
La energía fotovoltaica

**unidad
didáctica2**

1. Conductores, aislantes y semiconductores

Como sabemos, la materia está compuesta por átomos, los cuales a su vez están formados por dos partes bien diferenciadas: el núcleo, dotado de carga eléctrica positiva y los electrones, que giran alrededor del núcleo en diferentes bandas de energía, con carga negativa que compensa a la del núcleo. Este conjunto, en condiciones normales, se mantiene estable y es eléctricamente neutro.

A los electrones de la última capa se les ha dado el nombre de **electrones de valencia** y tienen la característica de poder relacionarse con otros similares, formando una red cristalina. En base al comportamiento de los electrones de esta última capa (o bandas), se puede hacer una división de los materiales eléctricos en: **conductores**, **semiconductores** y **aislantes**.

Dado que el fenómeno FV tiene lugar dentro de un semiconductor, es necesario entender qué hace que un material sea un buen conductor, un buen aislante (no-conductor) y, por último, un semiconductor.

La *corriente eléctrica* es un movimiento de cargas eléctricas. Por definición, es la cantidad de cargas que circulan por unidad de tiempo. Cuando entre los extremos de un material se aplica un voltaje, se crea un campo eléctrico dentro del mismo. Los electrones pertenecientes a la órbita exterior de un átomo de este material, la más lejana del núcleo, estarán sometidos a una fuerza cuyo valor está dado por la expresión:

$$F = q \times E$$

donde

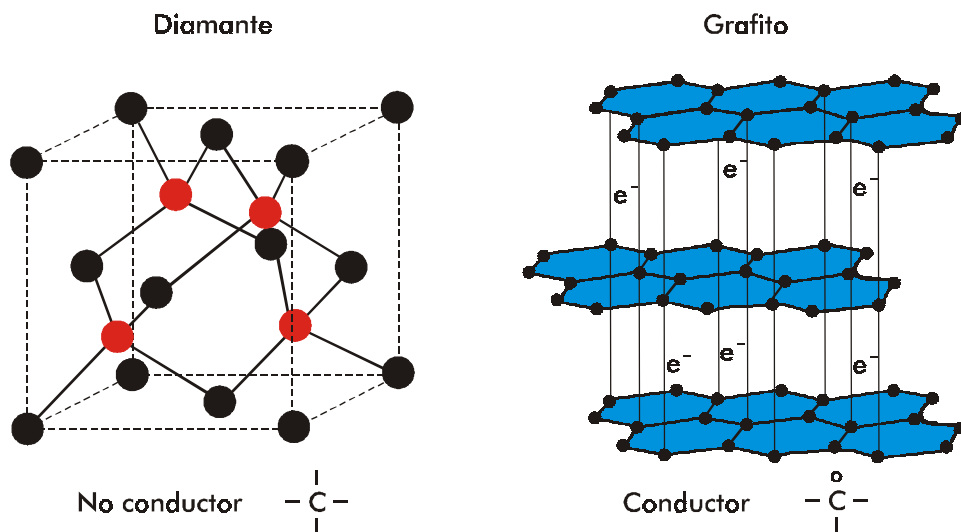
q = valor de la carga, en culombios.

E = valor del campo eléctrico, en V/m.

Pero, ¿qué es lo que hace que un material sea o no sea conductor de la electricidad? la respuesta es: su **estructura atómica**.

En materiales **conductores**, como el cobre, el aluminio o el grafito, los electrones de la banda externa tienen mucha movilidad, y pasan de átomo a átomo, aún a temperatura ambiente. Bajo la acción de un campo eléctrico (voltaje entre los extremos), la fuerza dada por la expresión anterior los pone en movimiento. El valor de la conductividad (inversa de la resistividad) es elevado en estos materiales. En materiales **aislantes**, como el vidrio, el diamante o la porcelana, aún con elevados valores del campo eléctrico (altos voltajes) la fuerza que se ejerce sobre los electrones de la órbita externa no es suficiente para desplazarlos y establecer una corriente, ya que su movilidad es prácticamente nula.

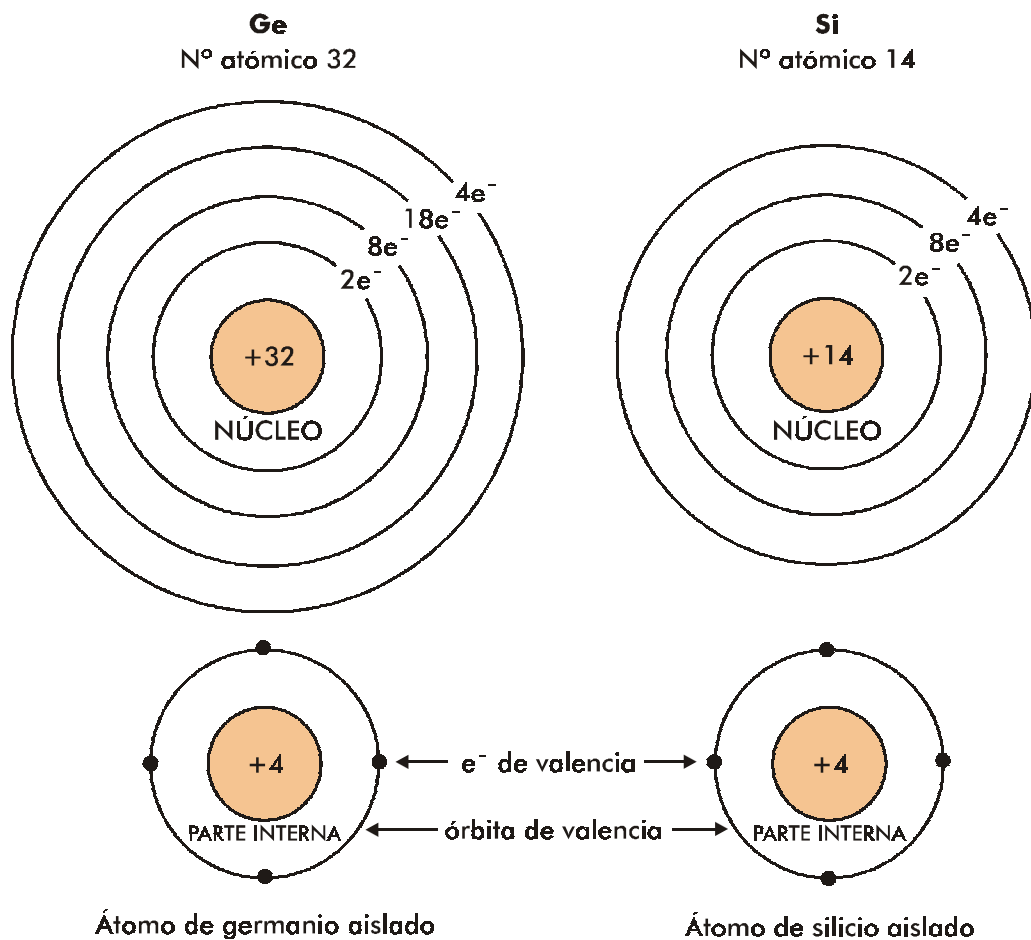
Las dos formas cristalinas distintas del carbón: el grafito (conductor) y el diamante (aislante) han sido puestas como ejemplos a propósito, para mostrar cómo la estructura interna de la sustancia determina la movilidad de las cargas en la misma.

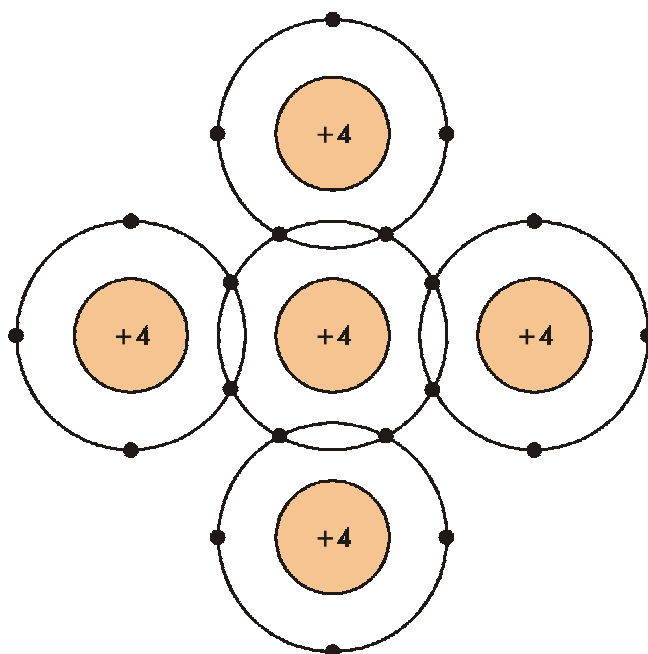


Cuando el átomo de una sustancia pierde un electrón, se transforma en un ión positivo. La pérdida de un electrón crea, en efecto, dos cargas dentro del material: una negativa (electrón libre) y otra positiva (resto del átomo).

El átomo de silicio tiene 14 electrones de los que los 4 electrones de la última capa son de **valencia**, lo que quiere decir que están disponibles para unirse con

electrones de valencia de otros átomos. En un cristal de silicio químicamente puro cada átomo está unido de forma *covalente* con otros 4 átomos; así que dentro del cristal no hay, como consecuencia del enlace químico, electrones libres. En sustancias como el germanio (Ge) y el silicio (Si) los electrones de la capa exterior de un átomo son compartidos por átomos adyacentes formando una estructura fija rígida (estructura cristalina) en donde los electrones carecen de movilidad. Por eso el germanio y el silicio puro son sustancias aislantes.

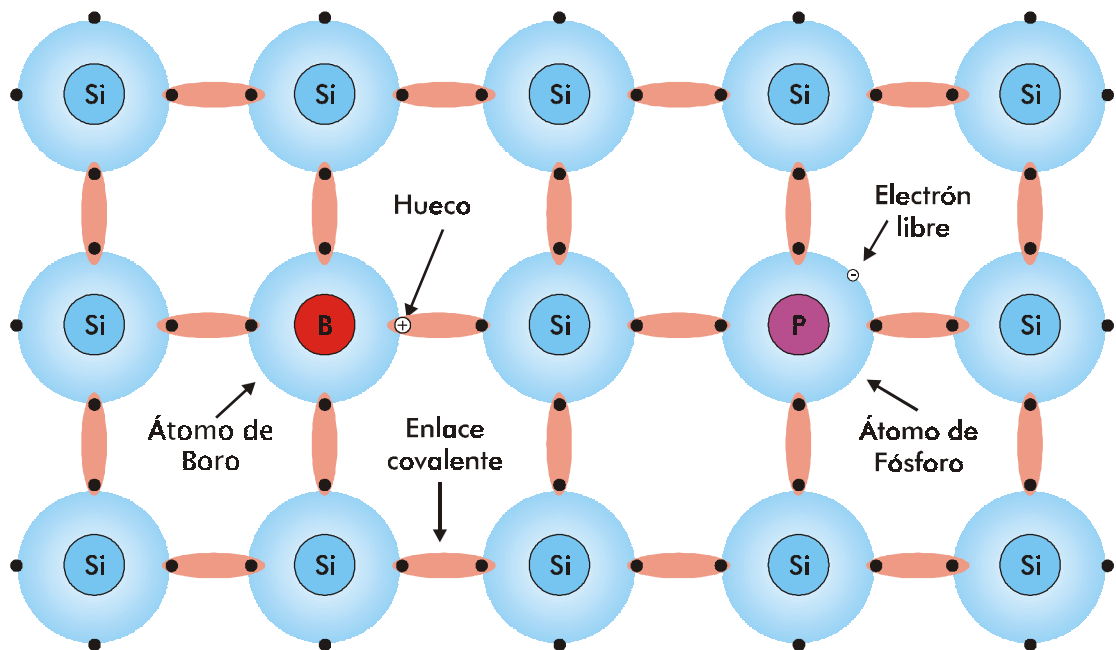




Cristal de Silicio

Si en un cristal de este tipo logramos incorporar átomos de otras sustancias (impurezas), aunque sea en proporciones muy pequeñas, la conductividad de estos materiales varía drásticamente, convirtiéndolos en **semiconductores**. Estos materiales tienen un valor de conductividad que los sitúan entre los aislantes y los conductores de corriente.

Si la sustancia que se introduce tiene la capacidad de ceder electrones, éstos se convierten en la carga mayoritaria en esa zona (semiconductor **tipo n**). Si, por el contrario, los átomos de la sustancia que se introduce tienen carencia de electrones, la mayoría de los átomos en esta zona tendrán cargas positivas libres (semiconductor **tipo p**). A estas cargas se les denominan huecos ya que el electrón tomado deja un vacío en el átomo que lo cedió. A las sustancias que se usan para alterar la conductividad del cristal puro se las conocen como **dopantes**. En el dopado tipo p, la creación de huecos, se consigue mediante la incorporación en el silicio de átomos con 3 electrones de valencia (el electrón que falta se comportaría como un electrón "positivo"), generalmente se utiliza *boro*. En el dopaje de tipo n, la presencia de electrones adicionales se obtiene incorporando un átomo con 5 electrones de valencia, generalmente *fósforo*.



El proceso de introducción de átomos que ceden o toman electrones, **difusión**, se ha convertido en un proceso robotizado, en donde los átomos de las sustancias dopantes se introducen usando cañones electrónicos que bombardean los cristales (proceso de implantación). Industrialmente se usa el cristal de silicio (Si) porque su comportamiento a altas temperaturas es superior al del germanio (Ge).

1.1. Unión n-p

Para dar una utilidad al semiconductor es necesario poner a interactuar entre sí diversos materiales. La estructura más sencilla es el **diodo** de unión, la cual no es más que la unión de dos semiconductores de distinto tipo: uno tipo n y otro tipo p.

Tenemos un material semiconductor (silicio o germanio) dopado tipo n con exceso de electrones y un material dopado tipo p con exceso de huecos, los cuales cuando se encuentran aislados están en equilibrio iónico. Al unirlos, la teoría muestra que las cargas mayoritarias (electrones por un lado y huecos por otro) no permanecen inmóviles, sino que se desplazan hacia la zona adyacente, donde la concentración es baja.

Energía solar fotovoltaica

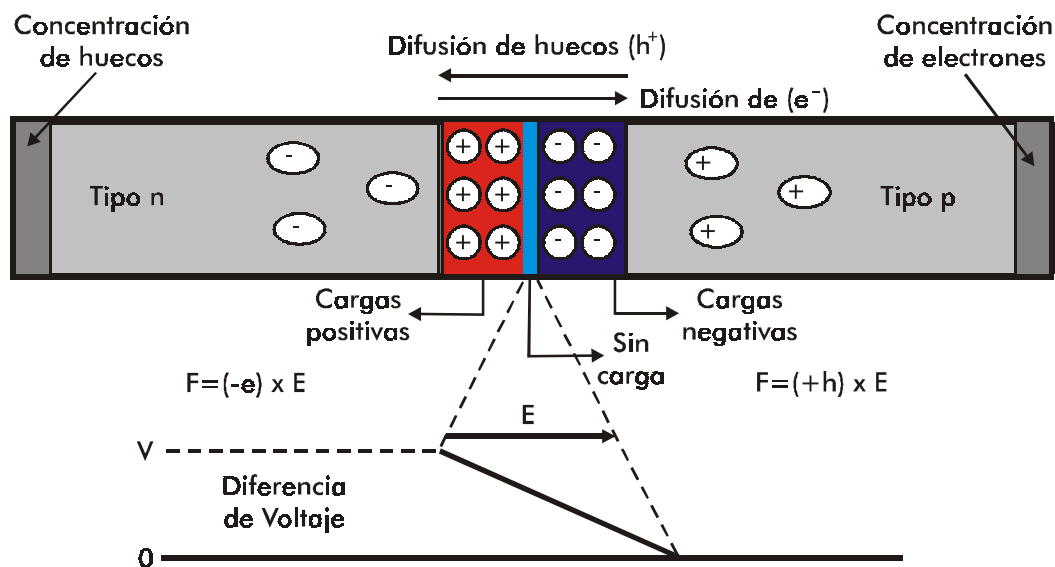
La energía fotovoltaica

Este desplazamiento de cargas (corrientes de desplazamiento) acumula cargas positivas en la zona n y negativas en la zona p, formando una barrera virtual que tratará de impedir el desplazamiento de portadores por difusión de un lugar a otro, aunque físicamente no existe dicha barrera. En principio se producirá una difusión de huecos de la zona p a la zona n y de electrones de la zona n a la zona p, hasta formarse una región polarizada la cual va a tener un campo eléctrico asociado. A medida que el efecto del campo aumenta, se va reduciendo el proceso de difusión; hasta llegar a un equilibrio en donde se forma una *región de depleción* (zona de la unión de los semiconductores tipo p y tipo n, en la que se crean los pares de iones con cargas opuestas a ambos lados de la unión. Esta zona carece de electrones libres y huecos), la cual va a tener asociada una diferencia de potencial de contacto; los portadores mayoritarios de ambas regiones tienen que vencer ahora esa barrera de potencial para poder desplazarse.

Nota:

La letra n se correlaciona con negativo y la letra p con positivo, indicando cual es la carga mayoritaria en cada zona.

La siguiente figura muestra el estado de equilibrio para una unión n-p.



2. Principios de conversión fotovoltaica

Los semiconductores son utilizados en la fabricación de las celdas solares porque la energía que liga a los electrones de valencia al núcleo es similar a la energía que poseen los fotones que constituyen la luz solar. Por lo tanto, cuando la luz solar incide sobre el semiconductor (generalmente silicio), sus fotones suministran la cantidad de energía necesaria a los electrones de valencia para que se rompan los enlaces y queden libres para circular por el material. Por cada electrón que se libera, aparece un hueco. Dichos huecos se comportan como partículas con carga positiva (+). Cuando en el semiconductor se generan pares electrón-hueco debido a la absorción de la luz, se dice que hay una fotogeneración de portadores de carga negativos y positivos, los cuales contribuyen a disminuir la resistencia eléctrica del material. Este es el principio básico de operación de las fotorresistencias.

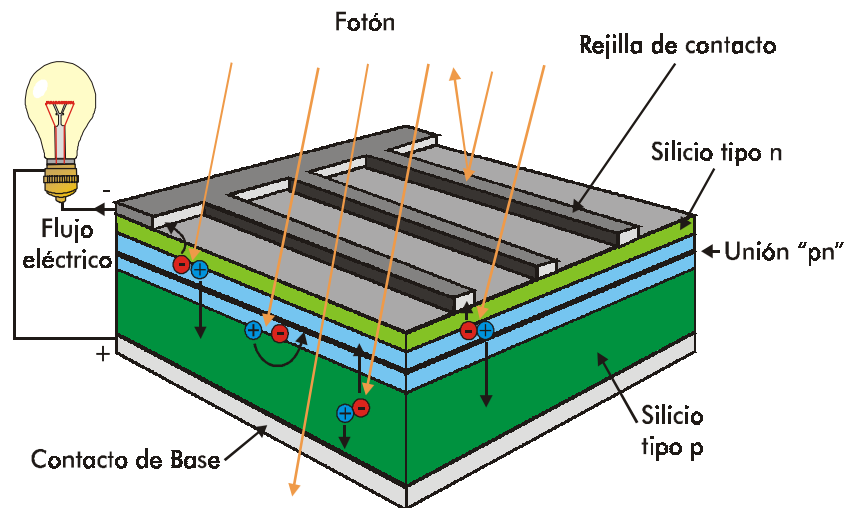
Cuando la radiación luminosa en forma de fotones es absorbida por los semiconductores se generan, en exceso de su concentración en equilibrio, pares de portadores de carga eléctrica, electrones y huecos, los cuales deben de ser separados para poder usar la energía que cada uno representa. Estos portadores, generados por la energía de los fotones, viajan bajo un gradiente de concentración hacia la unión en donde son separados por efecto del campo eléctrico. Esta separación envía electrones fotogenerados a la capa n y huecos fotogenerados a la capa p, creándose una diferencia de potencial entre las superficies superior e inferior de las capas.

La acumulación de cargas en las superficies del dispositivo da como resultado un voltaje eléctrico que se puede medir externamente. La unidad de medición es el voltio. Este voltaje fotogenerado es lo que se conoce como **efecto fotovoltaico**.

Energía solar fotovoltaica

La energía fotovoltaica

Si se establece un circuito eléctrico externo entre las dos superficies, los electrones acumulados fluirán a través de él regresando a su posición inicial. Este flujo de electrones forma lo que se llama una corriente fotogenerada o fotovoltaica (FV).



Bajo condiciones de circuito abierto (V_{CA}) el efecto FV genera una diferencia de potencial entre la parte superior y la inferior de la estructura. Bajo condiciones de cortocircuito, el proceso genera una corriente eléctrica I_{CC} que va de la parte positiva a la negativa (dirección convencional para la corriente eléctrica).

2.1. Conceptos básicos de electricidad

Corriente (I), voltaje (V), potencia (P) y energía eléctrica (E) son algunos de los conceptos eléctricos fundamentales que se deben de tener en mente cuando se trata con sistemas fotovoltaicos. La corriente eléctrica que circula en el material se define como el número de electrones que fluyen a través de él en un segundo. La corriente I se mide en amperios (A).

El voltaje eléctrico, es el esfuerzo que debe realizar una fuerza externa sobre los electrones dentro del material, para producir la corriente y se mide en voltios (V). La potencia eléctrica, es aquella que se genera o se consume en un instante dado,

se especifica por el voltaje que obliga a los electrones a producir la corriente eléctrica continua y se expresa como:

$$P = V \cdot I$$

La unidad de potencia eléctrica es el vatio (1 vatio = 1 voltio · 1 amperio). Y en cuanto a la energía eléctrica, E, es la potencia generada o consumida en un periodo de tiempo t y se define como:

$$E = P \cdot t$$

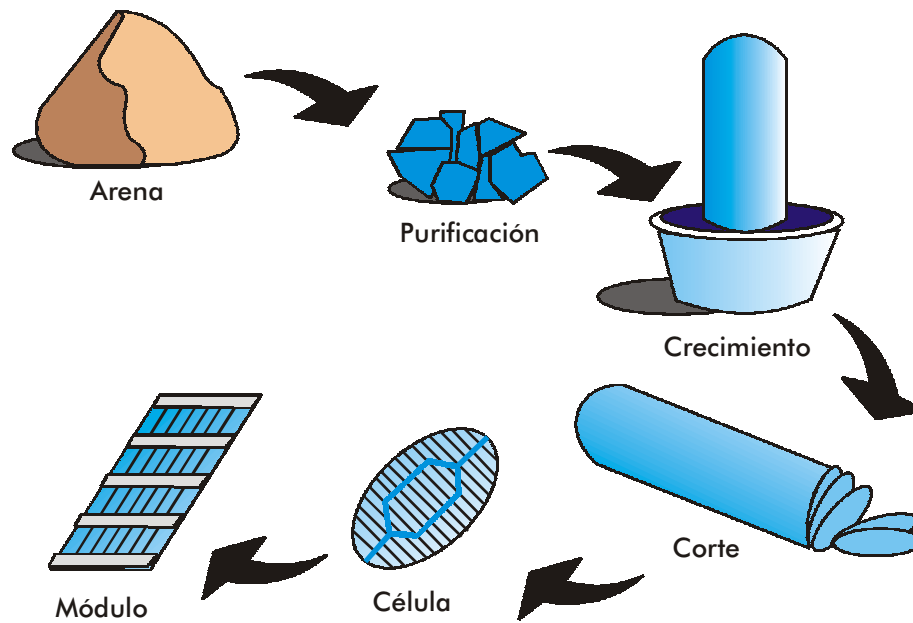
si el tiempo de consumo esta dado en horas, entonces las unidades para la energía producida serán: vatio-hora. Otra unidad utilizada es el julio (1 julio = 1 vatio por segundo), $1 \text{ kWh} = 3,6 \cdot 10^6 \text{ J}$.

3. La célula fotovoltaica

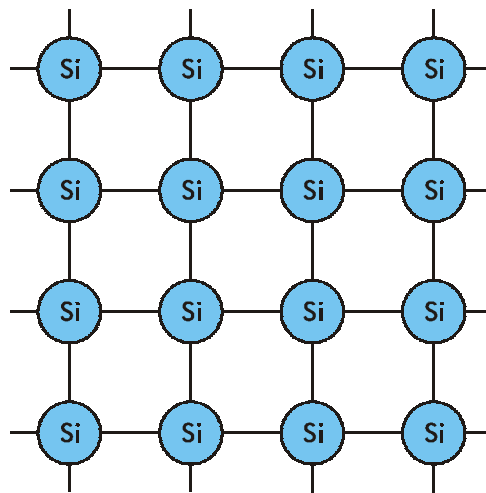
Para aprovechar en forma de energía eléctrica, la energía que nos llega a la tierra en forma de radiación solar, se emplean unos dispositivos llamados paneles solares. El material que se emplee para su fabricación debe ser especialmente sensible a la radiación de la luz solar, ya que el efecto de conversión resulta de la interacción entre los fotones y los átomos que constituyen el material con el que se fabrican.

Con dicho material (sensible a la radiación solar) se construyen las **células solares**. Físicamente, una célula solar no es más que un diodo con una superficie muy amplia, que puede llegar a decenas de cm^2 . La mayor parte de las células solares que se comercializan en la actualidad son de **silicio**. Es un elemento que se encuentra en todo el mundo, ya que forma la arena (dióxido de silicio, SiO_2). En su forma más pura, el silicio semiconductor se emplea en la industria de la microelectrónica, donde es la base de los microchips.

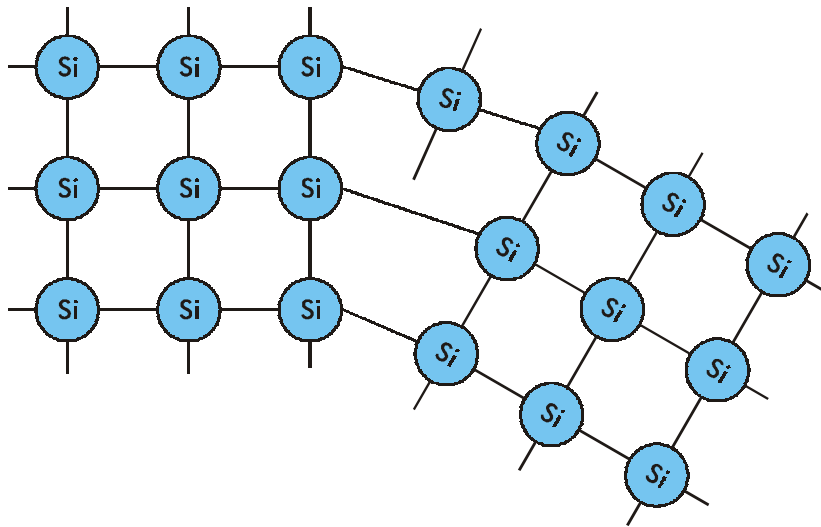
Las células o celdas solares se fabrican a partir de planchas de este material. Generalmente, una célula fotovoltaica tiene un grosor que varía entre los 0,25 y los 0,35 mm y una forma generalmente cuadrada, con una superficie aproximadamente igual a 100 cm^2 . El proceso de fabricación varía según las cualidades que se quieran obtener (rendimiento, flexibilidad, economía): a más pureza, más altos son los costes, para una calidad que no va a suponer un incremento sustancial del rendimiento.



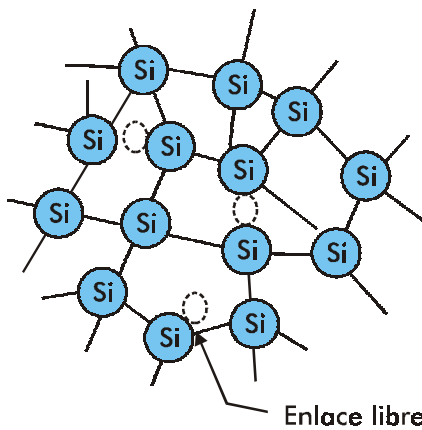
Las celdas solares de silicio pueden constituirse de **crisales monocristalinos**, **policristalinos** o de **silicio amorfo**. La diferencia entre ellas radica en la forma como están dispuestos los átomos de silicio en la estructura cristalina: es la estructura cristalina la que hace que tengan características diferentes.



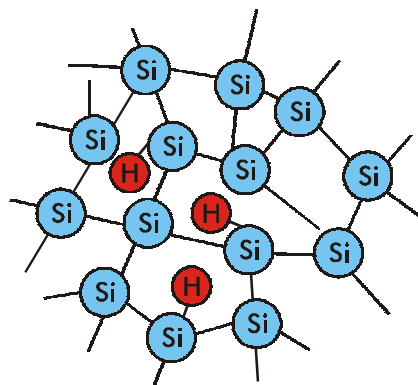
Estructura del Silicio monocristalino



Estructura del Silicio policristalino



Silicio amorfo



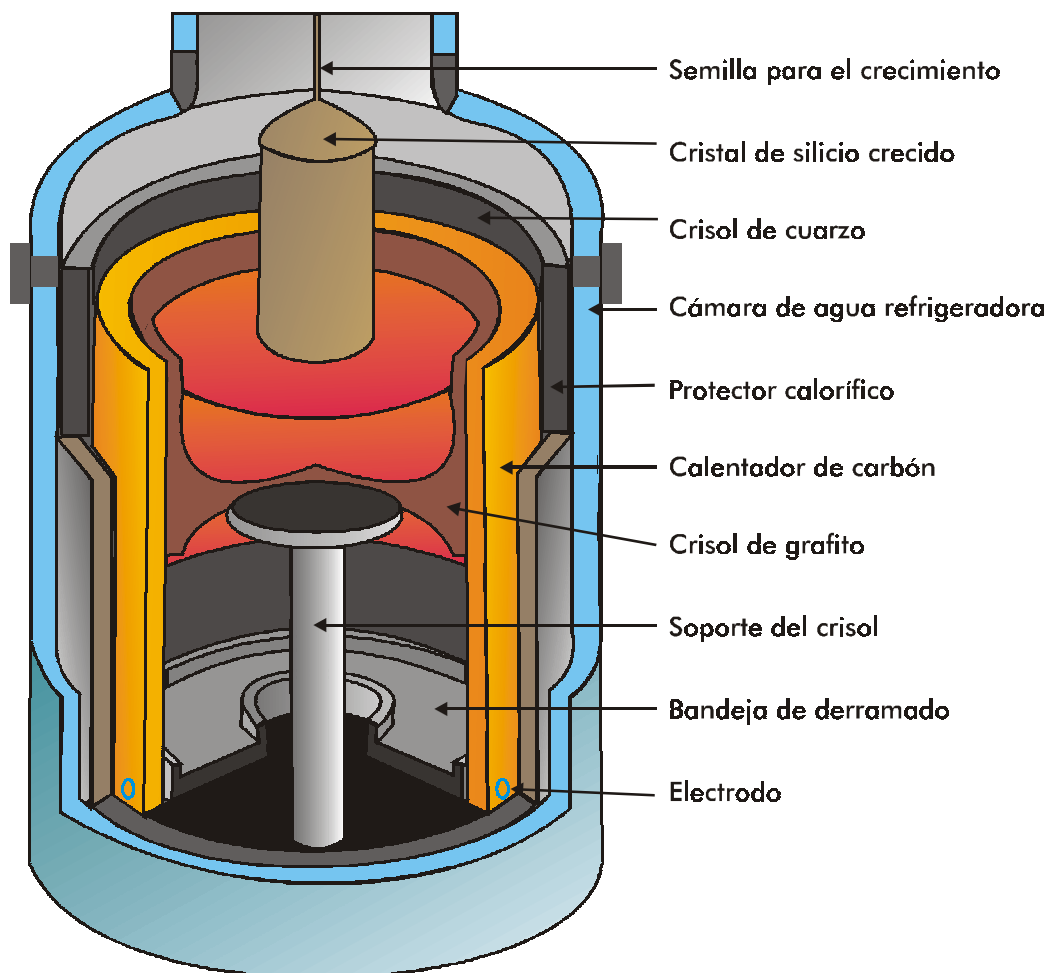
Silicio amorfo hidrogenado

Existe, además, una diferencia en la **eficiencia**. Por **eficiencia** se entiende el porcentaje de luz solar que es transformado en electricidad. Las celdas solares de silicio monocristalino y policristalino tienen casi el mismo y más alto nivel de eficiencia con respecto a las de silicio amorfo.

3.1. Células de silicio cristalino

3.1.1. Silicio monocristalino

Las planchas monocristalinas son de una pureza elevada y una estructura cristalina casi perfecta, ya que se han obtenido en un largo, sofisticado y delicado proceso de elaboración.



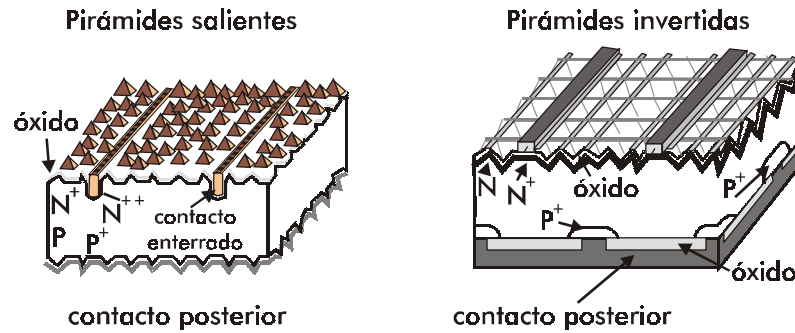
Cristalización por el método Czochralski

Las células de **silicio monocristalino** se obtienen a partir de silicio muy puro, que se refunde en un crisol a una temperatura de unos 1.400 °C, junto con una pequeña proporción de boro (material menos electronegativo que el silicio). Una vez que el material se encuentra en estado líquido se le introduce una varilla con un "cristal germen" de silicio, que se va haciendo recrecer con nuevos átomos procedentes del líquido, que quedan ordenados siguiendo la estructura del cristal. De esta forma, tras unas 8 horas de elaboración, se obtiene un monocristal dopado, con cierta carencia de electrones (tipo p), que luego se corta en obleas de aproximadamente 3 décimas de milímetro de grosor. Esta forma de obtención recibe el nombre de método Czochralski.

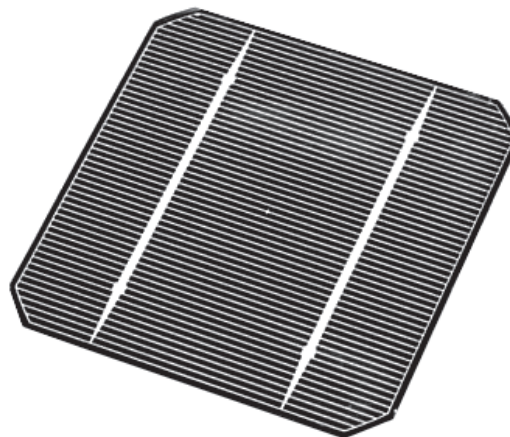
Estas obleas se introducen después en hornos especiales, dentro de los cuales se difunden átomos de fósforo que se depositan sobre una cara y alcanzan una cierta profundidad en su superficie. Con este tratamiento químico se crea la unión p-n, es decir, un campo eléctrico por diferencia de electronegatividades entre la zona p y la zona n. Así se consigue que una de las zonas tenga deficiencia de electrones, la p, y la otra tenga exceso, la n. Debido a esta diferencia de carga eléctrica en el material, se produce un campo eléctrico encargado de empujar a los electrones a salir de la célula por la superficie de la capa n, lo que conlleva el establecimiento de una corriente eléctrica.

La célula que se obtiene ha de estar dotada de unos contactos eléctricos para poder canalizar la energía que produce cuando recibe la insolación. Estos contactos, sobre la cara asoleada, se reparten en forma ramificada y se unen a dos contactos principales. El material de que están constituidos los electrodos, tanto frontal como posterior, suele ser una aleación de diversos metales, como son: la plata, titanio, paladio, cobre, aluminio, etc., que varían en función del tipo de célula solar que se fabrique. Hoy en día, los procedimientos más usados para la creación de los contactos, son quizás los serigráficos, dado su bajo costo de producción, así como la facilidad de su automatización. En la cara posterior, que no recibe sol, el metal se suele extender a toda la superficie o formar una malla metálica muy tupida. Además, se recubre con un tratamiento antirreflexivo de bióxido de titanio o zirconio. Son diferentes los métodos aplicados para crear la capa antirreflectante, pero generalmente se utiliza la *evaporación al vacío*, que consiste en una calefacción eléctrica que evapora el material antirreflectante depositado previamente. Otro método cada vez más utilizado consiste en la

creación de pequeñas pirámides en la superficie del material, que realizan una función de rebote del rayo incidente, de forma que gran parte penetre dentro del semiconductor.



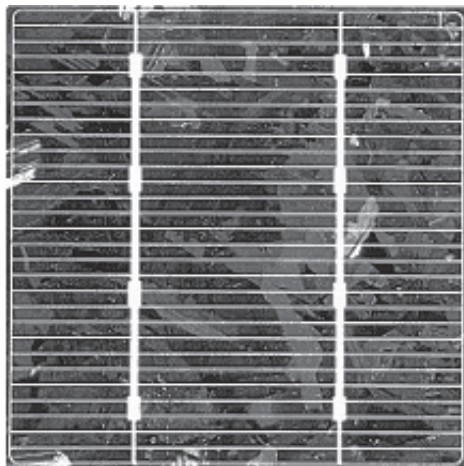
Este es un proceso muy costoso y que requiere mucha energía, aunque se obtiene el cristal más eficaz, con rendimientos aproximados del 15 a 18%. Se distinguen por su color azul homogéneo o negro. Los módulos fabricados con este material tienen tal calidad, que algunos fabricantes los garantizan hasta por 25 años.



3.1.2. Silicio policristalino

Las células de **silicio policristalino** se obtienen de manera similar, salvo porque se parte de planchas policristalinas, que son más baratas. Estas planchas son obtenidas por un proceso de moldeo a partir de pasta de silicio formada por múltiples pequeños cristales de silicio, la cual es fundida y vertida en un molde donde se deja asentar lentamente, con lo cual se obtiene un sólido formado por muchos pequeños cristales. Entonces se rebana en planchas de menor espesor que las monocristalinas (solo algunas micras). Su composición a partir de pequeños cristales elementales hace que su color no sea uniforme, sino que presenten diferentes tonalidades de azul. Esta forma de obtención hace que sean más baratas que las planchas monocristalinas, pero no tan eficientes. El rendimiento más bajo es debido a las imperfecciones en la estructura cristalina llegando hasta el 12 ó 14%. Aunque su rendimiento es algo inferior a las monocristalinas, su menor coste ha contribuido enormemente a aumentar su uso.

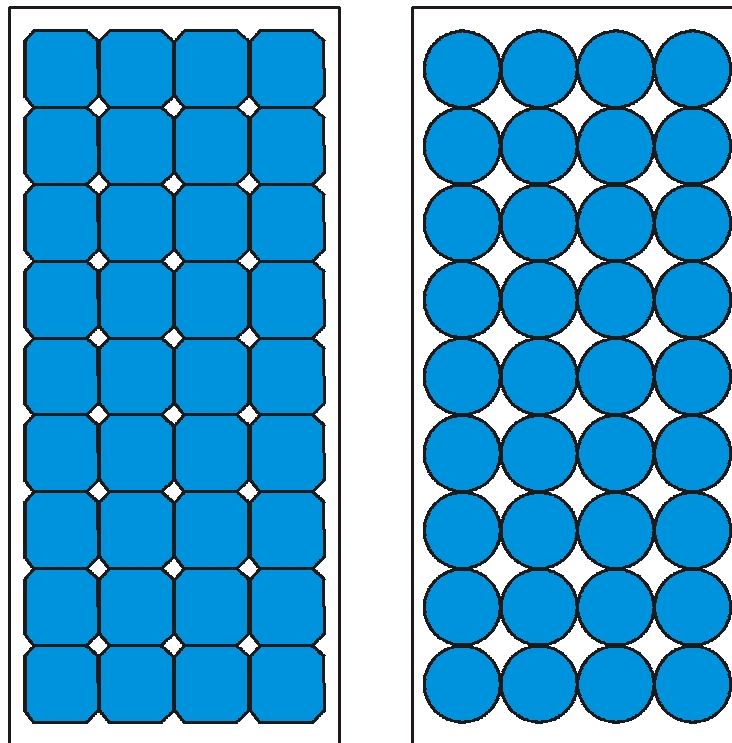
Tanto en este proceso como en el anterior, casi la mitad del silicio se pierde como polvo durante el cortado. La garantía del producto puede ser hasta 20 años, dependiendo del fabricante.



El método de fabricación determina, en gran parte, la forma geométrica de la célula FV. Las primeras versiones de silicio monocristalino eran redondas, pues el cristal puro tenía una sección circular. Versiones más recientes tienen forma cuadrada, o casi-cuadrada, donde las esquinas tienen vértices a 45°.

Las células de silicio policristalino son cuadradas porque el molde donde se vierte el semiconductor fundido tiene esta forma.

La forma cuadrada permite un mayor compactado de las mismas dentro del panel FV, disminuyendo la superficie que se necesita para colocar un determinado número de células (eficiencia de empaque).



3.1.3. Células de lámina delgada

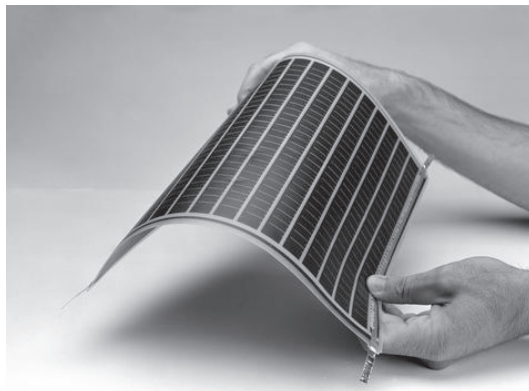
Se considera como tecnología fotovoltaica de capa delgada a todas aquellas células y módulos en los que la capa activa o absorbente tiene un espesor de unos pocos micrómetros.

Energía solar fotovoltaica

La energía fotovoltaica

También llamadas *thin-films*. La tecnología de capa delgada, se puede indicar que ha tenido siempre un papel importante en la búsqueda de soluciones fotovoltaicas de bajo coste. Aunque esta tecnología surgió a la par que la del silicio cristalino, el desarrollo de ambas no ha alcanzado un estado comparable. En un principio, la célula de sulfuro de cobre y sulfuro de cadmio ($\text{Cu}_2\text{S-CdS}$) fue el dispositivo fotovoltaico en lámina delgada dominante, más tarde se incorporaron otras tecnologías policristalinas de seleniuro de cobre e indio (CuInSe_2 o CIS) y telurio de cadmio.

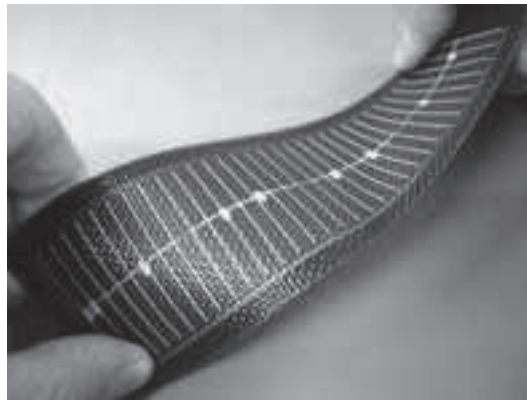
El éxito de los módulos de lámina delgada se debe a la flexibilidad de esta tecnología en cuanto a la forma y tamaño de los módulos, así como al número de células dentro del módulo, pudiéndose adaptar fácilmente los requisitos técnicos y los aspectos de diseño. Pero las expectativas en la tecnología de capa delgada en los últimos años se basan sobre todo en los valores de eficiencia de conversión que se están alcanzando y en haberse demostrado su estabilidad a largo plazo.



Las tecnologías de capa delgada implican la utilización de materiales tóxicos o que son escasos (en comparación con la cantidad de silicio presente en nuestro planeta), y aunque puedan presentar buenas características fotovoltaicas (aunque las eficacias globales de los módulos son considerablemente inferiores a la de los dispositivos de laboratorio) su uso se ve limitado por el coste de producción, que por el momento es la causa principal que limita la penetración en el mercado de esta tecnología, al no haber respondido todavía a las expectativas puestas en ella.

Silicio amorfo

El **silicio amorfo** pertenece al grupo de tecnologías de lámina delgada. El silicio amorfo es silicio en una forma no cristalina, con defectos en sus enlaces atómicos. Sin embargo, si el silicio amorfo se deposita de tal manera que contenga una pequeña cantidad de hidrógeno, estos átomos de hidrógeno saturan muchos de los huecos de la red cristalina, permitiendo así a los electrones moverse a través del silicio. A la vez, el hidrógeno hace posible que el dopaje proporcione materiales tipo p o tipo n. En cualquier caso, en las regiones p o n obtenidas, la vida media de los portadores de carga es reducida.




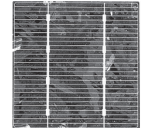
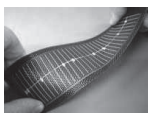
Las células de silicio amorfo se obtienen depositando capas delgadas de silicio sobre un sustrato de bajo costo, que puede ser vidrio, plástico o similar, y son de un color marrón homogéneo. El proceso de producción es relativamente simple y barato, y en él se consume poca energía, lo que hace posible la producción de células a gran escala. Tiene dos desventajas: la primera es su baja conversión comparada a las células monocristalinas y policristalinas; la segunda es que las células se ven afectadas por un proceso de degradación en los primeros meses de funcionamiento, reduciendo la eficacia a lo largo de la vida útil. La garantía del producto puede ser hasta 10 años, dependiendo del fabricante.

Las células amorfas son utilizadas allí donde se busca una alternativa más económica o cuando se requiere muy poca electricidad (por ejemplo, alimentación de relojes, calculadoras, luces de emergencia). También se utilizan allí donde se prevé un fuerte calentamiento de los módulos. Sin embargo, el rendimiento es más

Energía solar fotovoltaica

La energía fotovoltaica

de dos veces inferior al del silicio cristalino (sobre un 10%) y requiere por tanto mayor superficie para conseguir la misma potencia.

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 fósforo.
	Policristalino	19-20 %	12-14 %	La superficie está estructurada en cristales y contiene distintos tonos azules.	Igual que el del monocristalino, pero se disminuye el número de fases de cristalización.
	Amorfo	16 %	< 10 %	Tiene un color homogéneo (marrón), pero no existe conexión visible entre células.	Tiene la ventaja de depositarse en forma de lámina delgada y sobre un sustrato como vidrio o plástico.

Arseniuro de galio

El arseniuro de galio es un semiconductor idóneo para la fabricación de células solares. Se trata de un material idóneo para la fabricación de células multiunión o tándem. Las cuales están formadas por múltiples películas delgadas cada una constituida por un semiconductor diferente. Las células multiunión de arseniuro de galio, son células altamente eficientes que han sido concebidas para ser utilizadas en aplicaciones especiales como los satélites, vehículos de exploración espacial, etc., que requieren un alto rendimiento, a la vez que un peso y dimensiones reducidas. Una célula de triple unión podría estar compuesta, por ejemplo, por GaAs, Ge y GaInP₂.

Cada tipo de semiconductor se caracteriza por una banda de energía, que le hace más sensible a la luz de determinado color, o dicho de manera más precisa, a absorber radiación electromagnética de una determinada región del espectro. En las células multiunión, los semiconductores se escogen cuidadosamente para lograr absorber todo el espectro solar produciendo la máxima electricidad posible.

Las células multiunión de GaAs son las células solares más eficientes hasta la fecha, alcanzando valores superiores al 30%. También son las más costosas de producir. Esto, junto a la toxicidad del arseniuro de galio, que puede suponer daños medioambientales, frena la producción a gran escala.

Células de telurio de cadmio/sulfuro de cadmio (CTS)

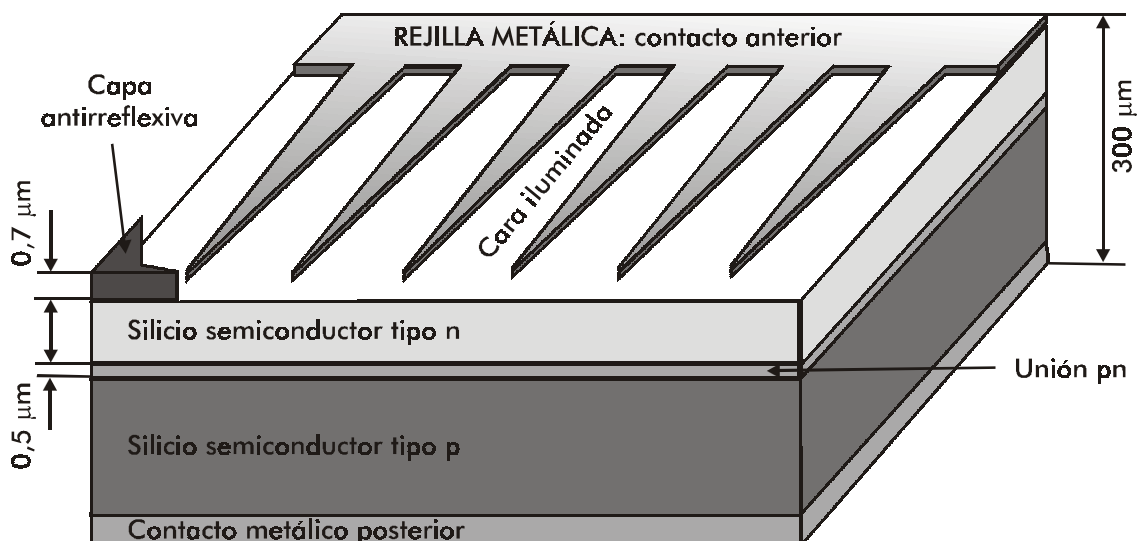
Este semiconductor presenta características muy parecidas a las del arseniuro de galio. Las células solares CTS están compuestas por un estrato p de telurio de cadmio (CdTe) y un estrato n de sulfuro de cadmio (CdS). Estas células se fabrican aplicando diversas técnicas de deposición de materiales, similares a las que se emplean para las células de silicio amorfo, con lo que el coste es más moderado y con las que se obtienen células estables, con unos rendimientos medios cercanos al 8-10%, aunque en laboratorio se alcanza el 15%. Uno de los problemas que presenta la producción a gran escala es que el cadmio contenido en las células es tóxico y puede causar problemas medioambientales si no es correctamente utilizado y reciclado.

Otras tecnologías de lámina delgada incluyen lámina delgada de silicio multicristalino y celdas de seleniuro de cobre e indio/sulfuro de cadmio.

4. Estructura de la celda

Una celda solar típica está compuesta de capas. Primero hay una capa de contacto posterior que se logra evaporando o pintando con metal la plancha y que suele cubrirla totalmente, luego van las dos capas de silicio (que crean la unión p-n). En la parte superior se encuentran los contactos de metal frontales con una capa de antirreflexión, que da a la celda solar su típico color azul o negro, estos forman solamente un patrón en forma de rejilla o de líneas finas de metal, ya que de otra manera el metal impediría que la radiación solar llegara al silicio y no habría ninguna respuesta a los fotones de la luz incidente.

Ambos lados de una celda solar están eléctricamente conectados por un cable. Una corriente fluiría en el momento en que el fotón es absorbido. La celda solar genera, entonces, electricidad, que puede ser utilizada inmediatamente o almacenada en una batería.



Una típica célula fotovoltaica de silicio monocristalino de 100 cm² producirá cerca de 1,5 vatios de energía a 0,5 voltios de CC y 3 amperios bajo la luz del sol en pleno verano (1.000 W/m²). La energía de salida de la célula es casi directamente proporcional a la intensidad de la luz del sol (por ejemplo, si la intensidad de la luz del sol se divide por la mitad la energía de salida también será disminuida a la mitad).

Una característica importante de las celdas fotovoltaicas es que el voltaje de la célula no depende de su tamaño, y sigue siendo bastante constante con el cambio de la intensidad de luz. La corriente en un dispositivo, sin embargo, es casi directamente proporcional a la intensidad de la luz y al tamaño. Para comparar diversas celdas se las clasifica por densidad de corriente, o amperios por centímetro cuadrado del área de la célula.

La potencia entregada por una célula solar se puede aumentar con bastante eficacia empleando un mecanismo de seguimiento para mantener el dispositivo fotovoltaico directamente frente al sol, o concentrando la luz del sol usando lentes o espejos. Sin embargo, hay límites a este proceso, debido a la complejidad de los mecanismos, y de la necesidad de refrescar las celdas. La corriente es relativamente estable a altas temperaturas, pero el voltaje se reduce, conduciendo a una caída de potencia a causa del aumento de la temperatura de la célula.