y de la técnica de cristalización), concentraciones de impurezas del orden de una parte por millón.

Al material de esta concentración se le suele denominar silicio grado solar. Existen actualmente tres posibles procedimientos en distintas fases de experimentación para la obtención del silicio grado solar, que proporcionan un producto casi tan eficaz como el del grado semiconductor a un coste sensiblemente menor.

3.- Fabricación y Características.-

a.- Fabricación

SEGUNDA FASE: CRISTALIZACIÓN

Una vez fundido el silicio, se inicia la cristalización a partir de una semilla. Según dicha semilla es extraída del silicio fundido, este se va solidificando de forma cristalina, resultando, si el tiempo es suficiente, en un monocristal.

El procedimiento más utilizado en la actualidad es el convencional por el método Czochralsky, pudiéndose emplear también técnicas de colado. El silicio cristalino así obtenido tiene forma de lingotes. También se plantean otros métodos capaces de producir directamente el silicio en láminas a partir de técnicas basadas en la epitaxia, en crecimiento sobre soporte o cristalización a partir de Si mediante matrices.

La diferencia principal en la obtención de estructuras monocristalinas (con un único frente de cristalización) y policristalinas (con varios frentes de cristalización, aunque con unas direcciones predominantes) radica en el grado de pureza del silicio durante el crecimiento / recristalización.

3.- Fabricación y Características.-

a.- Fabricación

TERCERA FASE: OBTENCIÓN DE OBLEAS

El proceso de corte tiene gran importancia en la producción de las láminas obleas a partir del lingote, ya que supone una importante pérdida de material (que puede alcanzar el 50%). El espesor de las obleas suele ser del orden de 2-4 mm.

CUARTA FASE: FABRICACIÓN DEL MODULO

Una vez obtenida la oblea, es necesario mejorar su superficie, que presenta irregularidades y defectos debidos al corte, además de retirar de la misma los restos que puedan llevar (polvo, virutas), mediante el proceso denominado decapado.

Con la oblea limpia, se procede al texturizado de la misma (siempre para células monocristalinas, ya que las células policristalinas no admiten este tipo de procesos), aprovechando las propiedades cristalinas del silicio para obtener una superficie que absorba con más eficiencia la radiación solar incidente.

Posteriormente se procede a la formación de una unión PN mediante deposición de distintos materiales (compuestos de fósforo para las partes N y compuestos de boro para las partes P, aunque normalmente, las obleas ya están dopadas con boro), y su integración en la estructura del silicio cristalino.

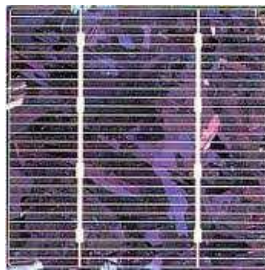
El siguiente paso es la formación de los contactos metálicos de la célula, en forma de rejilla en la cara iluminada por el sol, y continuo en la cara posterior. La formación de los contactos en la cara iluminada se realiza mediante técnicas serigráficas, empleando más recientemente la tecnología láser para obtener contactos de mejor calidad y rendimiento.

3.- Fabricación y Características

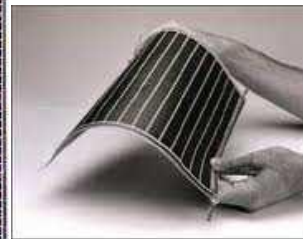
b.- Tipos de Células Fotovoltaicas



Silicio Mono cristalino



Silicio Poli cristalino



Silicio Amorfo

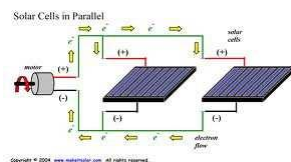
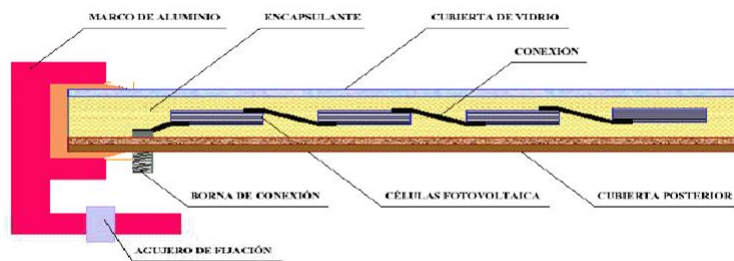
3.- Fabricación y Características

b.- Tipos de Células Fotovoltaicas

CÉLULAS	RENDIMIENTO LABORATORIO	RENDIMIENTO DIRECTO	CARACTERÍSTICAS	FABRICACIÓN
 MONOCRISTALINO	24 %	15 - 18 %	Es típico los azules homogéneos y la conexión de las células individuales entre sí (Czochralsky).	Se obtiene de silicio puro fundido y dopado con boro.
 POLICRISTALINO	19 - 20 %	12 - 14 %	La superficie está estructurada en cristales y contiene distintos tonos azules.	Igual que el del monocrystalino, pero se disminuye el número de fases de cristalización.
 AMORFO	16 %	< 10 %	Tiene un color homogéneo (marrón), pero no existe conexión visible entre las células.	Tiene la ventaja de depositarse en forma de lámina delgada y sobre un sustrato como vidrio o plástico.

3.- Fabricación y Características

c.- Características constructivas del panel solar



3.- Fabricación y Características

d.- Curva características del panel solar

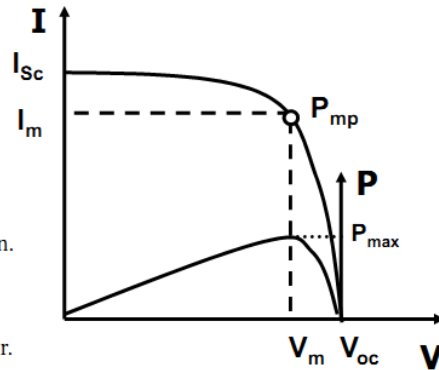
Ecuación característica

$$I = I_L - I_S \left[e^{\frac{qV}{kT}} - 1 \right]$$

- I: corriente del panel.
- V: tensión del panel.
- I_L : corriente fotogenerada.
- I_S : corriente inversa de saturación.
- q: carga del electrón.
- k: constante de Boltzman.
- T: temperatura del semiconductor.

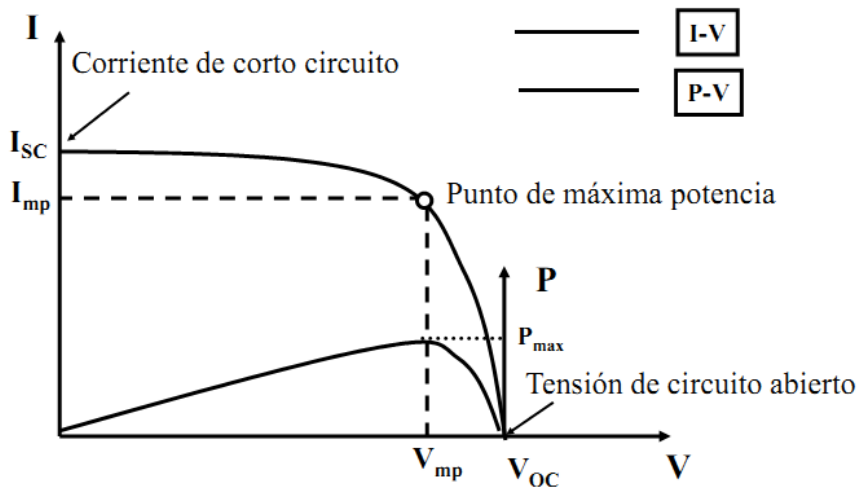
Curva característica

(I-V y P-V)



3.- Fabricación y Características

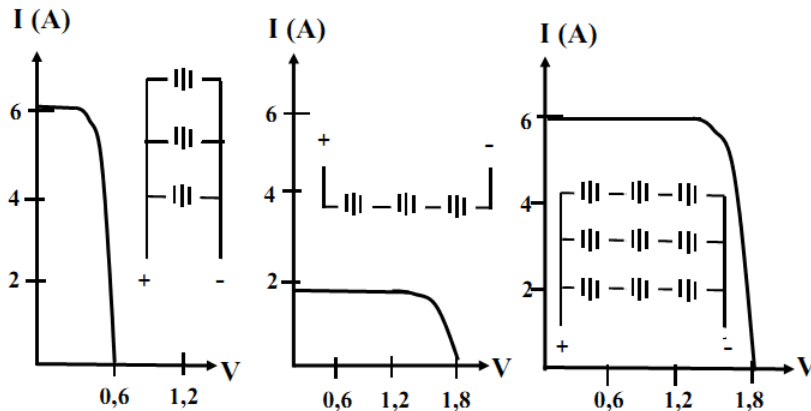
d.- Curva características del panel solar



3.- Fabricación y Características

d.- Curva características del panel solar

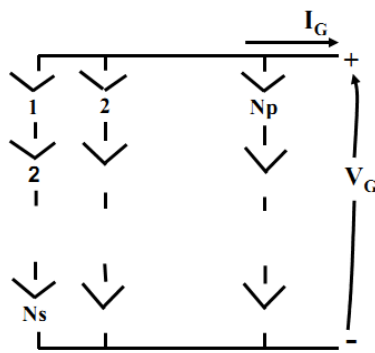
Influencia de la conexión de las células solares en serie o en paralelo sobre la curva I - V



3.- Fabricación y Características

d.- Curva características del panel solar

- El generador solar está constituido por la asociación eléctrica de paneles solares en serie y/o en paralelo.



- N_S : nº de paneles en serie.
- N_P : nº de paneles en paralelo.
- V_G : tensión del generador.
- I_G : corriente del generador.
- R_{sG} : resistencia serie del generador.
- I_{SCG} : corriente de cortocircuito del generador.
- V_{OCG} : tensión de circuito abierto del generador.

Ecuación característica:

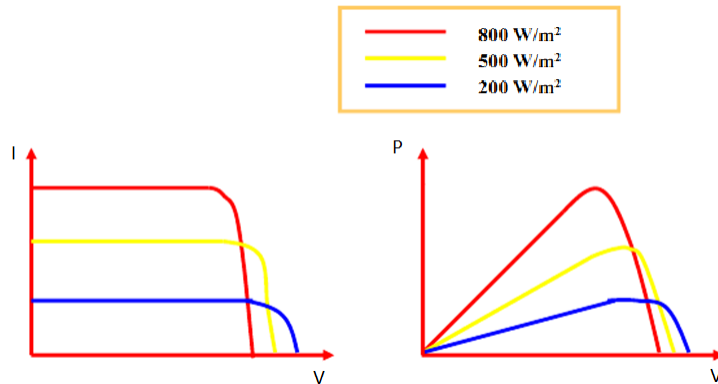
$$I_G = I_{SCG} \left[1 - e^{\frac{q(V_G - V_{OCG} + I_G \cdot R_{sG})}{N_S \cdot m \cdot k \cdot T}} \right]$$

3.- Fabricación y Características

d.- Curva características del panel solar

Irradiación Solar

- La corriente de cortocircuito aumenta al aumentar la irradiación.
- La tensión de circuito abierto disminuye al aumentar la irradiación.
- La potencia máxima aumenta al aumentar irradiación aumenta.

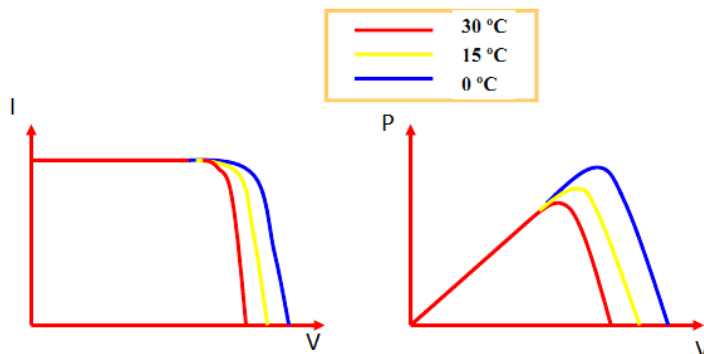


3.- Fabricación y Características

d.- Curva características del panel solar

Temperatura

- La corriente de cortocircuito no depende de la temperatura.
- La tensión de circuito abierto disminuye al aumentar la temperatura.
- La potencia máxima disminuye al aumentar la temperatura

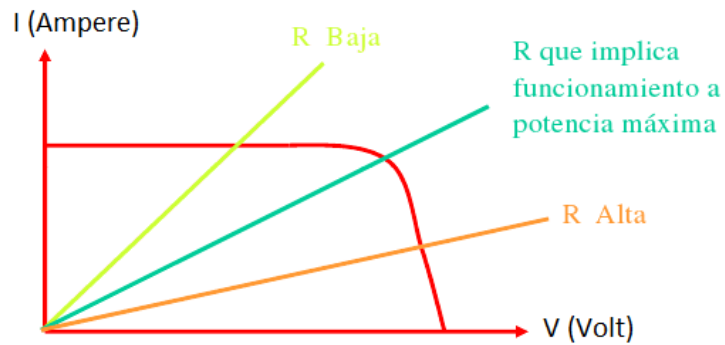


3.- Fabricación y Características

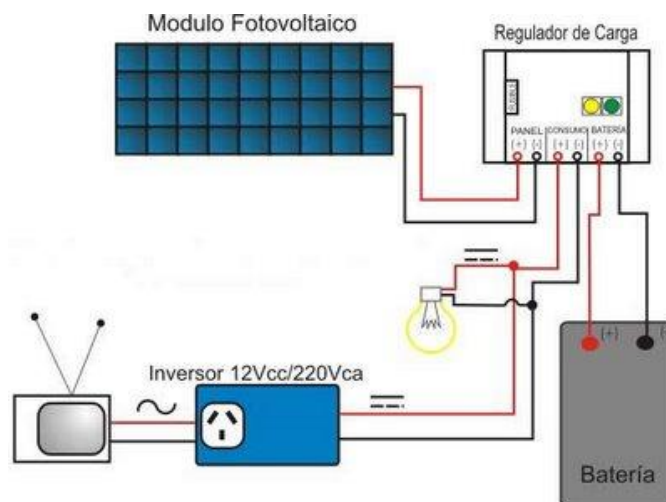
d.- Curva características del panel solar

Interacción con una Carga Resistiva

El punto de operación del módulo será el de la intersección de su curva característica con una recta que representa gráficamente la expresión $I = V/R$, siendo R la resistencia de carga a conectar.



4.- Estructura de un Generador Fotovoltaico



4.- Dimensionamiento de un Sistema Fotovoltaico

Ver archivo adjunto de ejemplo

[Web de la NASA](http://eosweb.larc.nasa.gov/sse/)
<http://eosweb.larc.nasa.gov/sse/>