

# Boletín 9

PANELES SOLARES

EFECTO  
FOTOVOLTAICO

Boletín técnico N°9  
PARTE 2

Ing. Gregor Rojas

Caracas - Venezuela

## PANELES SOLARES EFECTO FOTOVOLTAICO.

### PARTE 2

Por:

**Ing. Gregor Rojas**  
GERENTE NACIONAL  
MERCADERO Y VENTAS  
División materiales eléctricos

Para comprender mejor el tema del efecto fotovoltaico, es necesario haber visto previamente el Boletín Técnico N° 8 PARTE 1 donde partimos desde principios básicos sobre esta materia y abordamos su origen en el efecto fotoeléctrico.

#### 1. Generalidades.

El efecto fotovoltaico fue descubierto por el francés Alexandre Edmond Becquerel en 1.838 cuando tenía sólo 19 años.

Este notable científico estaba experimentando con una pila electrolítica con electrodos de platino cuando comprobó que la corriente subía en uno de los electrodos cuando este se exponía al sol.

El siguiente paso ocurrió en 1873 cuando el ingeniero eléctrico inglés Willoughby Smith descubre el efecto fotovoltaico en sólidos, en este caso sobre el Selenio. Pocos años más tarde, en 1877, el inglés William Grylls Adams profesor de Filosofía Natural en la King College de Londres, junto con su alumno Richard Evans Day, crearon la primera célula fotovoltaica de selenio.

#### 2. Efecto Fotovoltaico

En el boletín técnico 8 comentamos ampliamente sobre el efecto fotoeléctrico, para conocer la diferencia entre efecto fotoeléctrico y efecto fotovoltaico tenemos que entender el efecto fotovoltaico.

El efecto fotovoltaico es un fenómeno de naturaleza fisico-químico por el cual se genera

electricidad cuando algunos materiales son expuestos a la luz solar.

Por definición es el proceso por el cual se genera una diferencia de potencial entre dos puntos de un material cuando sobre el incide una radiación electromagnética.

Este efecto consiste en convertir la energía proveniente de la luz solar en energía eléctrica a través de dispositivos semiconductores mayormente conocidos como células fotovoltaicas, en la figura 1 se puede observar como está constituido estos dispositivos.

Este efecto transforma la energía del sol en energía eléctrica, gracias a un material que absorbe los fotones e inmediatamente emite electrones.

Si apartamos por un lado los electrones que son cargas negativas y por otro los huecos que son las cargas positivas, conseguimos un campo eléctrico y habremos convertido a nuestro semiconductor, en un pequeño generador eléctrico.

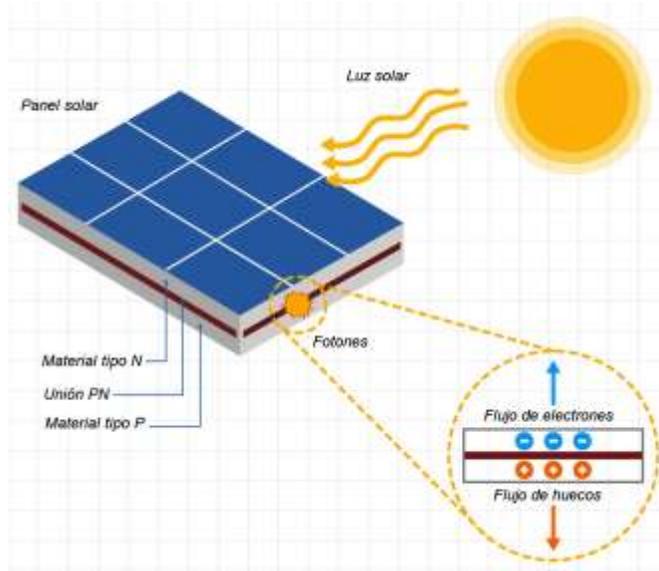


Figura 1. Efecto fotovoltaico en paneles solares

En conclusión, podríamos asegurar que el efecto fotoeléctrico es una parte del efecto fotovoltaico.

No existiría el efecto fotovoltaico sino coexiste el efecto fotoeléctrico, sin embargo, lo contrario si aplica, es decir, si puede haber efecto fotoeléctrico sin efecto fotovoltaico.

La fuente capaz de estimular a los electrones es la radiación solar. Cuando un fotón choca contra un electrón que esté en la última órbita de un átomo de silicio comienza el efecto fotovoltaico. Esta colisión hace que el electrón obtenga energía del fotón y se excite. Si la energía obtenida por el electrón proveniente del fotón es mayor que la fuerza de atracción del núcleo del átomo de silicio entonces se producirá la salida del electrón de la órbita.

La producción de energía está basada en el fenómeno físico denominado efecto fotovoltaico, que básicamente consiste en convertir la luz solar en energía eléctrica por medio de unos dispositivos semiconductores denominados células fotovoltaicas.

Estas células están elaboradas a base de silicio puro que es un componente de la arena y uno de los elementos más abundantes, con el añadido de impurezas de ciertos elementos químicos como boro y fósforo, son capaces de generar cada una corrientes entre 2 a 4 amperios y generando un voltaje de 0,48 Voltios, empleando la radiación luminosa. Para obtener un voltaje adecuado, las células se instalan en serie sobre paneles solares.

Debemos tener presente que parte de la radiación que incide se disipa por reflexión y otra parte debido a que atraviesa la célula. El resto hace saltar electrones de una capa a otra creando una corriente eléctrica proporcional a la radiación que incide. Para evitar la reflexión se coloca a las células una capa antirreflejo y así incrementar la eficiencia.

Podemos decir que el efecto fotovoltaico es un proceso del efecto fotoeléctrico, es cuando gracias al efecto fotoeléctrico conseguimos generar

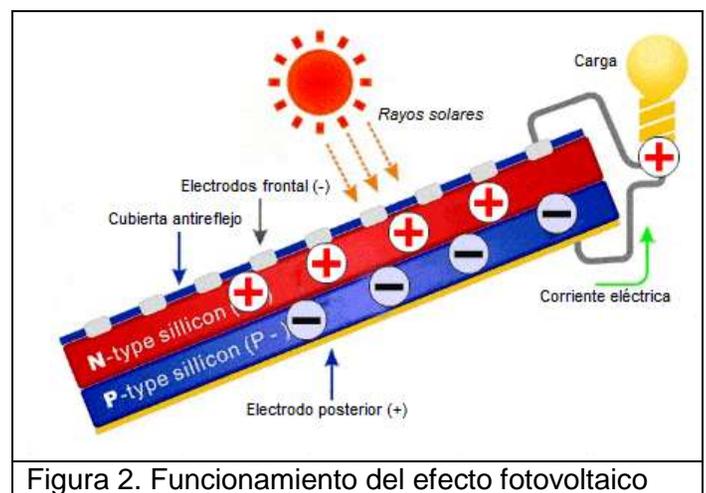
corriente eléctrica, por ejemplo en una celda solar o en los paneles solares

Una forma entender la diferencia existente de uno a otro radica que el efecto fotoeléctrico produce electrones libres y el efecto fotovoltaico corriente eléctrica, por supuesto debido a los electrones libres liberados a través del efecto fotoeléctrico.

Los elementos para producir el efecto fotovoltaico son las denominadas placas o celdas solares que están conformadas por semiconductores tipo P y N unidos, lo que se conoce como unión PN.

### 3. Funcionamiento del efecto fotovoltaico.

Una forma muy sencilla de explicar cómo funciona este efecto sería partiendo del hecho de que cuando la luz solar entra en contacto con un material capaz de producir el efecto fotovoltaico, los fotones de la luz son capaces de excitar a los electrones libres de este material, generando una intensidad de corriente eléctrica. En la figura 2 se aprecia cómo funciona el efecto fotovoltaico.



Realizando una serie de combinaciones entre materiales y semiconductores que producen el efecto fotovoltaico cuando se exponen a la luz solar, se fabrican las actuales placas solares. Por supuesto que la ciencia avanza más en los estudios de estos materiales, perfeccionando el efecto fotovoltaico para alcanzar un mayor rendimiento. En el efecto fotovoltaico los

electrones se mantienen en el material y se redirigen, y en el efecto fotoeléctrico los electrones emergen y se liberan.

Tenga en cuenta que este efecto es mucho más viejo de lo que parece, recuerde que ya vimos sus orígenes y se descubrió hace ya casi 200 años.

#### 4. Entendiendo el efecto fotovoltaico

Para entender cómo se produce este fenómeno a nivel atómico es necesario aclarar los siguientes puntos.

##### **Semiconductor extrínseco.**

Un semiconductor extrínseco o dopado, es aquel que fue dopado intencionalmente con la finalidad de modificar sus propiedades eléctricas, ópticas y estructurales. Dosimetría de radiación.

En general, hay dos tipos de átomos dopantes que dan como resultado dos tipos de semiconductores extrínsecos. Estos dopantes que producen los cambios controlados deseados se clasifican como aceptores o donantes de electrones. Los semiconductores extrínsecos pueden ser:

- Semiconductores de tipo n.
- Semiconductores tipo p.

##### **Semiconductor extrínseco tipo N.**

Se produce al dopar con átomos donadores de electrones a la estructura cristalina del Silicio, esto es debido a la mayoría de los portadores de carga en el cristal son electrones negativos. Como el silicio es un elemento tetravalente, la estructura cristalina normal contiene 4 enlaces covalentes de cuatro electrones de valencia.

Las impurezas con que se dopan son de un elemento con cinco electrones de valencia en su orbital externa, tales como el Fósforo (P), Antimonio (Sb) o Arsénico (As). En la figura 3 podemos observar como el átomo de Sb crea los cuatro enlaces covalentes y vemos además como

le sobra un electrón que se sale de su órbita para que quede estable.

Con cada átomo de antimonio aparece un electrón libre en la estructura que aumenta su conductividad eléctrica. Se les denomina semiconductores tipo N debido a que la carga de los portadores adicionales son negativas.

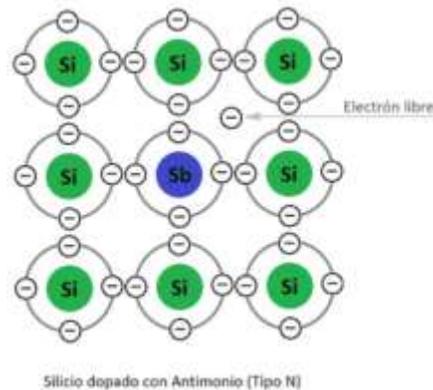


Figura 3. Semiconductor extrínseco tipo N

Los elementos pentavalentes del grupo V tienen cinco electrones de valencia, permitiéndoles actuar como donantes. Esto representa que al añadir estas impurezas pentavalentes como el arsénico, el antimonio o el fósforo se favorece la formación de electrones libres, incrementando la conductividad del semiconductor intrínseco.

Si tomamos un cristal de silicio y lo dopamos con boro elemento del grupo III, creamos un semiconductor de tipo p, no obstante, al tomar un cristal de silicio y lo dopamos con fósforo perteneciente al grupo V, el resultado sería un semiconductor de tipo n.

Se tiene que tener presente que los electrones de conducción están completamente dominados por el número de electrones donadores, en tal sentido, el número total de electrones de conducción es prácticamente igual al número de sitios donantes, expresado como sigue:

$$n \approx N_D$$

Donde:

n es el número de electrones donadores

$N_D$  es el número de sitios donantes

La neutralidad de la carga del material semiconductor se mantiene debido a que los sitios donantes excitados equilibran los electrones de conducción.

El resultado de esta recombinación es que el número de electrones de conducción se incrementa y el número de huecos decrece. El desequilibrio de la concentración de portadores en las bandas respectivas se expresa por el número absoluto diferente de electrones y huecos. En los materiales tipo n los electrones son portadores mayoritarios y los huecos los minoritarios.

### Semiconductor extrínseco tipo P.

Se produce al dopar la estructura cristalina del Silicio con átomos aceptores de electrones denominado semiconductor de tipo p, debido a que la mayoría de los portadores de carga en el cristal son agujeros de electrones que son portadores de carga positiva. Como el silicio semiconductor puro es un elemento tetravalente, la estructura cristalina normal contiene 4 enlaces covalentes de cuatro electrones de valencia.

Las impurezas con que se dopan son de un elemento con tres electrones de valencia en su orbital exterior, tales como el Boro (B), Galio (Ga) o Indio (In). En la figura 4 podemos observar como el átomo de Boro únicamente crea tres enlaces covalentes y vemos como queda un átomo de Silicio con un electrón sin enlazar.

Entonces aparece un hueco que se comporta como una carga positiva volviéndose por el interior de la red cristalina. Se les denomina semiconductores tipo P debido a que la carga de los portadores adicionales son positivas.

Cuando el átomo aceptor reemplaza a un átomo de silicio tetravalente en el cristal, se crea un estado vacante, es decir, un hueco de electrones, este es la falta de un electrón en una posición en la que uno podría existir en un átomo o en una red atómica. Es uno de los dos tipos de portadores de

carga responsables de generar corriente eléctrica en semiconductores.

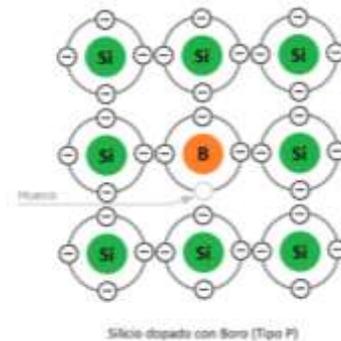


Figura 4. Semiconductor extrínseco tipo P

Los huecos que están positivamente cargados alcanzan desplazarse de un átomo a otro en materiales semiconductores en el orden que los electrones abandonan sus posiciones.

Al añadir impurezas trivalentes como aluminio, boro o galio a un semiconductor intrínseco se crea en la estructura huecos de electrones positivos. Si dopamos con boro perteneciente al grupo III un cristal de silicio, construimos un semiconductor de tipo p, si lo hacemos sobre un cristal dopado con fósforo perteneciente al grupo V, nos resulta un semiconductor de tipo n.

### Unión semiconductor PN.

Hemos visto ambos semiconductores tanto el tipo P como el N, ahora veremos el comportamiento si los unimos.

Cuando unimos ambos semiconductores P y N se produce un efecto de difusión de electrones de la zona N con alta concentración de electrones a la zona P que posee baja concentración de electrones.

Lo anterior sucede de forma análoga con los huecos, desplazándose desde la zona P donde hay mayor concentración a la zona N donde la concentración es menor. Por este desplazamiento de cargas, debido a la combinación de electrones

y huecos se origina una neutralización en la zona de unión.

El voltaje que aparece entre las zonas o también denominada barrera de potencial, evita que el movimiento de cargas continúe, esto a consecuencia de que las cargas positivas de la zona N rechazan a los huecos que se acercan de P y las cargas negativas de la zona P repelen a los electrones que se aproximan de N. En la figura 5 podemos observar una unión PN donde se aprecia el campo eléctrico y la diferencia de potencial creado en esta unión.

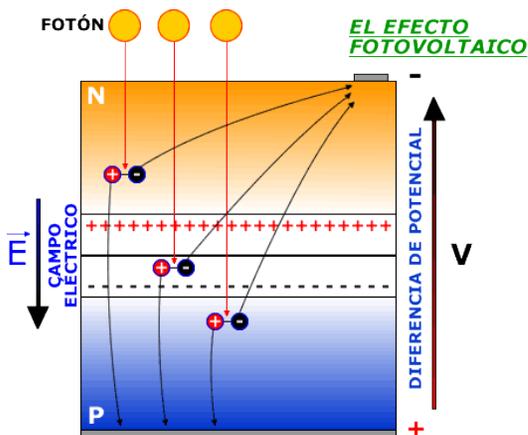


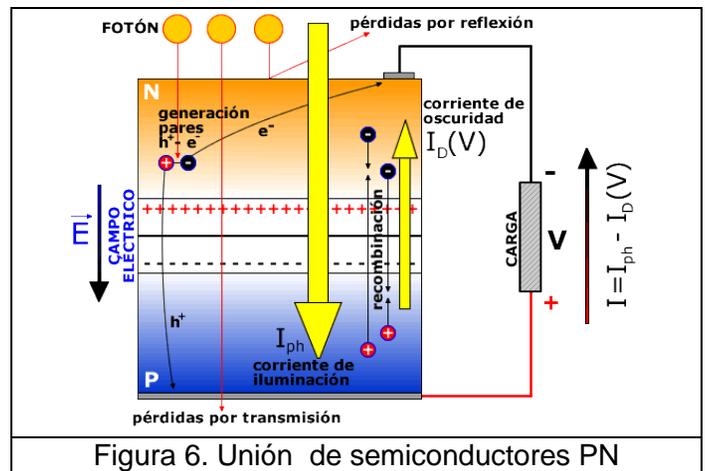
Figura 5. Unión de semiconductores PN

Como se aprecia en la figura 5, la exposición del conjunto PN por su zona N a la radiación electromagnética, observamos como la energía de los fotones se transmite a los electrones rompiendo los enlaces y quedando electrones libres que incrementan la carga negativa en la zona N generando una diferencia de potencial.

En la medida que se incrementa la radiación, también lo hace esta diferencia de potencial. Uniendo directamente la zona N y la zona P los electrones circulan desde la zona N a la zona P en lo que se denomina corriente de cortocircuito.

Si lo conectamos una carga a esta unión PN, aparecerá entre los extremos de la unión una diferencia de potencial debido a la corriente

eléctrica que circula. De esta forma estamos consumiendo parte de la energía de la radiación electromagnética que incide sobre el material convertida en electricidad. En la figura 6 se puede observar el funcionamiento de como se genera electricidad.



Ahora ya tenemos todos los elementos de juicio para establecer cuales serian las diferencias entre el efecto fotoeléctrico y el efecto fotovoltaico.

#### 4. Diferencias entre efecto fotoeléctrico y efecto fotovoltaico.

Podemos asegurar sin temor a equivocarnos que encontramos los términos de efecto fotoeléctrico y efecto fotovoltaico manejados de manera indistinta. En este boletín técnico trataremos el tema para aclarar la diferencia entre ambos efectos el fotoeléctrico y el fotovoltaico.

Podemos emitir la opinión sin lugar a equivocación que ambos efectos el fotoeléctrico y el fotovoltaico no son iguales, a pesar de que intrínsecamente están relacionados.

Cuando hablamos del efecto fotoeléctrico nos estamos refiriendo al proceso donde se liberan electrones de un material por la incidencia de la radiación electromagnética. Es decir, el efecto fotoeléctrico es quien produce electrones libres y el efecto fotovoltaico genera corriente eléctrica debido a los electrones libres que se producen por

el efecto fotoeléctrico, tal como lo hemos explicado con anterioridad. Sucede que con el efecto fotoeléctrico y las celdas fotovoltaicas ocurre que los fotones llegan al material y su energía es absorbida por los electrones del mismo, haciendo que los electrones adquieran un nivel energético mayor y suficiente para poder salir del átomo.

Generalmente se habla de uno u otro como si fueran lo mismo, pero realmente no lo son. De hecho una de las principales aplicaciones del efecto fotoeléctrico es el efecto fotovoltaico.

Los conceptos de efecto fotoeléctrico, celdas fotovoltaicas y efecto fotovoltaico no están siempre unidos. Las aplicaciones del efecto fotoeléctrico se utilizan en una infinidad de dispositivos, como las fotocopiadoras, los fototransistores o los fotodiodos.

A continuación las principales diferencias entre ambos efectos:

1. La principal diferencia entre el efecto fotoeléctrico y el fotovoltaico radica en que durante el efecto fotoeléctrico, la emisión de electrones se produce en un espacio abierto, mientras que para el efecto fotovoltaico los electrones entran en otro material.
2. El efecto fotoeléctrico es un proceso en el que la interacción de la luz con una sustancia provoca la emisión de electrones desde su superficie, por su parte, el efecto fotovoltaico es un proceso en el que la interacción de la luz con dos objetos diferentes provoca la producción de voltaje eléctrico.
3. El efecto fotoeléctrico es más difícil de producir, por el contrario, el efecto fotovoltaico se produce con mayor facilidad.
4. El efecto fotoeléctrico libera un electrón en el espacio abierto después de la incidencia de la luz. Por otro lado, como resultado de la luz

incidente, el efecto fotovoltaico provoca el movimiento de electrones en los diferentes materiales.

5. El efecto fotoeléctrico se puede detectar en un tubo de rayos catódicos con la participación de un ánodo y un cátodo conectados a un circuito externo. Por su parte, el efecto fotovoltaico se genera en dos metales distintos que se combinan entre sí en una solución.
6. El efecto fotoeléctrico no genera corriente eléctrica, por su parte, en el efecto fotovoltaico si se genera corriente eléctrica.
7. El efecto fotoeléctrico no tiene potencial de unión, por su parte, en el efecto fotovoltaico los electrones emitidos son empujados a través del potencial de unión.
8. El efecto fotoeléctrico se produce cuando los fotones proporcionan suficiente energía para superar la energía de enlace de electrones, por su parte, el efecto fotovoltaico se produce cuando los fotones proporcionan suficiente energía para superar la barrera potencial de excitación.
9. Para el efecto fotoeléctrico es muy importante la energía cinética de los electrones emitidos, al contrario, para el efecto fotovoltaico no tiene ninguna importancia.
10. El efecto fotoeléctrico tiene aplicaciones en tecnología de imagen, en estudios de procesos nucleares, para dar información teórica sobre la transición de electrones entre estados energéticos en átomos, etc., por su parte, las células solares trabajan sobre el concepto de efecto fotovoltaico.

En este boletín técnico y en el boletín técnico 8 analizamos los efectos fotoeléctrico y fotovoltaico, con esta sólida base podemos adentrarnos en el fascinante mundo de la energía solar.