

CURSO DE ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA

**COMPONENTES DE UNA
INSTALACIÓN SOLAR FOTOVOLTAICA**

ÍNDICE

1. Introducción.....	1
2. La célula fotovoltaica.	2
2.1 El efecto fotovoltaico.....	2
2.2 Tipos de células fotovoltaicas y novedades.....	9
3. El módulo fotovoltaico y los paneles solares.	14
3.1 Características de los módulos fotovoltaicos.....	16
3.2 Fabricación de módulos fotovoltaicos.....	21
3.3 Tipos de módulos.....	25
3.4 Estructura de soporte y anclaje.....	27
3.5 Mecanismos de seguimiento solar.....	30
4. Inversores.....	31
4.1 Inversores de conexión a red.....	35
4.2 Inversores para instalaciones aisladas.....	38
5. Baterías.....	40
5.1 Estructura y principio de funcionamiento de baterías de plomo.....	42
5.2 Tipos de baterías de plomo.....	44
5.3 Características de las baterías.....	45
5.4 Efecto del envejecimiento.....	48
5.5 Criterios de elección.....	49
5.6 Medidas de mantenimiento y protección.....	50
6. Reguladores.....	51
6.1 Tipos de reguladores.....	53
7. Otros elementos.....	55
8. Sistemas fotovoltaicos.....	56

1. Introducción.

El sistema de aprovechamiento de la energía del sol para producir energía eléctrica se denomina conversión fotovoltaica. La energía solar eléctrica, o fotovoltaica que es como comúnmente se la conoce, es una energía limpia y renovable, de fácil instalación y mantenimiento.

Para ello se utilizan unas células fotovoltaicas, construidas con un material cristalino semiconductor, el silicio. Estas células están dispuestas en paneles que transforman la energía solar en energía eléctrica. Posteriormente, veremos ambos elementos o componentes.

Aunque la energía solar fotovoltaica sólo representa el 0,001 por ciento del suministro de energía eléctrica que satisface las necesidades de consumo en todo el mundo, se prevé un rápido y significativo crecimiento de su implantación, basado en el actual desarrollo de la tecnología y el compromiso medioambiental de los países más desarrollados. El sector fotovoltaico se sustenta en una tecnología de vanguardia y una industria puntera que en los últimos años está teniendo un crecimiento anual medio superior al 30%.

En el medio plazo, se estima que habrá una reducción importante de costes debido a una mejora de la eficiencia de las tecnologías actuales, a la optimización de los procesos de fabricación, a la aplicación de economías de escala y al desarrollo de nuevas tecnologías. En el año 2010 se prevé que los costes serán menores en un 30% para instalaciones aisladas y un 40% en instalaciones conectadas a la red.

Aunque tradicionalmente el uso de la energía solar fotovoltaica ha sido en aplicaciones aisladas de la red eléctrica, desde hace unos años la incorporación de esta tecnología al entorno urbano está facilitando su difusión y desarrollo. Es necesario tener en cuenta que la generación eléctrica fotovoltaica es la única que puede producir, a partir de una fuente renovable, electricidad allí donde se consume.

2. La célula fotovoltaica.

2.1 *El efecto fotovoltaico.*

La conversión directa de la energía solar en energía eléctrica se debe al fenómeno físico de la interacción de la radiación luminosa con los electrones en los materiales semiconductores, fenómeno conocido como **efecto fotovoltaico**.

El objeto físico en el que este fenómeno tiene lugar es la célula solar, que no es otra cosa que un diodo con la característica esencial de tener una superficie muy amplia (unas decenas de cm²).

Una célula solar es un sistema semiconductor que absorbe luz (energía solar) y la convierte en energía eléctrica. Para convertir la energía del Sol en energía eléctrica y poder utilizarla de la forma más eficiente y racional posible se diseñan los sistemas fotovoltaicos. La célula solar es el elemento que convierte los fotones que proceden del Sol en una corriente eléctrica que circula por un elemento que denominamos carga. Hoy en día la célula solar más común es un dispositivo de estado sólido fabricado con materiales semiconductores.

El efecto fotovoltaico fue identificado por primera vez en 1839 por Becquerel, quien observó que la tensión que aparecía entre dos electrodos inmersos en electrolito dependía de la intensidad de luz que incidiese sobre ellos. El mismo efecto fue observado por Adams y Day, en 1879, pero esta vez utilizando un elemento sólido: el Selenio. Sin embargo la primera célula solar moderna tuvo que esperar a Chapin en 1954. Fue una célula de Silicio y no se dieron muchos detalles de su estructura debido, probablemente, al temor a que fuese copiada. La motivación para el estudio y desarrollo de las células solares durante los primeros años de investigación fue su aplicación como fuente suministradora de energía a los satélites espaciales. Hoy se espera que las células solares y la energía solar fotovoltaica contribuyan de forma importante al suministro de energía limpia a la sociedad.

Las células solares modernas están fabricadas de unos materiales con propiedades

electrónicas específicas que denominaremos semiconductores. Las células solares funcionan gracias a algunas de esas propiedades que es necesario conocer para adquirir una buena comprensión del funcionamiento de una célula solar.

Aunque la teoría atómica es complicada, sabemos que los electrones que se encuentran orbitando alrededor del núcleo atómico no pueden tener cualquier energía sino solamente unos valores determinados que denominaremos niveles energéticos a los que se le pone nombre: 1s, 2s, 2p, 3s, etc... En el caso del Silicio la última capa, la número 3, posee cuatro electrones y faltan también cuatro electrones para completarla. Cuando los átomos de Silicio se unen unos a otros comparten los electrones de las últimas capas con los átomos vecinos formando lo que se denomina enlaces covalentes, muy estables y fuertes. Estas agrupaciones se llevan a cabo de forma ordenada dando lugar a un sólido de estructura cristalina. De la misma forma que los electrones en un átomo no pueden tener cualquier energía, los electrones en un cristal tampoco pueden tomar cualquier energía. Sin embargo lo que antes, en el átomo, era un único nivel, ahora, son agrupaciones de niveles llamadas bandas de energía. Y de la misma forma que los últimos niveles energéticos en un átomo definen las propiedades químicas del átomo, las últimas bandas de energía definen las propiedades electrónicas de un cristal. Las dos últimas bandas ocupadas (total o parcialmente por electrones) reciben el nombre de banda de conducción (para la más energética) y banda de valencia.

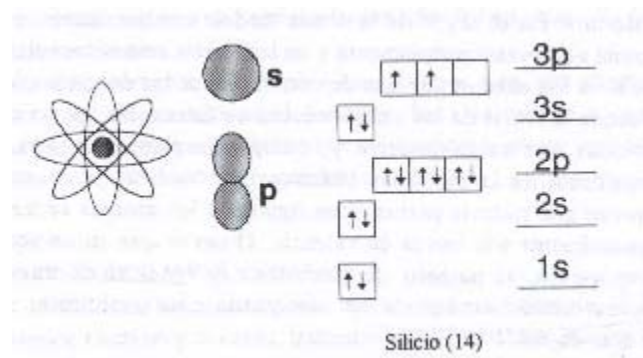


Figura 3.1 Átomo de Silicio y sus niveles de energía.

En la figura 3.1, vemos el átomo de Silicio y sus niveles de energía. Los electrones en un átomo sólo pueden tomar energías concretas. Se dice que sus niveles están cuantizados. Cada nivel recibe un nombre: 1s, 2s, etc... En la figura se representan las nubes de máxima probabilidad de encontrar al electrón para los orbitales s y p, así como la

distribución de los 14 electrones del átomo de Silicio en su estado de mínima energía.

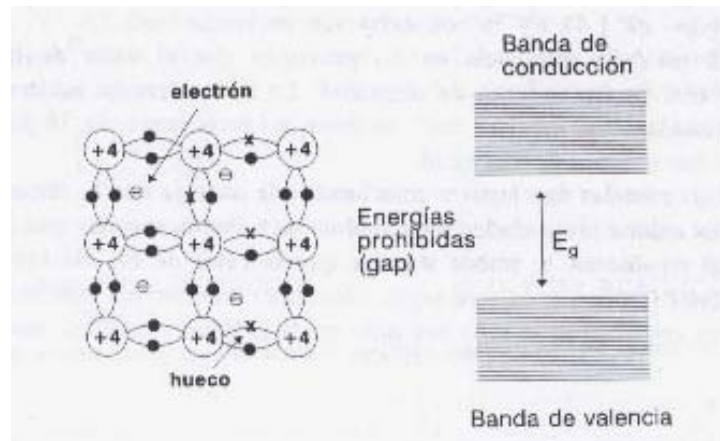


Figura 3.2 Representación esquemática de la estructura cristalina del Silicio y de la agrupación de los niveles energéticos en bandas.

Estas bandas están separadas por una energía E_g denominada energía del gap, que desempeña un papel principal en la teoría de los semiconductores. En general, a una temperatura dada, algunos electrones tendrán energía suficiente para desligarse de los átomos. A esos electrones libres se les denomina electrones propiamente. A los enlaces que han dejado vacíos se les denomina huecos. Reciben un nombre especial debido a que se comportan como si se tratase de partículas con cargas positivas. A los electrones que todavía permanecen ligados a los átomos se les asocia con los niveles energéticos correspondientes a la banda de valencia. En un semiconductor como el que estamos explicando, el número de electrones es igual al de huecos.

No todos los cristales dan lugar a unas bandas de energía con la disposición adecuada para que el material exhiba propiedades semiconductoras. Puede suceder que $E_g=0$, entonces tenemos un cristal conductor o, puede suceder que E_g sea tan elevado que el número de electrones (electrones con energía suficiente como para liberarse de los átomos) sea nulo en la práctica: entonces tenemos un cristal aislante.

Propiedades de los semiconductores

Con la descripción anterior, parece que la única diferencia entre un semiconductor y un conductor o un aislante radica en que su conductividad se sitúa en un término medio. Desde luego esa es una de sus propiedades, pero hay más que resumimos aquí:

-Para explicar los mecanismos de conducción de la corriente eléctrica en un semiconductor hay que recurrir a las partículas positivas (huecos) y negativas (electrones) que hemos definido en el apartado anterior. En un conductor, la conducción de la corriente se puede explicar únicamente en base a electrones (partículas negativas).

-En un conductor, su resistencia aumenta con la temperatura, en un semiconductor disminuye. La conductividad está relacionada con el número de partículas capaces de conducir la corriente. Cuanta más haya, más conductor. Como en un semiconductor este número aumenta exponencialmente con la temperatura, la conductividad aumenta.

-Cuando un semiconductor se ilumina con fotones con una energía mayor que la energía del gap, su conductividad aumenta. Esto es debido a que la luz, junto al mecanismo de generación radiactivo que se explicará luego, aumenta el número de partículas capaces de conducir la corriente.

Semiconductores tipo p y tipo n

Mediante tecnología algunos átomos de los que constituyen la red cristalina del semiconductor se pueden cambiar por otros, llamados impurezas, que pueden ser de dos tipos:

-donadoras, si en su última capa tienen un electrón más que los átomos que constituyen la red.

-aceptoras, si tienen un electrón menos.

Cuando en un semiconductor introducimos impurezas donadoras éstas pueden perder el electrón fácilmente. Si introducimos un número de impurezas adecuado es posible conseguir que el número de electrones en el semiconductor (tipo n) venga determinado por el número de impurezas.

De forma análoga, cuando en el semiconductor introducimos impurezas aceptoras, éstas capturan un electrón fácilmente lo que origina la aparición de un hueco en la red. De nuevo, introduciendo el número de impurezas adecuado puede conseguirse que el número de huecos en el semiconductor (tipo p) venga determinado por el número de impurezas. En ambos casos se dice que el semiconductor tiene carácter extrínseco, debido a que ahora la

conductividad del semiconductor no está determinada por una propiedad característica del mismo (ó intrínseca) sino por algo ajeno (ó extrínseco) que se ha introducido (impurezas).

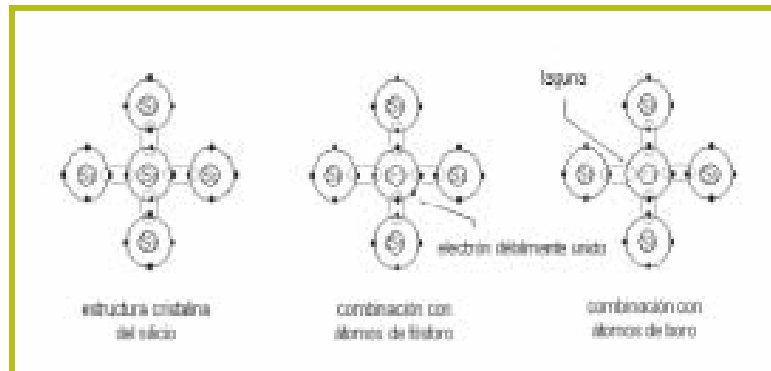


Figura 3.3. Representación del funcionamiento de un diodo.

Mecanismos de generación y recombinación.

Al describir el concepto de electrón y hueco en los apartados anteriores ligamos su existencia al hecho por el cual un electrón gana energía suficiente para liberarse del átomo al que estaba ligado. Precizando un poco más se dice que un electrón gana energía suficiente para promocionarse de la banda de valencia a la banda de conducción, y de forma más breve aún, se ha generado un par electrón-hueco (par eh). El proceso inverso también existe y un electrón libre puede ser capturado por un hueco (enlace vacío) de la red. Se dice entonces que se ha producido una recombinación de un par eh. Estos procesos ocurren continuamente de forma dinámica en un semiconductor. Pero si un semiconductor se encuentra en equilibrio (aislado del exterior) el número de procesos de generación por unidad de tiempo tiene que ser igual al número de procesos de recombinación. O sea, que la población de de electrones y huecos permanece constante.

Existen varios procesos de recombinación/generación (procesos en los que un electrón puede ganar o perder energía para intercambiarse entre la banda de valencia y conducción). Nosotros vamos a analizar el proceso de generación llamado radiactivo en el cual, el electrón gana su energía gracias a un fotón. En una célula solar es necesario absorber fotones, por lo cual ahora entendemos por qué la conductividad de un semiconductor aumenta cuando se ilumina con fotones de energía mayor que la energía del gap, ya que sólo fotones con esa energía son capaces de aumentar la población de de partículas capaces de conducir. Otros aspectos sobre los procesos de recombinación radiactiva son:

-Si admitimos que un semiconductor puede generar pares eh a partir de un fotón debemos admitir también que puede perder (recombinar) pares eh mediante la emisión de un fotón. En consecuencia, si admitimos que la célula genera pares eh, también debemos admitir que recombina pares eh, es decir, que tiene un mínimo volumen de pérdidas. Esta dualidad es la teoría que está detrás de los cálculos de los límites de la eficiencia de conversión fotovoltaica.

-A nivel de célula solar existen varios fenómenos (de emisión estimulada y de reciclaje de fotones) que son los responsables de que la tensión máxima teórica que podemos obtener de una célula solar fotovoltaica coincida con el valor del gap del semiconductor expresado en eV.

Estructura básica de una célula solar

Con la teoría ya descrita en los párrafos anteriores sabemos que un fotón puede ser absorbido para crear un par eh. Como ilustra la figura 4.4 no basta con poner dos cables a un semiconductor y ponerlo al Sol para que circule una corriente eléctrica. Si lo hiciésemos lo único que conseguiríamos es que el semiconductor se calentase, ya que los pares eh que generase la luz desaparecerían en un punto dentro del semiconductor.

Para conseguir la extracción de corriente es necesario fabricar una unión pn que consiste en fabricar un semiconductor en el que una zona sea de semiconductor tipo n y la otra zona de tipo p. Esta fabricación no consiste en pegar un semiconductor p a uno n sino que debe hacerse de manera que la red cristalina del semiconductor no se interrumpa al pasar de una región a otra. Es necesario pues, el empleo de tecnologías especiales.

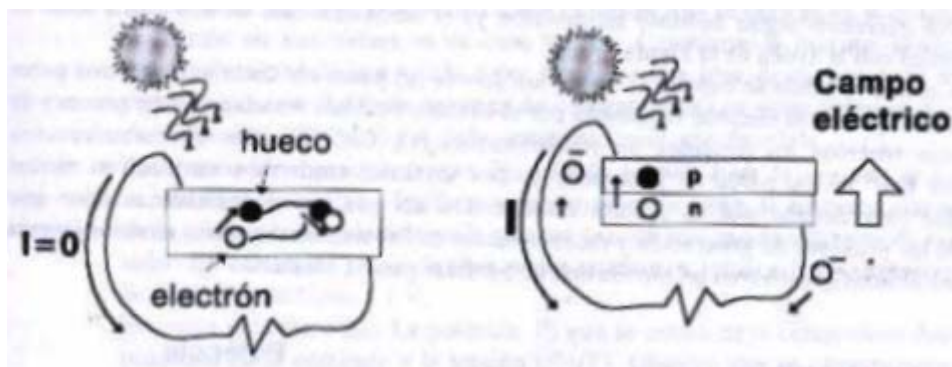


Figura 3.4. Semiconductor

En la figura .3.4 se observa un semiconductor sin estructura pn (izquierda) aunque se ilumine no provoca la circulación de corriente eléctrica. La unión pn hace posible la circulación de la corriente eléctrica gracias a la presencia de un campo eléctrico.

La existencia de la unión pn hace posible la aparición de un campo eléctrico en la célula (con la dirección del lado n al lado p) que separa los pares eh: los huecos, cargas positivas, los dirige hacia el contacto del lado p lo que provoca la extracción de un electrón desde el metal que constituye el contacto; los electrones, cargas negativas, los dirige hacia el contacto del lado n inyectándolos en el metal. Esto hace posible el mantenimiento de una corriente eléctrica por el circuito exterior y en definitiva el funcionamiento de la célula como generador fotovoltaico.

En la región de unión de los dos materiales se ha creado un campo eléctrico que se hace cada vez más grande a medida que los huecos y los electrones continúan difundándose hacia lados opuestos. El proceso continúa hasta que el potencial eléctrico alcanza un tamaño que impide la posterior difusión de electrones y huecos.

Cuando se alcanza este equilibrio se habrá creado un campo eléctrico permanente en un material sin la ayuda de campos eléctricos externos.

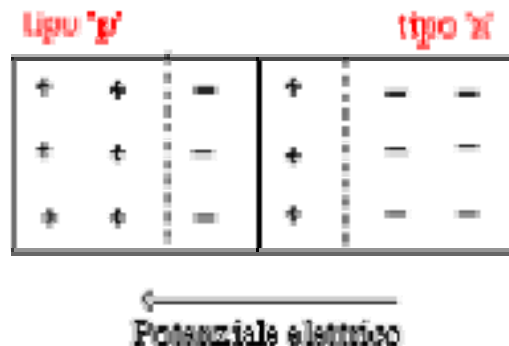


Figura 3.5. Representación de un campo eléctrico.

Otro concepto importante en la estructura de una célula solar es el concepto que hace referencia a lo que llamamos malla de metalización frontal. Los contactos metálicos superficiales son necesarios para extraer la corriente eléctrica de la célula. El metal es un material opaco a la luz, en consecuencia, al menos el contacto frontal (el del lado de la célula expuesta directamente al Sol) no puede recubrir completamente la superficie de la célula. Puede pensarse entonces que el contacto frontal debe ser lo más pequeño (en

superficie) posible, pero si se hace excesivamente pequeño uno de los parámetros de los que hablaremos posteriormente, la resistencia serie, aumenta y esto significa una pérdida de eficiencia de la célula. Así pues ha de llegarse a una solución de compromiso para que la superficie del contacto frontal sea lo suficientemente baja para permitir el paso de la luz del Sol y lo suficientemente alta para que la resistencia serie de la célula sea tolerable. (Ver Figura 5)

Funcionamiento de una célula solar

Cuando una célula solar se expone al Sol la luz genera (g) pares eh. Cada uno de estos pares constituye un potencial electrón circulando por el circuito exterior. Asociado a este proceso tenemos los procesos de recombinación (r). Cada proceso de recombinación aniquilará uno de los pares eh generados y, por lo tanto, tendremos un electrón menos disponible para circular por el circuito exterior. De ahí que se hable del mecanismo de recombinación como un mecanismo de pérdidas para la célula.

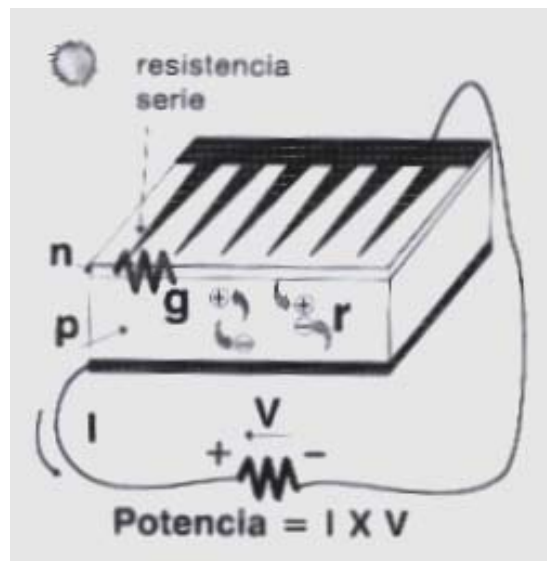


Figura 3.6.. Esquema de funcionamiento de una célula solar.

Para simplificar hemos representado en la Figura 5 el circuito exterior por una resistencia R que representa la carga de la célula. Si admitimos que hemos hecho circular una corriente I por el circuito exterior, esta corriente provocará una caída de tensión en la resistencia, que se traslada a los bornes de la resistencia, lo que significa que la célula debe

operar a una tensión $V=R \cdot I$. Esta tensión afecta a la recombinación, debido a que ésta depende de V de manera exponencial. Entonces si la carga es muy elevada, también lo será la tensión y en consecuencia la recombinación aniquilará todos los procesos de generación impidiendo la circulación de la corriente.

En resumen, la **célula fotovoltaica**, elemento encargado de transformar la energía solar en eléctrica, se basa en un fenómeno físico denominado **efecto fotovoltaico**, que consiste en la producción de una fuerza electromotriz por acción de un flujo luminoso que incide sobre la superficie de dicha célula. La célula fotovoltaica más común consiste en una delgada lámina de un material semiconductor compuesto principalmente por silicio de cierto grado de pureza, que al ser expuesto a la luz solar absorbe fotones de luz con suficiente energía como para originar el "salto de electrones", desplazándolos de su posición original hacia la superficie iluminada. Al desprenderse estos electrones con su carga negativa (n) originan la aparición de huecos o lagunas con cargas positivas (p). Como los electrones tienden a concentrarse del lado de la placa donde incide la luz solar, se genera un campo eléctrico con dos zonas bien diferenciadas: la negativa, de la cara iluminada donde están los electrones y la positiva en la cara opuesta donde están los huecos o lagunas. Si ambas zonas se conectan eléctricamente mediante conductores adheridos a cada una de las caras de la placa el desequilibrio eléctrico origina una fuerza electromotriz o diferencia de potencial, creando una corriente eléctrica para igualar las cargas. Dicha corriente, obviamente continua, se genera en un proceso constante mientras actúe la luz solar sobre la cara sensible de la lámina.

Aproximadamente proveen 0,5 voltios cada una de las fotocélulas, las cuales pueden conectarse en serie o en paralelo.

Si se conectan en serie incrementan el voltaje ya que se suma el voltaje individual de cada una de las fotocélulas solares.

Si se conectan en paralelo el voltaje se mantendrá constante al de una célula pero se incrementará la corriente.

2.2 Tipos de células fotovoltaicas y novedades.

Una célula fotovoltaica es una unidad formada por materiales semiconductores capaces de producir, mediante una unión p-n, una barrera de potencial que haga posible el efecto fotovoltaico. El tamaño de cada célula, que depende fundamentalmente del proceso de fabricación, llega hasta más de 100 cm², y su forma es circular o cuadrada o derivada de estas dos geometrías.

Las células se interconexionan en serie para que los electrones expulsados por una sean recogidos por la siguiente, comunicándole energía adicional, a fin de lograr una diferencia de potencial para el circuito exterior que sea adecuada a efectos prácticos

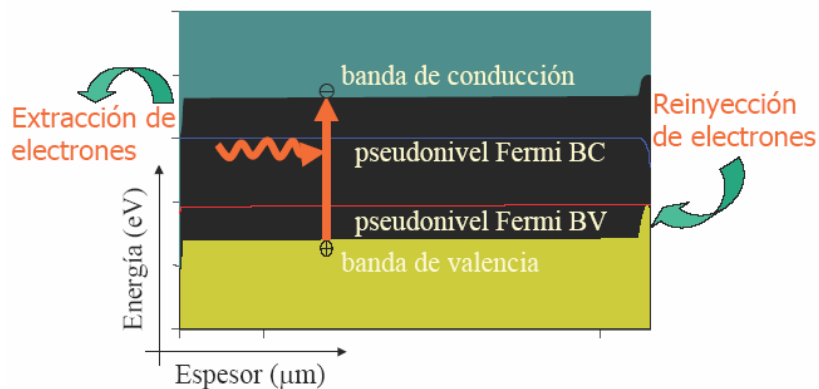


Figura 3.7. Sección de una célula fotovoltaica.

Atendiendo a la naturaleza y característica de los materiales semiconductores que las forman, y dependiendo del método de fabricación, las células se clasifican en:

- 1 - Monocristalinas
- 2 - Monocristalinas alto rendimiento
- 3 - Policristalinas
- 4 - Silicio amorfo
- 5 - Silicio amorfo semitransparente

Células Monocristalinas: se obtienen a partir de barras cilíndricas de silicio Monocristalino producidas en hornos especiales. Las celdas se obtienen por cortado de las

barras en forma de obleas cuadradas delgadas (0,4-0,5 mm de espesor). Su eficiencia en conversión de luz solar en electricidad es superior al 15%.

Células policristalinas (Figura 3.8): se forman al dejar enfriar lentamente una colada de silicio. El inconveniente es que el silicio producido es multicristalino, pero la lentitud del proceso produce cristales grandes, del orden de 1 cm de diámetro que presenta suficiente perfección estructural como para que las células solares no pierdan mucho rendimiento. Su eficiencia en conversión de luz solar en electricidad es algo menor a las de silicio Monocristalino.

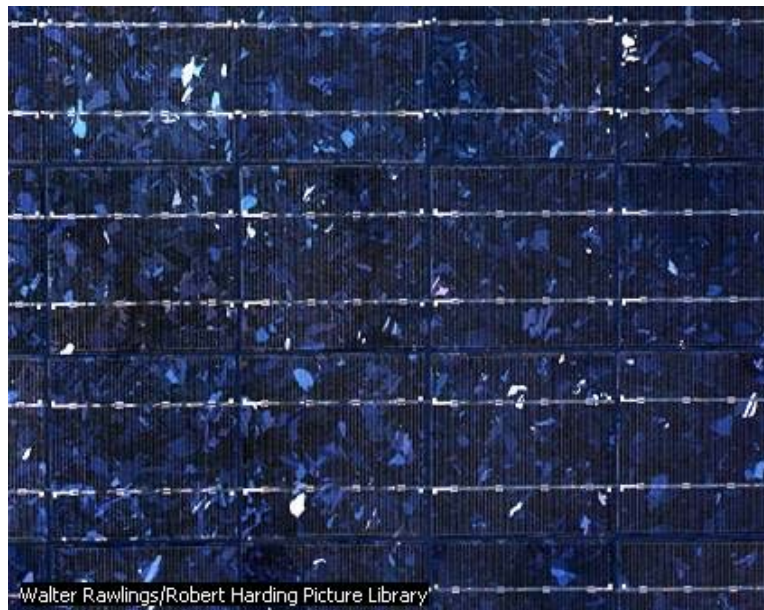


Figura 3.8. Célula de Silicio policristalino.

Células de película delgada o de silicio amorfo: no se producen células de forma individual si no una finísima capa de solamente 1 o 2 mm de espesor de material semiconductor, que se deposita sobre un sustrato apropiado, formándose un módulo continuo que no requiere interconexiones interiores. Estas celdas se obtienen mediante la deposición de capas muy delgadas de silicio sobre superficies de vidrio o metal.

Su eficiencia en conversión de radiación solar en electricidad varía entre un 5 y un 7%.

Actualmente existen muchas líneas de investigación para mejorar el rendimiento de estas células fotovoltaicas y para buscar materiales que puedan reemplazar al silicio, debido al caro coste de fabricación con este material.

Así, por ejemplo, en esta línea de investigación, cabe destacar lo siguiente:

Noticia del 15 de noviembre de 2005-12-18

Según el fabricante Shell Solar, uno de sus prototipos de película fina es capaz de convertir la luz solar en energía eléctrica con una eficiencia de 13,5%; todo un record, explica la empresa, para células de este tipo.

Shell consiguió estos resultados con su tecnología de diseleniuro de cobre indio (CIS). Lo que es evidente es que el nivel de eficiencia alcanzado está muy próximo al de algunos productos tradicionales de silicio cristalino que se comercializan actualmente en el mercado.

Las pruebas se han realizado en una nueva línea de producción de módulos Shell Solar en la ciudad alemana de Munich y fue verificada por una entidad independiente, TÜV Rhineland Group. Shell mantiene que las células CIS representan un área clave para el sector ya que se podrán reducir los costes de producción.

La eficiencia anunciada por Shell Solar es parecida a los niveles de rendimiento registrados por las células cristalinas hace tan sólo unos pocos años. Por tanto, si Shell puede repetir los resultados de su tecnología CIS fuera de las condiciones de laboratorio, podría auspiciar el principio del despegue de la película fina FV. No en vano todas las empresas están investigando en este tipo de células en los últimos años.

Noticia del 21 de octubre de 2005

ACCIONA Energía desarrollará una novedosa tecnología solar fotovoltaica a partir de proteínas. El objetivo es producir electricidad a partir de unidades bioactivas de captación de luz, diseñadas por el reordenamiento de estructuras moleculares en laboratorio. Se estima que este sistema permitirá reducir a la mitad los costes de la producción fotovoltaica basada en células de silicio y doblar la eficiencia de los actuales

equipos

ACCIONA Energía ha firmado con la empresa norteamericana MT Technologies el acuerdo de constitución de una joint venture –BioSolar Energías LLC- para el desarrollo de sistemas bioactivos de generación eléctrica a partir de unidades captadoras de la luz solar procedentes de proteínas extraídas de cultivos en laboratorio.

El sistema, que requiere un trabajo de investigación de tres años, tiene por objeto mejorar la eficiencia y reducir los costes de los actuales sistemas fotovoltaicos basados en células de silicio. El mercado del silicio está dificultando el desarrollo de esta fuente de energía renovable en el mundo. ACCIONA, que participa al 50% en la joint venture, invertirá en esta actuación 4 millones de euros, en tanto que MT Technologies aportará el “know how” del proceso.

Los responsables de MT Technologies estiman que si el trabajo de investigación culmina con el éxito previsto, el coste actual de la fotovoltaica podría reducirse en una primera fase a la mitad, con una eficiencia energética que doblaría como mínimo la de las actuales células de silicio (en torno al 1-17%). En fases posteriores, los costes podrían reducirse hasta seis veces (de los 3 dólares actuales por kWh producido con células de silicio a 0,5 dólares), triplicando la eficiencia energética de los actuales dispositivos fotovoltaicos.

La primera fase del trabajo de investigación, que se desarrolla tanto en España como en EE.UU., ya se ha realizado -un prototipo de célula solar en laboratorio, con rendimientos pequeños hasta ahora-. Las fases posteriores serán lograr rendimientos más altos de la célula, configurar un prototipo comercial de la misma y proceder a ensayos reales, momento a partir del cual se entrará, si la experiencia ha resultado exitosa, en la fase de fabricación de los equipos.

El presente trabajo de investigación utiliza los procesos y técnicas propias de la nanotecnología –ciencias y técnicas que se aplican en medidas extraordinariamente pequeñas (nanos) para obtener materiales y equipos a partir del reordenamiento de estructuras moleculares y sus átomos- para obtener electricidad a partir de la captación de la energía lumínica.

Al respecto, ACCIONA señala que “son muchos los que piensan que la nanotecnología supondrá una gran revolución industrial en el siglo XXI, por la posibilidad de crear nuevos materiales – a partir de la manipulación molecular- más adaptados a las finalidades de cada sector productivo”.

3. El módulo fotovoltaico y los paneles solares.

Es lo que se denomina como la interconexión de varias fotocélulas o células fotovoltaicas, siendo diseñado para proporcionar una potencia máxima a un voltaje determinado.

Una célula suelta solamente es capaz de proporcionar una tensión de algunas décimas de voltio y una potencia máxima de uno o dos vatios. Es preciso conectar entre sí en serie un determinado número de células para producir tensiones de 6, 12 o 24 voltios, aceptadas en la mayor parte de las aplicaciones. Al conjunto así formado, convenientemente ensamblado y protegido contra los agentes externos se le denomina **módulo fotovoltaico**.

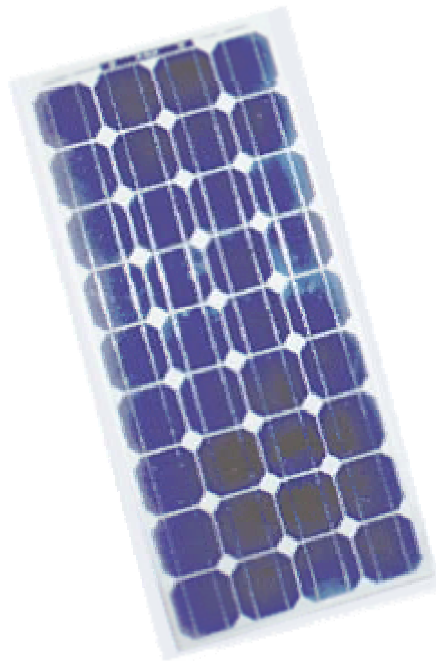


Figura 3.9. Módulo fotovoltaico

El proceso de conexión es automático, efectuándose mediante soldaduras especiales que unen el dorso de una célula con la cara frontal de la adyacente.

La conexión puede ser serie o serie-paralelo. Al conectar en serie las células se suman las tensiones de cada célula y se mantiene la corriente, mientras que al conectar en paralelo las células se suman las corrientes de cada una de ellas y se

mantiene la tensión. Por tanto, el comportamiento eléctrico del módulo va a depender del comportamiento que tengan cada una de las células que lo forman y de cómo estén asociadas.

Como las instalaciones fotovoltaicas utilizan con frecuencia baterías, y éstas suelen tener una tensión múltiplo de 12V, es necesario que los módulos puedan alcanzar fácilmente esta tensión para poder cargar las baterías. Para conseguir que un módulo cargue la batería, de por ejemplo, 12 V, para cualquier condición de temperatura e irradiancia, es necesaria la asociación en serie de entre 33 y 36 células.

Una vez terminadas las interconexiones eléctricas, las células son encapsuladas en una estructura tipo sándwich, consistente en una lámina de vidrio templado, otra de un material orgánico adecuado, por ejemplo, acetato de etilen-vinilo (EVA), las propias células, otra capa de sustrato orgánico y, por último, una cubierta posterior formada por varias láminas de polímeros u otro vidrio.

Se procede posteriormente a un sellado al vacío, introduciéndolo en un horno especial para su laminación, haciéndose estanco el conjunto.

Por último, se rodea con neopreno o algún material que lo proteja de las partes metálicas que forman el marco-soporte, en el caso de que lo lleve.

Una vez montadas las conexiones positiva y negativa, se efectúan los controles de calidad necesarios.

Denominamos **paneles solares o fotovoltaicos** a la interconexión de varios módulos fotovoltaicos, siendo diseñado para proporcionar una potencia máxima o adecuada para el consumo exigido.

La eficiencia de estos equipos varía de acuerdo a la calidad de las fotocélulas, el diseño del equipo y a la insolación existente y su mantenimiento es nulo.