

SIH007. TECNOLOGÍA FOTOVOLTAICA.

FABRICACIÓN DE PANELES SOLARES



***Carlos Argilaga Nova.  
Rubén Sales Jovaní.  
Francisco Cuevas Simarro.  
Vicente Abril Vidal.  
Juan Antonio Ripoll Martínez.***

## **ÍNDICE.**

1. INTRODUCCIÓN.
2. TIPOS DE SILICIO.
3. PANELES SOLARES DE SILICIO POLICRISTALINO Y MONOCRISTALINO.
4. PROCESO DE FABRICACIÓN DE UNA CÉLULA CONVENCIONAL.
5. PROCESO DE FABRICACIÓN DE PANELES SOLARES.
6. RECICLADO DE PANELES SOLARES.
7. PROBLEMAS DE CONTAMINACIÓN EN LA FABRICACIÓN DE CÉLULAS Y PANELES SOLARES.
8. TOXICOLOGIA DE LOS PANELES INSTALADOS.
9. BIBLIOGRAFÍA.
10. ANEXO

## **1. INTRODUCCIÓN.**

El silicio es el material más conocido y utilizado para la fabricación de células con aplicaciones comerciales, siendo a la vez uno de los materiales más abundantes en la corteza terrestre, 20%, en forma de minerales de  $\text{SiO}_2$  y silicatos. Sin embargo para la producción de células obleas se necesita material de elevada pureza, que hay que fabricar. El silicio es un elemento muy resistente a ataques químicos excepto a una mezcla de HF y  $\text{HNO}_3$ , y es soluble en KOH y NaOH. Cuando se expone al aire se forma casi inmediatamente una capa de óxido,  $\text{SiO}_2$ , de 10 a 20 Å que aumenta gradualmente de 50-60 Å.

En el silicio monocristalino la estructura atómica del material es uniforme y que su estructura completa ha sido crecida de un único cristal. Esta uniformidad es ideal para la transferencia de electrones a través del material de un modo eficiente. Por otro lado el silicio multicristalino está formado por un conglomerado de estructuras macrocristalinas en cuyas uniones o fronteras de grano se impide el paso de los electrones en procesos recombinativos. No obstante su proceso de fabricación es mucho más barato y los rendimientos de los dispositivos comerciales se acercan bastante a los del silicio monocristalino.



Conceptualmente se pueden diferenciar dos tecnologías: la del Silicio cristalino y las tecnologías de lámina delgada.

La transformación de arena de silicio de elevada pureza se puede realizar a través de los siguientes pasos:

- Reducción de  $\text{SiO}_2$  a Si de baja pureza en C en hornos de arco eléctrico.
- Transformación en un compuesto químico intermedio como el triclorosilano.
- Purificación por destilación u otros medios
- Reducción del compuesto intermedio a Si con bajo contenido en impurezas
- Crecimiento cristalino, con purificación adicional

Con estos pasos se pueden conseguir niveles de impurezas en el rango de partes por millón. Es necesario prestar especial atención a la presencia de elementos que actúan como fuertes elementos de recombinación tales como Au, Cu y Fe.

### ***Caídas de precios***

Los cambios en la industria de energía solar y la rápida producción han impactado en los precios significativamente. Los precios de silicio puro se elevaron intensamente en 2007 y 2008 debido a la escasez de material – en 2008, los precios del polisilicio estaban por encima de \$400/kg. Los precios cayeron a plomo en 2009, llegando a \$50 – 55/kg en promedio a final de año. Los precios se espera continúen cayendo los próximos tres años, aunque no con la intensidad de 2009. A finales de

2012, algunos observadores apuntan por unos precios que estarían alrededor de \$40/kg.

La expansión de la capacidad de producción probablemente provoque un sobre suministro en los próximos años, aunque las cosas pueden cambiar si la energía fotovoltaica tiene éxito en convertirse en una alternativa viable a la energía convencional derivada. Dependiendo de una serie de factores, la paridad con la red para la energía solar puede alcanzarse con costes de producción de alrededor de \$0.15/kWh.

Parece haber pocas dudas de que la producción de poli silicio dominará el mercado en los próximos años.

## **2. TIPOS DE SILICIO.**

### **Células de silicio amorfo**

El silicio durante su transformación, produce un gas que se proyecta sobre una lámina de vidrio. La celda es gris muy oscuro.

Ventajas:

- Funciona con una luz difusa baja (incluso en días nublados)
- Un poco menos costosa que otras tecnologías
- Integración sobre soporte flexible o rígido

Inconvenientes:

- Rendimiento a pleno sol bajo, del 5% al 7%
- Rendimiento decreciente con el tiempo (~7%).

### **Células de silicio monocristalino**

Al enfriarse, el silicio fundido se solidifica formando solo un único cristal de grandes dimensiones. Luego se corta el cristal en delgadas capas que dan lugar a las células. Estas células generalmente son un azul uniforme.

Ventajas:

- Buen rendimiento de 14% al 16%,
- Número de fabricantes elevado.

Inconvenientes:

- Coste elevado

### **Células de silicio multicristalino**

Durante el enfriamiento de silicio en un molde se forman varios cristales. La fotocélula es de aspecto azulado, pero no es uniforme, se distinguen diferentes colores creados por los diferentes cristales.

Ventajas:

- Células cuadradas (con bordes redondeados en el caso de Si monocristalino) que permite un mejor funcionamiento en un módulo,
- Lingote más barato de producir que el monocristalino.

Inconveniente

- Bajo rendimiento en condiciones de iluminación baja.

### **Célula Tándem**

Apilamiento monolítico de dos células individuales. Mediante la combinación de dos células (capa delgada de silicio amorfo sobre silicio cristalino, por ejemplo) que absorben en el espectro al mismo tiempo se solapan, mejorando el rendimiento en comparación con las células individuales separadas, sean amorfas, cristalinas o microcristalinas.

Ventajas

- Alta sensibilidad en un amplio rango de longitudes de onda. Excelente rendimiento.

Desventaja

- El costo es alto debido a la superposición de dos células.

### **Célula multiunión**

Estas células tienen una alta eficiencia y han sido desarrolladas para aplicaciones espaciales. Las células multiunión están compuestas de varias capas delgadas usando la epitaxia por haz molecular.

Una célula de triple unión, por ejemplo, se compone de semiconductores GaAs, Ge y GaInP2.

## **3. PANELES SOLARES DE SILICIO POLICRISTALINO Y MONOCRISTALINO**

El elemento base de la fabricación de las células fotovoltaicas es el silicio, muy abundante en la corteza terrestre. Existen procesos de obtención del silicio policristalino de grado semiconductor, utilizado por la industria microelectrónica, y de grado solar, de menor pureza (1 ppma) y más barato. Hasta el momento los fabricantes de células han satisfecho un 70 % de sus necesidades con excedentes del silicio de grado semiconductor.

Mediante métodos de cristalización del polisilicio se obtienen las obleas utilizadas en la industria fotovoltaica. El silicio se produce en barras llamadas «lingotes» de sección redonda o cuadrada. Estos lingotes son luego cortados en láminas delgadas cuadradas (si es necesario) de 200 micrómetros de espesor, que se llaman «obleas». En estos procesos de cristalización se logran, en unos casos monocristales dando lugar al silicio cristalino, mientras que en otros el resultado es un conglomerado de cristales llamado silicio multicristalino. Existen varios métodos para la obtención de lingotes de silicio cristalino, basados en una semilla de inicio de la cristalización, tales como el método de zona flotantes (FZ), el método de Czochralski (CZ) o métodos de colada. Estos lingotes se cortan para producir obleas mediante sierras multi-hoja.

En el proceso de Czochralski, se parte de polisilicio fundido en un crisol, se pone una semilla en contacto con su superficie y se eleva y se hace rotar lentamente sobre sí misma obteniéndose unos lingotes cilíndricos monocristalinos.

En el proceso de Zona Flotante (FZ) se produce un cristal más puro que en el Czochralski, debido a la no contaminación del crisol. Este método consiste en fundir

localmente una barra de polisilicio mediante una bobina de radiofrecuencia, partiendo de un extremo donde se coloca la semilla de crecimiento del monocristal.

Los lingotes de material monocristalino o multicristalino obtenidos han de cortarse en obleas de silicio, de espesor igual al espesor de una célula, 300 micrómetros, en un proceso de corte en el que se llega a desperdiciar hasta el 20 % del material. Actualmente también se están utilizando nuevos procesos alternativos de crecimiento de silicio cristalino en laminas (células crecidas por el borde) en la que se minimiza el Si desperdiciado en el corte de la oblea tradicional.

#### Fabricación del vidrio templado plano de bajo contenido de hierro

El vidrio templado plano utilizado en el armado de los paneles es de bajo contenido de hierro, lo cual le confiere una excelente captabilidad de los rayos ultravioleta e infrarrojos, resistencia a las altas temperaturas y capacidad de operar bajo condiciones climáticas extremas.

El proceso de fabricación puede resumirse en las siguientes etapas:

- *Cribado*: pesada y dosificación de las materias primas (carbonato de sodio, carbonato de calcio, carbonato de magnesio, agua y dióxido de silicio) que se reciben ya purificadas.
- *Secado*: la mezcla se seca mediante el empleo de una corriente de aire seco.
- *Mezclado*: las materias primas son homogeneizadas en una mezcladora cerrada.
- *Fusión*: los componentes sólidos son llevados al estado vítreo dentro de hornos de cuba en los que se emplea como combustible gas natural.
- *Templado y estirado*: el vidrio obtenido se enfría lentamente hasta la temperatura ambiente mediante un sistema de refrigeración con agua y ventilación. El estirado se hace en conjunto al templado, empleándose para ello un máquina de estiraje compuesta por rodillos por la que se desplaza la masa vítrea.
- *Recocido*: las láminas son introducidas a un horno de recocido en la que se le aplica un nuevo salto térmico y posteriormente un brusco enfriamiento a fin de extraerle todas las tensiones superficiales.
- *Acabado*: las láminas son pulidas con arena para el esmerilado grueso, y luego con materiales más blandos como el óxido de selenio para el esmerilado fino.
- *Corte*: esta operación se realiza en mesa provistas con herramientas diamantadas que marcan la superficie de corte sobre la que después se realiza un esfuerzo de tracción, consiguiendo que la fisura se propague en el espesor.

#### Fabricación de los perfiles de aluminio anodizado

Las etapas requeridas para fabricar los perfiles de aluminio anodizado utilizados en la confección de los paneles son básicamente las que se describen a continuación:

1. *Obtención de la alúmina grado metalúrgico (Proceso Bayer)*: La alúmina se obtiene a partir de la bauxita ( $Al_2O_3 \cdot xH_2O$ ) molida y luego tratada con una solución concentrada de hidróxido de sodio (NaOH) 25% (200 - 240°C y hasta 30 atm), formando aluminato de sodio ( $NaAlO_2$ ). En una etapa posterior, la solución es enfriada y diluida con agua con lo que se logra descomponer el aluminato de sodio en alúmina hidratada ( $Al_2O_3 \cdot 3H_2O$ ), compuesto insoluble que se separa en la etapa denominada precipitación, y luego es filtrada y lavada. La solución de NaOH restante es concentrada y reintroducida en el proceso. Finalmente, la alúmina hidratada es calentada por encima de los

1000°C (calcinación) eliminándose el agua. La alúmina obtenida es un polvo fino y blanco, generalmente es de alta pureza, con pequeñas cantidades de óxidos de silicio, sodio, calcio, etc.

2. Obtención del aluminio anodizado (Proceso Hall Heroult): Consiste en la electrólisis de la alúmina grado metalúrgico, utilizándose celdas con ánodos de carbón grafito. Las celdas electrolíticas son contenedores de acero en forma de caja. Dentro de cada una de ellas hay un compartimento catódico recubierto con una mezcla apisonada de brea y carbón de antracita o coque de elevada pureza para evitar la contaminación del metal producido. Dentro de la cuba de electrólisis están contenidos en estado líquido, un depósito de aluminio y una mezcla de alúmina, criolita ( $\text{Na}_3\text{AlF}_6$ ) y otros componentes, a los que se denomina baño electrolítico. La criolita no participa en forma directa en la reacción, sólo ofrece un medio apropiado para que la reacción se pueda llevar a cabo a nivel industrial. Dado que la temperatura de operación varía entre 950 y 965°C, el aluminio, cuyo punto de fusión es 660°C, permanece en estado líquido. Durante la electrólisis se desprenden  $\text{CO}$ ,  $\text{CO}_2$  y gases que resultan de la descomposición de los fluoruros. El baño electrolítico que se genera no constituye un residuo sino un subproducto porque puede ser empleado nuevamente para nuevas cubas o vendido. Los ánodos (trozos de carbón limpios) se retiran de las celdas antes de completar su consumo total (con un 25% del tamaño del ánodo original) y son molidos y mezclados con el coque para fabricar un nuevo ánodo, de manera que todo el carbón es reciclado.

### 3 *Confeción de los perfiles*

## 4. PROCESO DE FABRICACIÓN DE UNA CÉLULA CONVENCIONAL.

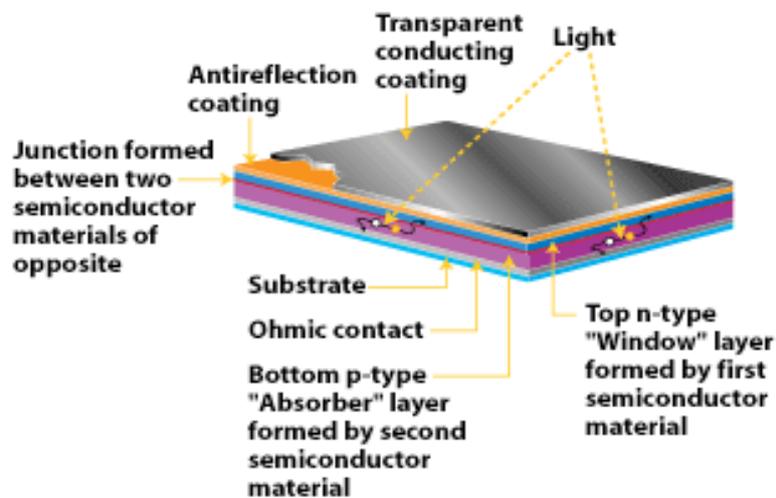
Los pasos en la fabricación de una célula fotovoltaica convencional a partir de una oblea de silicio son:

- Limpieza de las obleas, cuya finalidad es la limpieza previa que elimine los restos de metales procedentes de las sierras de corte y restos orgánicos y metálicos procedentes de los procesos de fabricación de las obleas. Para estas limpiezas se utilizan ácidos con gran capacidad para disolver metales como el  $\text{HCl}$ ,  $\text{NO}_3\text{H}$  o combinaciones del tipo  $\text{HCl}+\text{H}_2\text{O}$  y  $\text{NH}_4\text{OH}+\text{H}_2\text{O}_2$ .
- Decapado, se realiza por inmersión de las obleas en una disolución acuosa de  $\text{NaOH}$ , al 30 % y caliente (90 °C). El objetivo es la eliminación de las tensiones, irregularidades y defectos de la superficie debidos a los procesos de corte de la oblea, eliminando unas micras de material. Con ello se mejoran los tiempos de vida de los portadores de la región de emisor próximo a la superficie y se favorecen tratamientos posteriores con la texturización y la metalizaciones que requiere lisas.
- Texturización, consiste en crear en la superficie un micro pirámides que consiguen reducir las pérdidas por reflexión del 30 % al 10 % haciendo que se produzca una segunda absorción de la luz reflejada. La formación de las micro pirámides se consigue atacando la superficie de las obleas, cristalizadas en una orientación ( 100 ), con una disolución acuosa de  $\text{NaOH}$  o de  $\text{KOH}$  al 2 %, dejando al descubierto los platos cristalográficos ( 111 ). Este proceso no es aplicable a las obleas de silicio multicristalino ya que no poseen una orientación definida. En estos casos las pérdidas por reflexión se reducen mediante capas

- antireflexivas. Los efectos de la texturización son dobles. Por un lado se reducen las pérdidas por reflexión por incidencia múltiple y además aumenta el camino óptico de la luz en el interior del material, incentivando la fotogeneración cerca de la unión p-n y aumentando el rendimiento cuántico.
- Limpieza completa a la formación de la unión p-n, consiste en la eliminación del óxido superficial ( $\text{SiO}_2$ ), resultante de los anteriores procesos mediante la inmersión en HF diluido, posterior aclarado con agua desionizada y un secado rápido final.
  - Pre deposición de dopante, las obleas de partida suele ser de tipo p (dopadas por boro). La unión p-n se hace por difusión de dopante tipo n (normalmente fósforo) en la cara frontal de la oblea. Previamente a la difusión el dopante tipo n ha de ser depositado en la superficie de la oblea. Se utilizan varios métodos como: serigrafía, centrifugación por fuente sólida, por fuente líquida o por fuente gaseosa.
  - Formación de la unión p-n por difusión, consiste en la introducción del dopante tipo n, pre depositado, substituyendo átomos de silicio en el interior de la red. Para ello se introducen en hornos (de cinta o de cuarzo) a alta temperatura (900 a 1000 ° C). Los productos químicos empleados como fuente primaria de fósforo son: el Oxiclورو de Fósforo, Pentóxido de fósforo y fosfina.
  - Limpieza de los restos de la difusión, cuyo proceso depende de la tecnología usada en la formación de la unión y suele constar de una batería de baños químicos con diversos ácidos (HF, HCl).
  - Formación del contacto metálico posterior, deposición de metal realizada mediante serigrafía.
  - Formación del contacto metálico frontal, similar al anterior pero en este caso la disposición de los dedos de contacto es determinante en el rendimiento final, estableciendo un compromiso entre el paso de la luz y la superficie necesaria para disminuir la resistencia serie.
  - Aislamiento de las zonas n y p, consiste en preparar los bordes de las células resultantes de los procesos anteriores, mediante ataques químicos o cortes con sierra o láser, para que el emisor y la base no estén conectados eléctricamente debido a que el dopante de la cara frontal también se difunde por los bordes.
  - Disposición de la capa antireflexiva, consiste en la deposición de una capa fina de un material transparente con índice refracción óptimo  $n = 2,3 = (1,5 \times 3,6)^{1/2}$  para adaptar los índices de refracción del silicio ( $n = 3,6$ , como valor promedio) y el vidrio ( $n = 1,5$ ). Además el índice de refracción de los materiales encapsulantes entre la capa anti reflexiva y el vidrio ha de ser  $n = 1,5$ . El espesor de la capa se elige igual a  $\lambda/4$  para producir un cero de reflexión a la longitud de onda, por sumarse aún la superficie de la capa de onda incidente y la reflejada en la oposición de la fase. Esta se elige en función de la respuesta espectral de la célula y del espectro solar maximizando la absorción de fotones, suele tomarse  $\lambda/4 = 0,6$  micrómetros, con el objeto de minimizar la reflexión a una longitud de onda de 0,6 micrómetros, que coincide con el máximo del espectro solar. A otras longitudes de onda la reflexión se incrementa, no siendo superior al 20-30 %, para cualquier longitud de onda. Se utilizan materiales con el SiO,  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{SiN}_4$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{TiO}_2$ , SiN/Si,  $\text{F}_2\text{Mg}$  / SZn/ Si. El silicio pulido tiene coeficientes de reflexión entre el 33% y el 54% en el rango

espectral de interés (0,35 micrómetros-1,1 micrómetros). Una capa reflexiva disminuye esta reflexión en promedio al 10% y dos pueden reducir al 3%. La combinación de capas anti reflexivas con procesos de texturado (formación de micro pirámides) reducen las pérdidas de reflexión al 3 % y al 0,7 % con y dos capas respectivamente.

- Campo superficial posterior, consiste en la formación de una unión p-p+ en la parte posterior para formar un campo eléctrico que disminuye la recombinación de portadores minoritarios en la superficie posterior.



- Pasivación con hidrógeno, utilizado en células multicristalinas consiste en la neutralización con hidrógeno de gran cantidad de defectos y dislocaciones (niveles adicionales en el gap), aumentando el tiempo de vida de los portadores minoritarios.

Con el objetivo de aumentar el rendimiento de las células, a lo largo de la historia han ido mejorando o proponiendo nuevos dispositivos de diseño avanzado como las células de emisor profundo, células de contactos enterrados, células de emisor y contacto posterior pasivados, células de contactos posteriores puntuales. Mientras que el rendimiento de células de laboratorio esta en el rango del 18% al 23%, el rendimiento de modulo se sitúa entre el 12-16,5%.

Las células tienen un espesor entre 100-500 micrómetros. Aunque 100 micrómetros son suficientes para una célula con buena absorción de la luz y pasivación de la superficie posterior, se utilizan espesores mayores debido en parte a motivos de facilidad de manipulación en proceso de fabricación, disminuyendo el índice de roturas. De hecho se pueden fabricar células con rendimiento del 12% con espesores de célula de 50 micrómetros.



Silicio policristalino



silicio monocristalino

#### El proceso de montaje de paneles consta de las siguientes operaciones

- Soldadura de tiras de cobre en la parte delantera de la célula.
- Soldadura de tiras de cobre en parte trasera de la célula y formación de tiras.
- Colocación de EVA y tédlar, tiras de células, soldadura de buses. Prelaminado.
- Laminado de panel.
- Recorte de rebabas, enmarcado y colocación de caja de conexiones.
- Control final mediante simulador solar.

### **5. PROCESO DE FABRICACIÓN DE PANELES SOLARES.**

#### **Antecedentes y objeto**

Más del 90% de la producción de generadores fotovoltaicos en el año 2004 fue realizada con silicio cristalino. El silicio cristalino como materia prima es por tanto clave para determinar el volumen y precio de los módulos fotovoltaicos.

El silicio es el elemento, tras el oxígeno, más abundante y distribuido por nuestro planeta, pero no se encuentra aislado sino combinado con oxígeno. El silicio para uso industrial parte de la cuarcita que es en un 90% óxido de silicio  $\text{SiO}_2$ .

La rápida producción actual de poli silicio probablemente generará un sobre suministro en los próximos años, lo cual impulsará a los fabricantes de poli silicio hacia procesos innovadores y reducir los costes de operación para prepararse ante una oleada de nueva demanda. La drástica caída de los precios experimentada en 2009 continúa a menor ritmo, y los productores de poli silicio se están orientando para suministrar producto de alta pureza a un mercado cada vez más dominado por las células solares fotovoltaicas.

El mercado del silicio para aplicaciones fotovoltaicas se ha disparado en la última década. En 2000, la demanda de silicio solar era de unas 3,800 toneladas métricas, un total que creció hasta 42,000 en 2008. Las previsiones apuntan a que la industria de semiconductores crezca alrededor del 5 – 9 % anual en los próximos años, y el

crecimiento del mercado solar puede tener un crecimiento que exceda el 40 % anual durante múltiples años, aunque la trayectoria es incierta.

No obstante, el incremento en la capacidad de producción fotovoltaica ha provocado un aumento en la producción de poli silicio.

### **Caídas de precios**

Los cambios en la industria de energía solar y la rápida producción han impactado en los precios significativamente. Los precios de silicio puro se elevaron intensamente en 2007 y 2008 debido a la escasez de material – en 2008, los precios del poli silicio estaban por encima de \$400/kg. Los precios cayeron a plomo en 2009, llegando a \$50 – 55/kg en promedio a final de año. Los precios se espera continúen cayendo los próximos tres años, aunque no con la intensidad de 2009. A finales de 2012, algunos observadores apuntan por unos precios que estarían alrededor de \$40/kg.

La expansión de la capacidad de producción probablemente provoque un sobre suministro en los próximos años, aunque las cosas pueden cambiar si la energía fotovoltaica tiene éxito en convertirse en una alternativa viable a la energía convencional derivada. Dependiendo de una serie de factores, la paridad con la red para la energía solar puede alcanzarse con costes de producción de alrededor de \$0.15/kWh.

Parece haber pocas dudas de que la producción de poli silicio dominará el mercado en los próximos años.

### **Obtención del silicio metalúrgico**

El silicio se separa de la cuarcita en un proceso metalúrgico de reducción, introduciéndola en hornos de arco eléctrico junto al carbón para romper los enlaces entre el silicio y el oxígeno.

El silicio es actualmente el material más comúnmente usado para la fabricación de células fotovoltaicas. Se obtiene por reducción de la sílice, compuesto abundante en la corteza de la Tierra, en particular en la arena o el cuarzo. Las etapas requeridas para fabricar un panel son básicamente las que se describen a continuación:

1. Obtención del silicio grado metalúrgico (98%): obtenido de pedazos de piedras de cuarzo provenientes de un filón mineral. Consiste en la reducción carbotérmica (1400°C - 1500°C) del dióxido de silicio y carbón de coque en horno de arco eléctrico, dando lugar a la liberación de monóxido de carbono.



2. Obtención del silicio grado semiconductor (99,99%): El silicio de calidad fotovoltaica debe ser purificado hasta alcanzar más de 99,999%, que se obtiene mediante la conversión del silicio en un compuesto químico que se destila y luego vuelve a transformarse en silicio. Uno de los procesos más utilizados para su obtención es la reducción con hidrógeno del triclorosilano obtenido a partir de la reacción del silicio grado metalúrgico con ácido clorhídrico, conocido como Método Siemens. Durante este proceso se libera cloro, cloruro de fósforo y de níquel.

El silicio se produce en barras llamadas «lingotes» de sección redonda o cuadrada. Estos lingotes son luego cortados en láminas delgadas cuadradas que se llaman «obleas». Después se realiza el dopado y obtener así los semiconductores de silicio tipo P o N.

3. Fabricación de las celdas fotovoltaicas: en primer lugar se obtiene el lingote de silicio monocristalino (Método Czochralski), a partir del cual se cortan las obleas y pulen o decapan químicamente. Posteriormente, se les forma la juntura PN, utilizando boro y fósforo, se les efectúa un tratamiento antirreflectante, y se realiza la metalización y sinterizado de las mismas.

4. Armado del panel fotovoltaico: En primer lugar se coloca una cubierta de vidrio templado de bajo contenido de hierro en la cara que mira al sol, y en la cara posterior, una lámina plástica multicapa resistente a la acción mecánica, opaca y de color claro para reflejar la luz. Al conjunto ensamblado se le realiza un posterior laminado y curado para lograr la perfecta adhesión de los distintos componentes y obtener así una sola pieza. Finalmente, se enmarca con perfiles de aluminio anodizado provistos de las perforaciones necesarias para su montaje, y se colocan las conexiones eléctricas externas.

La producción de células fotovoltaicas requiere energía, y se estima que un módulo fotovoltaico debe trabajar alrededor de 2 a 3 años según su tecnología para producir la energía que fue necesaria para su producción.

#### Fabricación del vidrio templado plano de bajo contenido de hierro

El vidrio templado plano utilizado en el armado de los paneles es de bajo contenido de hierro, lo cual le confiere una excelente captabilidad de los rayos ultravioleta e infrarrojos, resistencia a las altas temperaturas y capacidad de operar bajo condiciones climáticas extremas.

El proceso de fabricación puede resumirse en las siguientes etapas:

- *Cribado*: pesada y dosificación de las materias primas (carbonato de sodio, carbonato de calcio, carbonato de magnesio, agua y dióxido de silicio) que se reciben ya purificadas.
- *Secado*: la mezcla se seca mediante el empleo de una corriente de aire seco.
- *Mezclado*: las materias primas son homogeneizadas en una mezcladora cerrada.
- *Fusión*: los componentes sólidos son llevados al estado vítreo dentro de hornos de cuba en los que se emplea como combustible gas natural.
- *Templado y estirado*: el vidrio obtenido se enfría lentamente hasta la temperatura ambiente mediante un sistema de refrigeración con agua y ventilación. El estirado se hace en conjunto al templado, empleándose para ello un máquina de estiraje compuesta por rodillos por la que se desplaza la masa vítrea.
- *Recocido*: las láminas son introducidas a un horno de recocido en la que se le aplica un nuevo salto térmico y posteriormente un brusco enfriamiento a fin de extraerle todas las tensiones superficiales.
- *Acabado*: las láminas son pulidas con arena para el esmerilado grueso, y luego con materiales más blandos como el óxido de selenio para el esmerilado fino.
- *Corte*: esta operación se realiza en mesa provistas con herramientas diamantadas que marcan la superficie de corte sobre la que después se realiza un esfuerzo de tracción, consiguiendo que la fisura se propague en el espesor.

#### Fabricación de los perfiles de aluminio anodizado

Las etapas requeridas para fabricar los perfiles de aluminio anodizado utilizados en la confección de los paneles son básicamente las que se describen a continuación:

##### 1. *Obtención de la alúmina grado metalúrgico (Proceso Bayer):*

La alúmina se obtiene a partir de la bauxita molida y luego tratada con una solución concentrada de hidróxido de sodio (NaOH) 25% (200 - 240°C y hasta 30 atm), formando aluminato de sodio (NaAlO<sub>2</sub>). En una etapa posterior, la solución es enfriada y diluida con agua con lo que se logra descomponer el aluminato de sodio en alúmina hidratada, compuesto insoluble que se separa en la etapa denominada precipitación, y luego es filtrada y lavada. La solución de NaOH restante es concentrada y reintroducida en el proceso. Finalmente, la alúmina hidratada es calentada por encima de los 1000°C (calcinación) eliminándose el agua. La alúmina obtenida es un polvo fino y blanco, generalmente es de alta pureza, con pequeñas cantidades de óxidos de silicio, sodio, calcio, etc.

##### 2. *Obtención del aluminio anodizado (Proceso Hall Heroult)*

Consiste en la electrólisis de la alúmina grado metalúrgico, utilizándose celdas con ánodos de carbón grafito. Las celdas electrolíticas son contenedores de acero en forma de caja. Dentro de cada una de ellas hay un compartimento catódico recubierto con una mezcla apisonada de brea y carbón de antracita o coque de elevada pureza para evitar la contaminación del metal producido. Dentro de la cuba de electrólisis están contenidos en estado líquido, un depósito de aluminio y una mezcla de alúmina, criolita (Na<sub>3</sub>AlF<sub>6</sub>) y otros componentes, a los que se denomina baño electrolítico. La criolita no participa en forma directa en la reacción, sólo ofrece un medio apropiado para que la reacción se pueda llevar a cabo a nivel industrial. Dado que la temperatura de operación varía entre 950 y 965°C, el aluminio, cuyo punto de fusión es 660°C, permanece en estado líquido. Durante la electrólisis se desprenden CO, CO<sub>2</sub> y gases que resultan de la descomposición de los fluoruros. El baño electrolítico que se genera no constituye un residuo sino un subproducto porque puede ser empleado nuevamente para nuevas cubas o vendido. Los ánodos (trozos de carbón limpios) se retiran de las celdas antes de completar su consumo total (con un 25% del tamaño del ánodo original) y son molidos y mezclados con el coque para fabricar un nuevo ánodo, de manera que todo el carbón es reciclado.

### 3. Confección de los perfiles

#### **Proceso Siemens**

Las compañías de silicio de alta pureza están explorando mejoras en el proceso de fabricación principalmente por dos aproximaciones, de deposición de vapor químico, una aproximación de producción establecida conocida como proceso Siemens, y un esquema de fabricación basado en reactores de lecho fluidizado (FB). Parece probable que versiones mejoradas de los dos tipos de procesos estén en la industria de producción de poli silicio en un futuro próximo.

El reactor Siemens se desarrolló a finales de los 50 y ha sido la ruta histórica de producción dominante. En 2009, alrededor del 80 % del poli silicio fabricado se hizo a través del proceso de tipo Siemens. La aproximación Siemens implica la deposición del silicio de una mezcla de triclorosilano purificado o gas silano, además del exceso de hidrógeno, en filamentos en forma de horquilla de cristales de poli silicio de alta pureza. El crecimiento del silicio ocurre en el interior de un "recinto campana", que contiene los gases. Los filamentos, que se parecen a un circuito eléctrico en serie, se calientan a la temperatura de deposición del vapor por una corriente directa externa. Cuando los gases entran en el recinto campana, las altas temperaturas (1100 – 1175 °C) en la superficie de los filamentos de semilla de silicio, con la ayuda de hidrógeno, originan que el triclorosilano reduzca a silicio elemental y se deposite como una película de capa delgada en los filamentos de semilla calientes.

El control de la temperatura es crítico para el proceso – la temperatura del gas y los filamentos deben ser lo bastante altas como para que el silicio del gas se deposite en la superficie sólida del filamento, pero la temperatura no puede ser demasiado alta porque el filamento comenzaría a fundirse. Además, la tasa de deposición no debe ser demasiado rápida, ya que el silicio no se depositaría uniformemente, de forma policristalina.

#### **Proceso de lecho fluidizado**

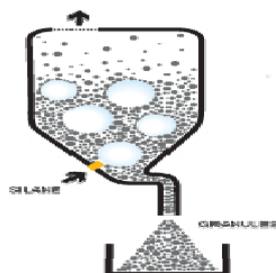
Los materiales y procesos de fabricación son objeto de programas de investigación ambiciosos para reducir el costo y el reciclado de las células fotovoltaicas. Las tecnologías de película delgada sobre sustratos sin marcar recibió la aceptación de la industria más moderna. En 2006 y 2007, el crecimiento de la producción mundial de paneles solares se ha visto obstaculizado por la falta de células de silicio y los precios no han caído tanto como se esperaba. La industria busca reducir la cantidad de silicio utilizado. Las células monocristalinas han pasado de 300 micras de espesor a 200 y se piensa que llegarán rápidamente a las 180 y 150 micras, reduciendo la cantidad de silicio y la energía requerida, así como también el precio.

Varias compañías están desarrollando procesos de producción de poli silicio basados en reactores de lecho fluidizado. La aproximación FB para la producción de poli silicio tiene sus orígenes en un programa de los años 80 financiado por el U.S. Department of Energy, cuyo propósito era idear métodos menos intensivos en consumo energético para producir silicio. La aproximación FB para la producción de silicio ofrece la capacidad para producción continua, en oposición a la producción por lotes de la ruta Siemens. Además, los reactores de poli silicio FB consumen menos energía. Este proceso puede consumir solamente el 10 % de energía requerido para hacer funcionar el proceso Siemens.

En un proceso FB, tetrahidrosilano o triclorosilano y gases de hidrógeno son continuamente introducidos en el fondo del reactor a temperaturas y presiones moderadamente elevadas. Las partículas de silicio de alta pureza se insertan desde la parte superior y quedan suspendidas por el flujo ascendente de los gases. Cuando el reactor opera a altas temperaturas (750 °C), el gas silano reduce a silicio elemental, que se deposita en la superficie de las partículas de semilla. Cuando los cristales de semilla crecen, caen en el fondo del reactor, de donde se extraen continuamente. Para compensar la retirada de gránulos de silicio, se inyectan nuevos cristales en la parte superior del reactor.

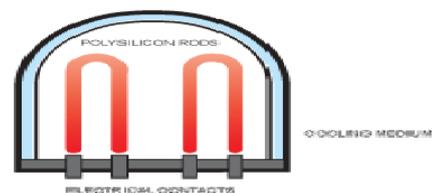
Esta tecnología va a producir silicio de calidad solar a un coste significativamente más bajo que el tradicional proceso Siemens. El ahorro de energía en el proceso de refinado del silicio es de aproximadamente un 80-90 por ciento. REC está ahora en las etapas finales de la aplicación de la tecnología LF en nuestra planta de Moses Lake, en Washington, EE.UU.

### FBR



- Producción continua
- Eficiencia energética

### Siemens



- Proceso por lotes
- Mayor consumo energético

### Reducción del consumo energético

El proceso FBR es más eficiente por varias razones. En primer lugar, no se derrocha energía poniendo gas caliente y silicio en contacto con superficies frías. En segundo lugar, produce más silicio por metro cúbico del reactor, debido a que los cristales de

silicio tienen más superficie que las barras utilizadas en el proceso Siemens. Y, finalmente, se realiza un proceso continuo en lugar de por lotes, de modo que hay menos pérdida de tiempo por inactividad o configuración.

### **Proceso New feedstock for FB**

Una compañía en proceso de desarrollo, llamada Peak Sun Silicon Crop. Está trabajando en un proceso FB basado en tribromosilano (TBS) como materia prima, en vez de silano o triclorosilano. La inclusión de átomos de bromuro masivamente como materia prima ofrece varias ventajas clave. Se consigue una tolerancia más amplia de temperaturas y presiones que el estricto control que debe ejercerse en otros procesos. El proceso TBS también opera a temperaturas inferiores, lo cual permite ahorrar energía.

FB también ayuda a eludir la formación de polvo de silicio amorfo a través de una ruta de nucleación homogénea, un desafío significativo encontrado por las operaciones del reactor de silicio que usan silano o tricloro silano como gas de alimentación.

### **Tecnología UGM**

Otra aproximación tecnológica a la producción de polisilicio que parece estar menguando es el silicio de grado metalúrgico actualizado (UMG). UMG se produce fundiendo silicio de grado metalúrgico y recristalizándolo lentamente y direccionalmente. Esta aproximación ofrecería una ruta menos cara para obtener el material pero no será viable en ambientes donde los métodos de alta pureza son competitivos en costes.

### **Comparación de las células**

#### ***Células de silicio amorfo***

El silicio durante su transformación, produce un gas que se proyecta sobre una lámina de vidrio. La celda es gris muy oscuro.

Ventajas:

- Funciona con una luz difusa baja (incluso en días nublados)
- Un poco menos costosa que otras tecnologías
- Integración sobre soporte flexible o rígido
- Inconvenientes:
  - Rendimiento a pleno sol bajo, del 5% al 7%
  - Rendimiento decreciente con el tiempo (~7%).

***Célula de silicio monocristalino***

Al enfriarse, el silicio fundido se solidifica formando solo un único cristal de grandes dimensiones. Luego se corta el cristal en delgadas capas que dan lugar a las células. Estas células generalmente son un azul uniforme.

- Ventajas:
  - Buen rendimiento de 14% al 16%,
  - Número de fabricantes elevado.
- Inconvenientes:
  - Coste elevado

***Células de silicio multicristalino***

Durante el enfriamiento de silicio en un molde se forman varios cristales. La fotocélula es de aspecto azulado, pero no es uniforme, se distinguen diferentes colores creados por los diferentes cristales.

- Ventajas:
  - Células cuadradas (con bordes redondeados en el caso de Si monocristalino) que permite un mejor funcionamiento en un módulo,
  - Lingote más barato de producir que el monocristalino.
- Inconveniente
  - Bajo rendimiento en condiciones de iluminación baja.

***Célula Tándem***

Apilamiento monolítico de dos células individuales. Mediante la combinación de dos células que absorben en el espectro al mismo tiempo se solapan, mejorando el rendimiento en comparación con las células individuales separadas, sean amorfas, cristalinas o microcristalinas.

- Ventajas
  - Alta sensibilidad en un amplio rango de longitudes de onda. Excelente rendimiento.
- Desventaja

- El costo es alto debido a la superposición de dos células.

### ***Célula multiunión***

Estas células tienen una alta eficiencia y han sido desarrolladas para aplicaciones espaciales. Las células multiunión están compuestas de varias capas delgadas usando la epitaxia por haz molecular.

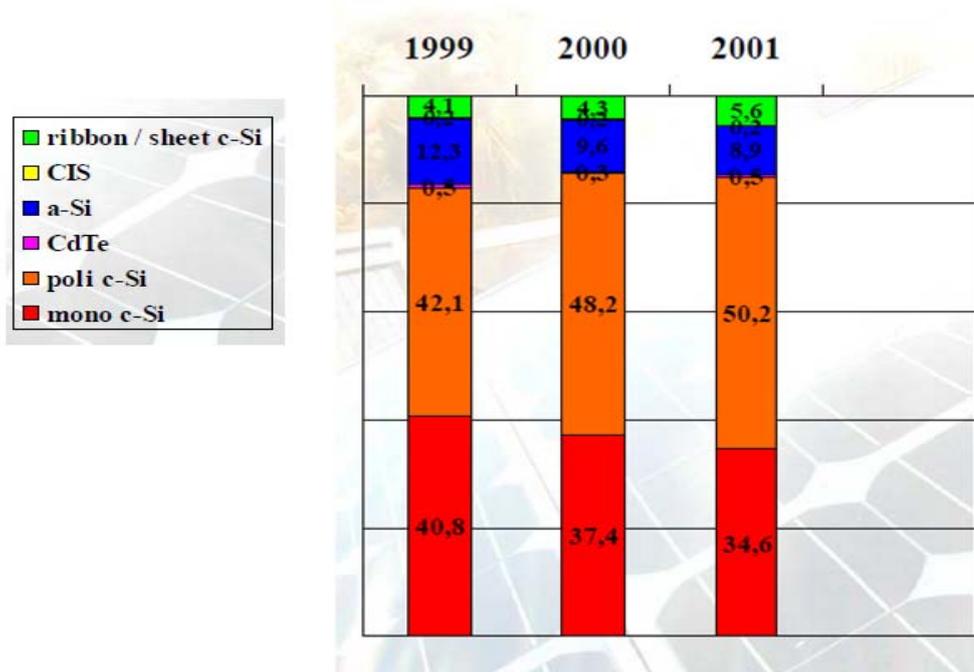
Una célula de triple unión, por ejemplo, se compone de semiconductores GaAs, Ge y GaInP2.

### **Tecnologías comerciales**

Las tecnologías comerciales de células fotovoltaicas son principalmente 6, que ordenadas de mayor a menor en volumen mundial:

- Silicio Policristalino, 50,2%.
- Silicio Monocristalino, 34,6%.
- Silicio Amorfo, 8,9%.
- Cinta o lámina de Silicio Cristalino, 5,6%.
- Teluro de Cádmió (CdTe), 0,5%.
- CIS, 0,2%.

Se observa un claro descenso de la tecnología monocristalina a favor de la policristalina. El principal motivo es la independencia de la tecnología policristalina de otras industrias.



En su análisis, EPIC muestra que la producción de módulos fotovoltaicos alcanzará niveles récord en 2010 y nuevamente en 2011, con Si cristalino y CdTe thin-film de la cabeza.

### Proceso de fabricación del módulo fotovoltaico de capa fina silicio amorfo.

Los módulos fotovoltaicos **a-Si** son producidos aplicando una tecnología de fabricación basada en la deposición plasmática, que ha sido desarrollada por la empresa suiza Oerlikon.

### ESTRUCTURA DEL PANEL

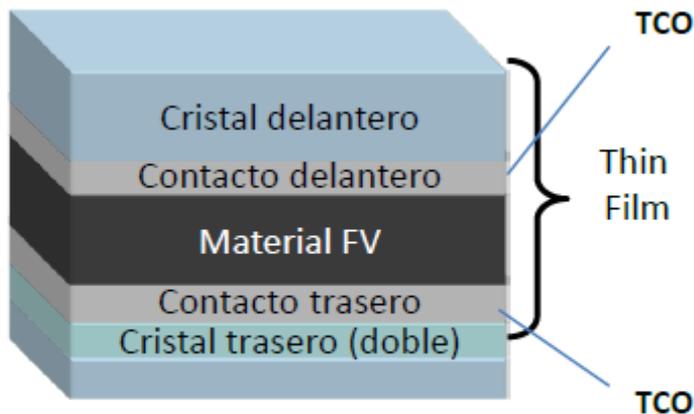
**Cristal delantero** (Vidrio flotante 3,0 –3,3 mm)

**Contacto TCO** (Óxido Transparente Conductor)

**Tipo de célula (material FV)** Unión simple a-Si

**Encapsulado** (Polivinil de Butiral(PVB))

**Cristal trasero** (Vidrio templado de 3,2 mm)



### Fases de fabricación



El TCO se utiliza como capa conductora entre las células solares. La deposición de la capa de TCO se realiza utilizando tecnología Oerlikon LPVCD patentada:

### PECVD (depósito del silicio)

Válido para amorfo & micromorfo.

Producción en un único paso, dopado de capas p y n (mejora la producción de energía eléctrica).

## Grabado laser

Sistema de grabado por laser con una excelente linealidad y grabado en líneas finas, aumentando la potencia debido a la reducción del área grabada.

## Proceso de Fabricación de Células Cristalinas a partir de los wafers

La Sociedad ha diseñado su línea de producción de células solares de forma que pueda aceptar wafers (capa delgada de material semiconductor de silicio), tanto monocristalinos como policristalinos de alta productividad que alcancen una eficiencia mínima del 15% en condiciones de prueba estándar. La producción de células solares es una de las actividades tecnológicamente más complejas dentro de la cadena de valor fotovoltaica.

A continuación se resumen los pasos más importantes del proceso de fabricación de las células fotovoltaicas:

- **Comprobaciones de calidad previas a la producción.** Comprobaciones previas sobre todos los wafers obtenidos de terceros proveedores. La calidad de los wafers es un factor clave del rendimiento de las células y aquellos dañados o defectuosos se retirarán antes de su utilización en la línea de producción.
- **Texturizado.** Cada wafer se someterá a un proceso químico denominado 'texturizado', en el que los wafers se limpian, graban y aclaran. Una vez finalizado el tratamiento superficial, se secan utilizando aire caliente.
- **Unión p-n.** Este proceso, que se denomina a menudo "dopado", crea dos capas separadas dentro de cada wafer: una capa con carga negativa y otra capa con carga positiva debajo de ella. Este campo positivo-negativo es el que permite a la célula solar generar electricidad cuando se expone a la luz del sol.
- **Eliminación de los bordes del vidrio de silicio con fósforo.** Con el fin de obtener una separación limpia de las capas negativa y positiva, los bordes de los wafers se aíslan utilizando una técnica de grabación por plasma.
- **Revestimiento de nitrato de silicio.** Con objeto de que las células capturen la mayor cantidad de incidencia solar posible, se les aplica un revestimiento antirreflectivo de nitrato de silicio, reduciendo los índices de reflexión. A continuación se utilizan cámaras para comprobar la homogeneidad del color de las células revestidas.
- **Serigrafiado de cara trasera.**
- **Secado en horno de infrarrojos de cinta.**
- **Serigrafiado de pasta de plata en cara delantera.**
- **Secado de pasta en horno de infrarrojos de cinta.**
- **Contactos.** Para capturar la energía eléctrica creada por una célula solar, se fijan capas de contactos eléctricos para permitir que la corriente eléctrica fluya hacia el interior y hacia el exterior de la célula.
- **Clasificación.** A continuación se utiliza un simulador solar para probar los niveles de producción eléctrica y eficiencia de cada célula terminada y después, las células se clasifican con arreglo a los resultados y criterios ópticos. Las células se prueban tanto en condiciones de luminosidad estándar como de baja luminosidad.

En resumen el proceso de montaje de paneles consta de las siguientes operaciones

- Soldadura de tiras de material conductor (cobre) en la parte delantera de la célula.
- Soldadura de tiras de material conductor en parte trasera de la célula y formación de tiras.
- Colocación de EVA y tedlar, tiras de células, soldadura de buses.
- Laminado de panel.
- Recorte de rebabas, enmarcado y colocación de caja de conexiones.

- Control final mediante simulador solar.

### Empresas fabricantes

**C Wafers** fabrica obleas de Silicio multicristalino de gran calidad, de distintos tamaños y espesores en función de las necesidades de sus clientes.

La capacidad de producción de **DC Wafers** sigue el siguiente plan de expansión:

Año	2009	2010	2011 / 2012
Millones de obleas	8	13	80
Espesor (micras)	200	200	180

**DC Wafers** es capaz de fabricar obleas según las especificaciones de los clientes.

Actualmente **DC Wafers** está desarrollando el proyecto de ampliación de sus instalaciones hasta alcanzar los 90 MW de producción.

**DC Wafers** es la primera empresa española dedicada a la fabricación de obleas de Silicio multicristalinas. Tiene su sede central en el municipio de Villaturiel y emplea a 150 personas. Tiene una producción anual de 13 millones de obleas multicristalinas de un espesor de 200 micras, preveyendo un aumento de la producción para 2011, tras la construcción de una segunda fábrica, a 80 millones de obleas multicristalinas con un espesor de 180 micras.

## 6. RECICLADO DE PANELES SOLARES.

Hoy en día, los paneles solares fotovoltaicos basados en celdas de silicio monocristalinas representan más del 30% de los existentes en el mercado. De esta forma, en este punto se hablará sobre el reciclaje integral de paneles solares basados en silicio cristalino.

Para justificar la necesidad de reciclar estos paneles se tienen una serie de razones que se citan a continuación:

- Reducir el vertido de los paneles fotovoltaicos fuera de uso, evitando la consiguiente pérdida de materiales potencialmente reutilizables y favoreciendo el cierre de su ciclo de vida.
- Obtener un beneficio económico y medio ambiental derivado de la reutilización de los materiales contenidos.
- Desarrollar tecnologías y nuevos diseños de paneles solares que aseguren la viabilidad económica del reciclado, promoviendo el desarrollo sostenible.
- Adelantarse a las posibles modificaciones en materia de legislación.
- Lograr un posicionamiento tecnológico ventajoso por parte de la empresa en materia de reciclado de paneles fotovoltaicos.

Y entre los objetivos principales que se persiguen están los siguientes:

- Estudiar y evaluar las posibilidades de reciclado, reutilización y/o valorización de los paneles solares.
- Definir los requerimientos de diseño necesarios para mejorar la reutilización de los componentes y su reciclabilidad.
- Aplicación de materiales inteligentes o sistemas activos al diseño de los paneles solares de cara a definir un proceso de reciclado basado en operaciones de desensamblado automático.

Actualmente no existe legislación europea que considere específicamente el tratamiento de los paneles solares al final de su vida útil. En el artículo 13 (Adaptación al progreso científico y técnico) de la **Directiva 2002/96/CE** referente a los Residuos procedentes de Aparatos Eléctricos y Electrónicos (RAEE), se contempla la posibilidad de realizar futuras modificaciones para incluir nuevos residuos, citándose en particular los fotovoltaicos.

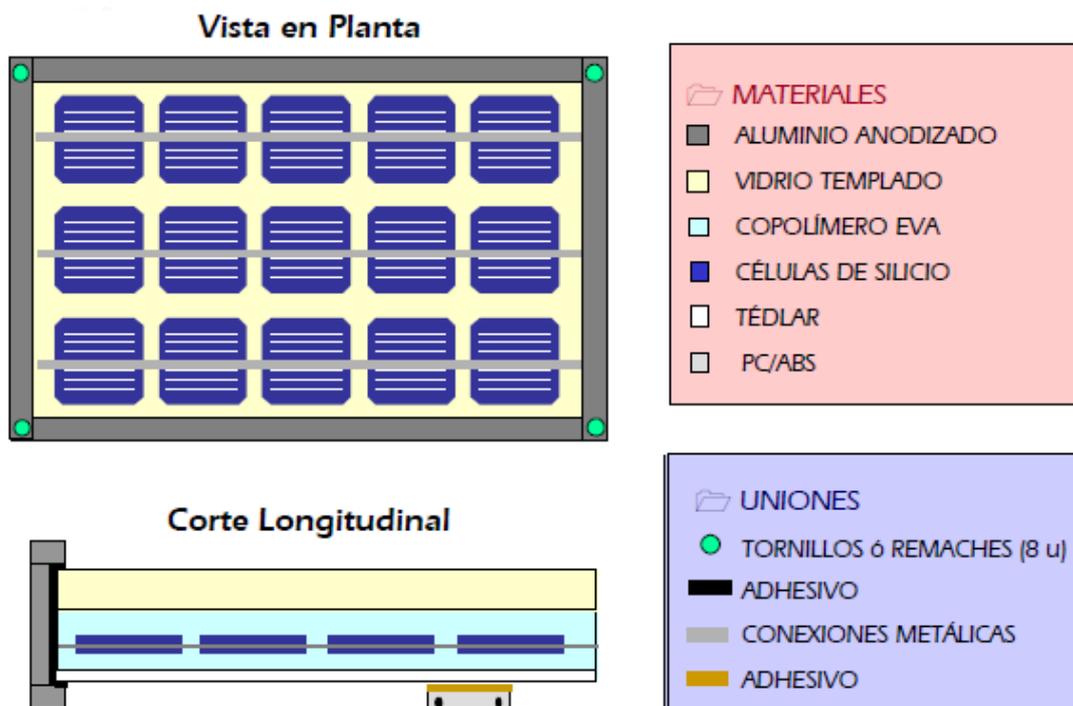
También existen diversas iniciativas de reciclado de paneles solares fuera de uso y residuos de fabricación, destacando las realizadas en Alemania.

Como se ha dicho al comienzo del punto, hoy en día los paneles solares más comúnmente fabricados son los basados en silicio dopado con fósforo y boro, y dentro del silicio se puede encontrar el monocristalino, el policristalino y el amorfo, siendo el monocristalino el que representa más del 30% del mercado.



*Panel solar de silicio monocristalino*

A continuación se muestran unas vistas de los principales materiales y elementos que componen un panel fotovoltaico.



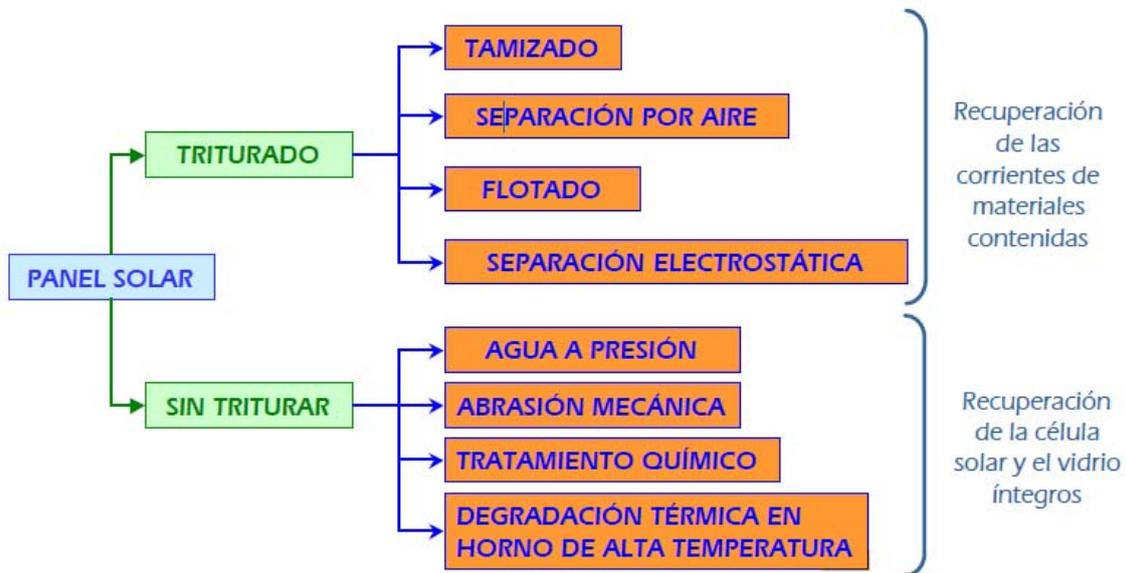
### **Materiales recuperables**

Las operaciones de acondicionamiento y separación se han orientado principalmente a la recuperación de las siguientes fracciones de materiales:

- Células solares de silicio.
- Vidrio.
- Aluminio de los marcos.

De estos materiales se espera principalmente la recuperación y fabricación de nuevos paneles solares, y en menor medida la recuperación y reciclado con destino a aplicaciones secundarias inferiores a las de partida.

En el siguiente esquema se pueden apreciar las principales tecnologías ensayadas para el reciclado de paneles solares:



### Métodos mecánicos de separación

El objetivo es lograr la separación de los materiales contenidos en los paneles solares en función de su diferente densidad, tamaño y propiedades electrostáticas. Las técnicas utilizadas son el tamizado, la separación por aire y la separación electrostática.

- Tamizado: es un método físico para separar mezclas. Consiste en hacer pasar una mezcla de partículas sólidas de diferentes tamaños por un tamiz o colador. Las partículas de menor tamaño pasan por los poros del tamiz atravesándolo y las grandes quedan retenidas por el mismo.



TAMIZADO

- Separación por aire: en los sistemas de flotación por aireación, las burbujas de aire se introducen directamente en la fase líquida por medio de difusores o turbinas sumergidas. La aireación directa durante cortos periodos de tiempo no es especialmente efectiva a la hora de conseguir que los sólidos floten.



- Separación electrostática: La separación electrostática es un método de separación basado en la diferente atracción o repulsión de partículas cargadas bajo la influencia de un campo eléctrico. La aplicación de una carga electrostática a las partículas es un paso necesario antes de que su separación pueda tener lugar.



### **Métodos químicos**

El objetivo de estos ensayos consiste en estudiar la posibilidad técnica de atacar químicamente la capa de EVA con el objeto de recuperar la célula solar íntegramente.

De todos los disolventes ensayados el tricloroetileno y el ácido nítrico son los que han mostrado una mayor capacidad de atacar químicamente al EVA. Sin embargo, sería necesario determinar la pérdida de propiedades del resto de los componentes.

También se comprobó que tiempos de ensayo largos provocan que el EVA, en contacto con los disolventes, se hinche provocando la rotura inmediata de la célula solar. Por lo tanto, el tratamiento químico no se considera viable técnicamente. Además, es necesario implantar un sistema de gestión de depuración de gases específico.

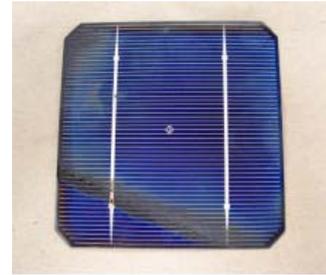
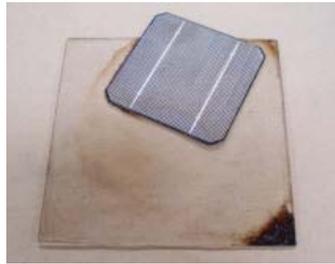
### **Degradación térmica**

Los polímeros se degradan al ser calentados y al ser expuestos al oxígeno. En este caso se produce una descomposición térmica de la capa de EVA con objeto de recuperar el vidrio y la célula solar íntegros. Las conclusiones de la degradación son:

- Tratando los paneles solares en un horno a alta temperatura es posible la recuperación del vidrio, los metales y la célula solar contenidos.
- La recuperación íntegra de las células solares solo será posible en el caso de utilizar un horno de alta temperatura que permita trabajar en atmósfera inerte:
  - En una atmósfera de oxígeno se favorece la combustión del EVA (reacción exotérmica, poco controlable) con el consecuente incremento de la temperatura y la degradación incontrolada del EVA, lo que provoca la rotura de la célula.
- Es necesario utilizar un gradiente de temperatura de forma que la degradación del EVA sea gradual y uniforme con el fin de que la célula no se vea afectada. Este hecho hace que sea necesario la utilización de un horno de convección o bien, un lecho de arena fluidizada, evitando fuentes de calentamiento que irradian directamente la muestra.
- En el caso de emplear la degradación térmica con paneles solares completos, será necesario utilizar un horno que disponga de tratamiento específico de los gases tóxicos (principalmente, ácido fluorhídrico) emitidos por el Tédlar.
- Es necesario optimizar las condiciones de temperatura para el tratamiento de los paneles solares con el fin de definir el porcentaje de células solares recuperables íntegramente siguiendo el proceso definido.
- Se ha comprobado que es posible la recuperación íntegra de las células solares que se hayan recubierto previamente de un material flexible, como la silicona, debido a que este material es capaz de absorber el impacto puntual de los gases emitidos durante la degradación del EVA.



Horno de alta temperatura íntegramente



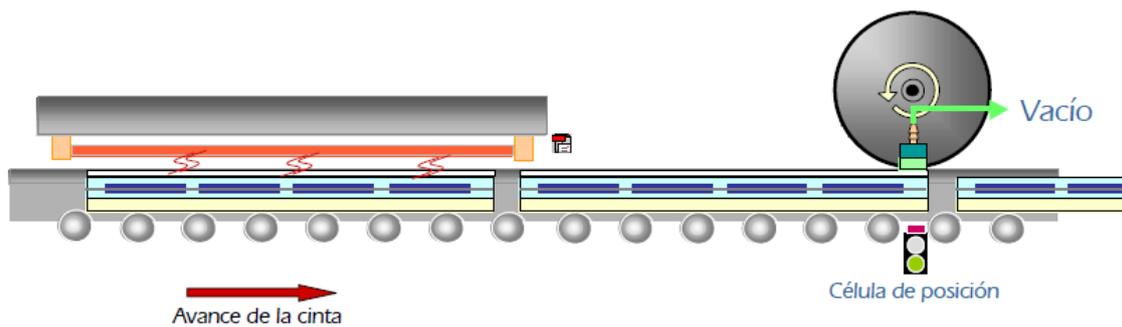
Vidrio y célula solar recuperados

### **Determinación de las necesidades de acondicionamiento del residuo**

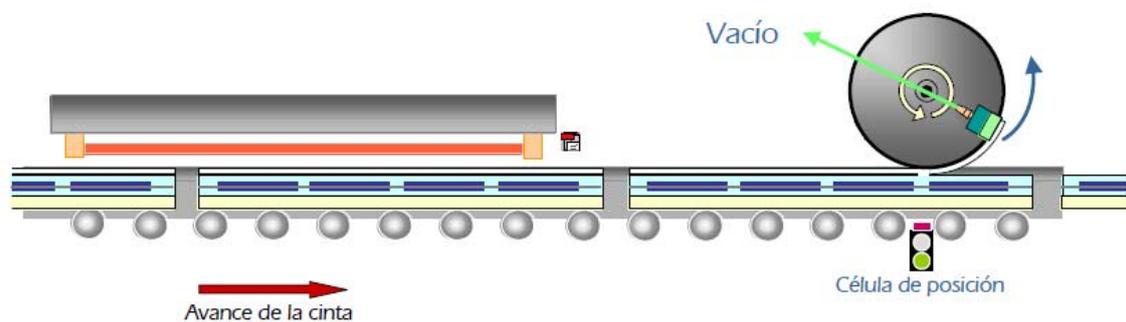
#### **Sistema semi-automático de eliminación del Tédlar (Corte longitudinal)**

Consta de dos etapas:

- ETAPA 1: reblandecimiento del EVA mediante radiación infrarroja.



- ETAPA 2: despegado y retirada del Tédlar mediante un rodillo giratorio y un sistema de vacío.





Lámparas infrarrojas (ETAPA 1)



Sistema rodillo giratorio y sistema vacío (ETAPA 2)

Fases de la delaminación del Tédlar (Etapa 2)



Entrada del panel

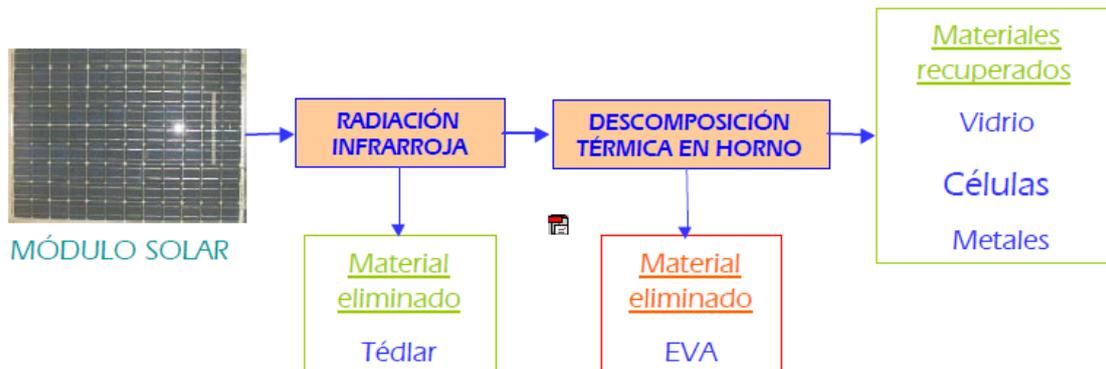


Acción del rodillo sobre lámina Tédlar



Después de explicar los diferentes procesos y fases para conseguir el reciclaje de los paneles solares, ahora se explican dos posibles opciones a elegir según las necesidades del reciclaje.

- OPCIÓN 1: opción adecuada para el tratamiento de paneles solares fuera de uso sin necesidad de instalar un horno con un sistema específico para el tratamiento de gases tóxicos.



- OPCIÓN 2: está opción requiere de un horno de alta temperatura que incorpore un sistema específico para el tratamiento de gases tóxicos.



Además de todo esto, también existe el reciclado del vidrio y el aluminio presentes en los paneles. El vidrio y el aluminio pueden ser reutilizados como materia prima en la fabricación de los mismos materiales.

#### Reciclado del vidrio

El vidrio utilizado en la fabricación de los paneles fotovoltaicos es bajo en impurezas y de una composición específica, por lo cual podría ser empleado como materia prima hasta en un 100%. Sin embargo, diversos ensayos han demostrado que cantidades mayores al 85% provocan un sensible incremento de la fragilidad del vidrio obtenido.

Si bien el vidrio que integra el panel lleva adosada una capa de EVA, esto no impide su reciclado por fusión, dado que el EVA posee una temperatura de fusión próxima a los 76°C, la cual está muy por debajo de la del vidrio (1500-1600°C). Esto permite que el EVA se descomponga en CO y CO<sub>2</sub>, pudiendo eliminarse junto con los restantes gases generados durante el proceso de fusión.

El vidrio obtenido a partir de los paneles descartados deberá seguir las siguientes etapas:

1. *Triturado:* alimentadores vibratorios lo trasladarán hacia quebrantadoras de martillos, donde será triturado en trozos no mayores a los 25 mm de diámetro.
2. *Tamizado:* Una cinta transportadora hará pasar los trozos de vidrio por una cámara de soplado donde el polvo de vidrio será retenido en filtros, a fin de evitar que se volatilice junto con los gases de combustión, impidiendo de esta manera la contaminación ambiental.
3. *Lavado:* Una máquina lavadora, mediante agua caliente y agitación, terminará de extraer el polvo remanente.
4. *Secado:* El material se decantará y secará, para ser finalmente conducido hasta el horno de fusión.

#### Reciclado del aluminio

A diferencia del vidrio la reutilización del aluminio puede ser del 100%, dado que puede ser refundido sin perder sus características físico - químicas.

El reciclado del aluminio sigue las siguientes etapas:

1. *Triturado ("Shreding")*: operación mecánica que consiste en cortar el material reduciéndolo a pequeñas dimensiones.

2. *Fusión*: los fragmentos son fundidos en un horno rotativo, utilizándose como fundente Na Cl, KF y Ca F<sub>2</sub>.

3. *Horno de mantenimiento y colada*: al metal fundido se le efectúan las correcciones de composición química que fueran necesarias y los tratamientos que indican las normas para el baño líquido.

4. *Desgasificado*: la unidad de desgasificado consiste de un eje rotor por el cual se inyecta un gas inerte a presión que provoca el arrastre de los gases hacia la superficie y la flotación de las muy pequeñas impurezas existentes en la masa de aluminio líquido. Como desgasificante se puede utilizar hexacloroetano (C<sub>2</sub>Cl<sub>6</sub>).

5. *Filtrado*: la unidad de filtrado permite retener en un filtro cerámico poroso las impurezas aún presentes en el baño.

6. *Colada*: el metal obtenido es colado en lingotes o placas. Se obtiene un metal apto para iniciar nuevamente el proceso tecnológico de fabricación de material destinado a la producción de los nuevos perfiles.

## **7. PROBLEMAS DE CONTAMINACIÓN EN LA FABRICACIÓN DE CÉLULAS Y PANELES SOLARES.**

La energía solar fotovoltaica resulta ser, al contrario que la mayoría de las energías convencionales, prácticamente inocua durante la fase de explotación. Durante la fase de fabricación ha de exigirse la correspondiente implementación de los métodos de control, almacenamiento o reciclado de residuos.

Esta tecnología presenta un bajo impacto ambiental al ser comparada con otras fuentes energéticas. Si a los costes estándar de otras fuentes energéticas, les sumamos los costes ambientales derivados y otros costes asociados, las diferencias económicas entre la energía solar fotovoltaica y las energías convencionales tienden a desaparecer.

El impacto medioambiental de las fuentes de energía incluye factores como daños a los bosques, por lluvia ácida, contaminación y calentamiento del planeta, por efecto invernadero, el impacto sobre la salud humana, animal y vegetal debido a accidentes, vertidos y escapes de sustancias peligrosas etc. El peso global de estos costes es más alto, evidentemente, en las energías convencionales que en las energías renovables.

Vamos señalar en este apartado los efectos medioambientales de la energía solar fotovoltaica, para poder comparar esta fuente energética con las fuentes de energía convencionales. Como avance de los resultados de este análisis, podemos señalar que los impactos medioambientales de la energía solar fotovoltaica son ecológicamente asumibles, supuesto un correcto tratamiento o almacenaje de residuos y una correcta gestión del resto de los impactos ambientales. La adecuada y exigible gestión de los impactos medioambientales, de la energía solar fotovoltaica, convierten a esta fuente energética en uno de los medios de obtención de energía menos agresivos con el medioambiente.

El consumo de agua, necesario para la operatividad de una instalación de energía solar fotovoltaica, resulta ser el más bajo en comparación con cualquier otro tipo de instalación de producción energética (sólo se precisa agua durante los procesos de producción de los componentes de los sistemas fotovoltaicos). Este punto es particularmente importante para nuestro país, que sufre sucesivos episodios de sequía.

La generación de electricidad mediante energía solar fotovoltaica requiere la utilización de grandes superficies colectoras, y por tanto de una cantidad considerable de materiales para su construcción. La extracción, producción y transporte de estos materiales son los procesos que suponen un mayor impacto ambiental.

La fabricación de un panel solar requiere también la utilización de materiales como aluminio (para los marcos), vidrio (como encapsulante), acero (para estructuras) etc., siendo estos componentes comunes con la industria convencional. El progresivo desarrollo de la tecnología de fabricación de estructuras y paneles solares, supondrá una reducción del impacto ambiental debido a estos conceptos.

En la producción del panel solar se produce un gasto energético, que genera residuos, como partículas de NOx, SO2, CO2 etc. Esto se debe a que la energía, utilizada en la fabricación del panel solar, tiene su origen en la mezcla de fuentes energéticas convencionales del país de fabricación. Sin embargo, se puede afirmar que la emisión de estas sustancias debida a la fabricación de paneles solares es reducida, en comparación con la disminución en la emisión de sustancias de este tipo que supone la producción de electricidad por medios fotovoltaicos, en vez de con fuentes

convencionales de energía. Un ejemplo de esto es que, la producción de la misma cantidad de potencia hora por año, en una moderna y eficiente central térmica de carbón, supone la emisión de 20 veces más de CO<sub>2</sub>, que si la producción de la misma cantidad de energía se realizara mediante módulos de silicio, fabricados en pequeña escala.

La producción de electricidad, mediante paneles solares de silicio, fabricados en gran escala, disminuye aún más la emisión de CO<sub>2</sub>, llegando a reducir hasta cerca de 200 veces la cantidad de CO<sub>2</sub> emitida respecto a una central térmica de carbón. La misma proporción, de entre 100 y 200 veces menos cantidad de residuos, se mantiene favorable a la energía solar fotovoltaica, cuando se comparan las emisiones de NO<sub>x</sub> y SO<sub>2</sub>, con las producidas por una central térmica de carbón.

La obtención de silicio de grado metalúrgico es necesaria en grandes cantidades, para la industria del acero, una pequeña proporción de este material es la dedicada a la industria de semiconductores. Los inconvenientes de esta industria son: las emisiones de polvo de sílice (causante de la silicosis), muy perjudicial para la salud; el uso de materiales tales como el xilano (material carcinogénico y que afecta al aparato respiratorio), en la purificación del silicio; y la utilización de pequeñas cantidades de compuestos tóxicos, tales como diborano y fosfina (tóxicos, afectan al sistema nervioso), en los procesos de dopado del silicio; la utilización agentes agresivos, tales como el ácido sulfúrico (sustancia altamente corrosiva), en los procesos de fabricación de las células solares; y la utilización de grandes cantidades de energía, en la obtención de las células de silicio..

No obstante, los avances industriales, en la fabricación de paneles solares, en el sentido de reducir pérdidas de material, al cortar las obleas para la fabricación de células solares, supone, además de un beneficio económico, la reducción de energía necesaria y, por tanto, disminuir la emisión de contaminantes generados por la producción de la energía.

Todos los compuestos y procesos indicados son utilizados en la industria metalúrgica y electrónica, de forma habitual, por lo que no constituyen un nuevo factor a considerar. En una futura producción masiva de células solares, deberá estar contemplado un correcto tratamiento de los residuos, tarea asumible al ser conocidos y estar implementados estos tratamientos, para grandes producciones en otros sectores, como la industria electrónica.

Para el caso de las células con CdS y CdTe, se estima que se precisan menos de 200 kg. de compuestos de Cadmio, para producir 2 MW anuales de células solares, de esta tecnología. A efectos de comparación, hay que considerar que la producción mundial de Cd se sitúa en 20.000 Tm, correspondiéndole, por tanto, a la producción de células solares de esta tecnología, un impacto ambiental muy reducido. Para comparar podemos señalar que mientras las pilas de NiCd están constituidas por un 15% de su peso en Cd, 1kW de paneles solares contendrá Cd en forma de CdS y CdTe (nunca de Cd puro), representando menos de un 0,1% en peso.

Al final de la vida útil de estos módulos, se pueden verter en depósitos controlados dado que, según normas de los EE.UU. y de la UE, estos paneles están considerados como un residuo no peligroso. Sin embargo es aconsejable utilizar los procesos de reciclado ya plenamente desarrollados, aunque no puestos en práctica. Otra tecnología, la de lámina delgada, denominada de células CIS, supone un contenido aún menor de Cd que en las células de CdTe, reduciendo su contenido en dos órdenes de magnitud respecto a estas.

Otros impactos ambientales, de esta fuente energética, están relacionados con las infraestructuras necesarias para su funcionamiento. Quizás el factor más conocido y esgrimido, contra la energía solar fotovoltaica, es la ocupación de espacio, por parte de los paneles solares no integrados en la arquitectura. Hay que añadir a esto la ocupación de terreno, debido a carreteras, líneas de transmisión instalaciones de acondicionamiento y almacenamiento de energía, subestaciones, etc. Estos factores afectarían, esencialmente, a las grandes centrales de energía solar fotovoltaica.

### **7.1. ASPECTOS AMBIENTALES DEL PROCESO DE FABRICACIÓN.**

En la fabricación de células solares, el proceso de fabricación debe estar respaldado con unas instalaciones que logren, de la manera más eficiente posible:

#### ***Aire Limpio.***

Un entorno de fabricación autónomo asegura que el aire se limpia antes de ser liberado en el medio ambiente. Todas las áreas de empleo de los materiales semiconductores y otros metales se filtran con alta eficiencia para partículas de aire. Estos procesos son controlados y probados para asegurar que el aire es limpio y muy por debajo de los estándares regulados.

#### ***Tratamiento de Agua.***

El agua residual del proceso de fabricación ha de ser tratada a través de varios procesos con el fin de eliminar los contaminantes de las actividades productivas relacionadas. Sólo así se ha de verter a un sistema municipal o directamente al medio ambiente. La calidad del agua debe ser rutinariamente sometida a pruebas, incluso vigilada y documentada.

#### ***Recolección de residuos sólidos.***

Los desechos de fabricación deben ser recogidos y tratados para su reciclaje. Lo esencial de los componentes del módulo, incluyendo el vidrio y los materiales semiconductores encapsulados y los metales, se recuperan a través de una serie de procesos para su reutilización en nuevos módulos u otros productos.

#### ***La seguridad ante todo.***

"La seguridad ante todo" debe ser un valor fundamental en el proceso de fabricación. Éste debe incluir la ingeniería, procedimientos operativos, métodos de limpieza y equipos de protección personal para garantizar la salud y la seguridad de los trabajadores. Un adecuado seguimiento y control del cumplimiento de los programas de salud y seguridad, y un plan integral de la rutina de monitoreo del aire garantiza la seguridad de los trabajadores y el entorno de fabricación. Además, se debe realizar una auditoría ambiental independiente de manera regular para garantizar la seguridad y el cumplimiento de requisitos legales ambientales del proceso de fabricación.

### **7.2. IMPACTO DE LA OBTENCIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA SOLAR USANDO CÉLULAS FOTOVOLTAICAS.**

Los impactos relacionados a las celdas fotovoltaicas dependen principalmente del tipo de celda utilizada, su tamaño y del tipo de proyecto. En esta investigación se evalúan pequeños y grandes proyectos y cuatro tipos de células: crystalline silicon (sílice cristalino), amorphous silicon (sílice amorfo) (a-Si), cadmium telluride (CdTe), y Copper-indium-diselenide (CIS).

Mientras que en la fase operacional la energía solar fotovoltaica causa impactos muy poco relevantes, en las fases de producción, construcción y desarme los impactos son significativos.

### ***Impactos en la producción de células fotovoltaicas.***

Los contaminantes que se emiten principalmente al aire durante el proceso de fabricación son: CO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub> y SO<sub>2</sub>. Estos contaminantes son tratados mediante procesos de filtración, purificación o conversión que aseguran que el aire se filtre antes de ser liberado en el medio ambiente.

También se producen emisiones de otros gases que pueden contribuir al calentamiento global del planeta:

- SF<sub>6</sub> y CF<sub>4</sub> que se derivan de algunas operaciones de limpieza.
- Flúor y cloro como sustancias resultado del tratamiento del silicio.
- Estos dos últimos elementos también pueden contaminar las aguas debido a su uso como neutralizantes de los ácidos empleados en algunos procesos de fabricación de los módulos
- Las emisiones de los disolventes y los alcoholes usados en las operaciones de limpieza pueden dañar la capa de ozono y ayudar a la formación de niebla fotoquímica.

No obstante, estas emisiones son menores que las producidas con los combustibles fósiles convencionales.

Un amplio rango de materiales, algunos de ellos tóxicos y peligrosos son empleados en la industria fotovoltaica. En las grandes industrias un derrame de estas sustancias solo suele ocurrir bajo situaciones accidentales por lo que suponen un pequeño riesgo a la salud pública. Los riesgos ocupacionales se corresponden a los riesgos en otras plantas químicas que utilicen en sus procesos gases tóxicos y mezclas explosivas de gases.

Algunos sistemas fotovoltaicos utilizan pequeñas cantidades de productos químicos tóxicos como el cadmio y selenio. El uso de estas sustancias químicas produce en las fábricas de células fotovoltaicas una pequeña cantidad de residuos peligrosos, que se controlarán de acuerdo con las leyes ambientales en vigor.



Hay algunos tipos de celdas, como las (CdTe) y las (CIS), que utilizan minerales cuyas reservas son escasas. La utilización a gran escala de estos minerales para la construcción de este tipo de celdas conducirá a una severa disminución en las reservas del recurso.

### ***Impactos de la Construcción y Operación de estas tecnologías.***

Uno de los principales impactos, es el efecto sobre los ecosistemas ocasionados por el cambio de uso del suelo y los disturbios ocasionados durante la construcción de grandes plantas. Estos impactos son típicos de cualquier obra ingenieril del mismo tamaño. Pueden ser mitigados con un cuidadoso y correcto planeamiento y ayudando a que se reestablezca la biodiversidad previa en el lugar, para recuperar la biodiversidad del área se puede trasladar la fauna y en caso de que no se pueda mover la flora, se la puede criar en viveros para una vez que las obras fueron finalizadas, las plantas puedan colonizar nuevamente la distribución espacial que ocupaban con anterioridad. Una vez que la planta está lista y empieza a funcionar como captadora de energía solar, se puede compartir el suelo con otros usos diferentes.



*Paneles integrados en el tejado de una vivienda unifamiliar.*

En regiones muy cálidas y secas, la sombra provista por la suma de celdas fotovoltaicas puede ayudar a mantener la humedad del suelo y reducir la transpiración de las plantas produciendo un efecto beneficioso sobre la productividad del suelo. Aunque también grandes emprendimientos pueden ocasionar un efecto significativo en áreas ecológicamente sensibles.

Los emprendimientos centralizados, multimegawatt de captación de energía solar mediante celdas fotovoltaicas ocupan grandes áreas, aproximadamente (1,6 hectáreas / Gigawatt hora/ año) lo que causará un significativo impacto visual. La utilización del suelo será minimizada al igual que los impactos ecológicos y visuales, si se desarrollan emprendimientos incorporados a techos y fachadas de edificaciones pre – existentes.

En la fase de uso de dichas células apenas se producen impactos ambientales ya que tan sólo se requieren pequeñas tareas de limpieza y revisión de la instalación.

Todo emprendimiento fotovoltaico puede ocasionar un riesgo a la salud. Un incendio emitirá a la atmósfera sustancias tóxicas pero precauciones contra incendios convencionales mitigarán este riesgo, haciéndolo comparable al de industrias que manejen sustancias peligrosas.

### ***Impactos de la etapa de Desarme de una planta de obtención de energía por medio de celdas fotovoltaicas.***

En esta etapa, la disposición final de las celdas CdTe puede suponer un riesgo a la salud pública basado en la alta toxicidad del Cadmio, si la disposición o el reciclaje no se realizan de acuerdo a la legislación de tratamiento de residuos peligrosos en plantas habilitadas.

Sin embargo el cadmio está presente en las celdas fotovoltaicas en concentraciones muy pequeñas (aproximadamente 10 gramos por m<sup>2</sup>) y además se encuentra en forma insoluble y con baja posibilidad de bioacumulación, por lo que los niveles de lixiviación en el caso de que estos residuos sean dispuestos en rellenos, se espera que sean bajos.



*Otro ejemplo donde los paneles están incorporados al techo de una edificación*

Igualmente no se recomienda la disposición final de los compuestos con cadmio en rellenos, a menos que estos sean los denominados rellenos de seguridad, con dos buenas capas impermeables para evitar cualquier tipo de lixiviado. Lo recomendable y lo que se espera suceda en el futuro es que a mayor cantidad de emprendimientos fotovoltaicos, con la consecuente mayor generación de residuos, tanto de las celdas como de las baterías para almacenar la energía generada se produzca un desarrollo de empresas dedicadas al reciclaje de metales pesados provenientes de estos emprendimientos, para reducir el peligroso enterramiento de estas sustancias.

### **Resumen.**

La mayoría de los potenciales impactos ambientales asociados a las celdas fotovoltaicas son moderados (si se asume que se trabajará con una buena gestión ambiental). La excepción a esto la da el impacto visual generado por grandes emprendimientos, pero como se mencionó anteriormente las pequeñas placas y las que se encuentran incorporadas a techos o fachadas de edificios, reducen considerablemente este impacto visual.

#### *Resumen de los principales impactos ambientales de emprendimientos fotovoltaicos.*

Actividad	Receptor	Impacto	Zona de impacto	Prioridad
Extracción del recurso	Varios	Emisiones y ruido	L/R/G	Baja
Transporte del recurso	Varios	Emisiones y ruido	L/R/G	Baja
Procesado del material	Varios	Emisiones y ruido	L/R/G	<b>Medio</b>
Manufactura de componentes	Varios	Emisiones y ruido	L/R/G	<b>Alta</b>
Transporte de los componentes	Varios	Emisiones y ruido	L/R/G	Baja
<b>Construcción</b>				
Trabajos de construcción, tráfico en rutas	Varios	Emisiones atmosféricas	L/R/G	Baja
Impactos ocupacionales	Empleo	<b>Incremento necesidad de mano de obra</b>	Loc / Reg	Baja
Ruido (tráfico en rutas)	Público en general	Ruido	Local	Baja
Impacto visual	Público en general	Contaminación visual	Local	Baja
<b>Impactos ecológicos</b>				
Uso del suelo	Ecosistemas	Uso del suelo, pérdida de hábitat	Local	<b>Baja - Alta <sup>1</sup></b>
Ruido durante labores construcción	Ecosistemas	Disturbios, estrés	Local	Baja
<b>Generación</b>				
Impacto visual	Público en general	Contaminación visual	Local	<b>Baja - Alta <sup>1</sup></b>
Emisiones	<b>Ninguna</b>			

Ecosistemas			Local	Baja
Salud pública				
Salud ocupacional	Trabajadores	Accidentes	Local	Baja
	Empleo	Se incrementan los beneficios del empleo	Local	Baja
Desarme	Varios	Emisiones y ruido		Baja

<sup>1</sup> Depende del tamaño, el tipo y el ambiente donde será localizado el emprendimiento

### 7.3. LA SILICOSIS.

La silicosis es una enfermedad respiratoria causada por inhalación de polvo de sílice que conduce a inflamación y luego cicatrización del tejido pulmonar. Es una fibrosis progresiva, que se produce en sitios de depósito de polvo de cuarzo ( $\text{SiO}_2$ ). El polvo de cuarzo existe en forma natural como cristal de roca (cuarzo), arena y otros. La inhalación de partículas de 0,5 a 5  $\mu\text{m}$  de diámetro produce silicosis. Oficios con alto riesgo de silicosis están en: minería, industria del acero y del hierro, industria de la construcción, picapedrería e industria de la cerámica.

Es irreversible y puede causar invalidez física o la muerte. La sílice es el segundo mineral más abundante en la corteza terrestre y es un componente mayor de arena, piedra, y minerales metalíferos. La sobre exposición al polvo que contiene partículas de sílice cristalina puede causar la formación de tejidos de cicatrización en los pulmones disminuyendo la capacidad de estos de extraer oxígeno del aire que respiramos. (El divertirse o jugar en una playa de arena no constituye un riesgo de silicosis).

#### ***Tipos, Síntomas, y Complicaciones de Silicosis.***

Hay tres tipos de silicosis. Son clasificados según la concentración en el aire de sílice cristalina a la que un trabajador estuvo expuesto:

Se conocen tres tipos de silicosis:

- ❖ Silicosis crónica simple: resultante de exposición a largo plazo (más de 20 años) a bajas cantidades de polvo de sílice. En los pulmones y ganglios linfáticos del tórax se forman nódulos de inflamación crónica y cicatrización provocados por el polvo de sílice. Esta enfermedad puede caracterizarse por la falta de respiración y se puede asemejar a la enfermedad pulmonar obstructiva crónica (EPOC)
- ❖ Silicosis acelerada: se presenta después de la exposición a un plazo más corto (5-15 años) a cantidades mayores de sílice. La inflamación, la cicatrización y los síntomas progresan más rápidamente en este tipo de silicosis que en la silicosis simple.
- ❖ Silicosis aguda: resulta de la exposición por corto tiempo a cantidades muy grandes de sílice. Los pulmones se inflaman bastante y se pueden llenar de líquido causando una dificultad respiratoria severa y bajos niveles de oxígeno en la sangre.

Es posible que no se detecte la silicosis crónica (la forma más común de la enfermedad) por varios años durante las fases tempranas. Es posible que una radiografía no indique ninguna anomalía hasta 15-20 años después de la exposición. El polvo de sílice en los pulmones puede dañar la capacidad del cuerpo de evitar infecciones. Con esa condición, los trabajadores son más susceptibles a algunas enfermedades, como tuberculosis.

Como consecuencia de la silicosis los trabajadores pueden tener los síntomas siguientes:

- falta de aliento después de algún esfuerzo físico
- la tos grave
- dificultad respiratoria severa
- fatiga
- pérdida del apetito
- dolores en el pecho
- fiebre

Se puede presentar fibrosis masiva progresiva en la silicosis simple o acelerada, pero es más común en la forma acelerada. Dicha fibrosis masiva progresiva resulta de la cicatrización severa y conduce a la destrucción de las estructuras pulmonares normales.

### ***¿Cómo se puede evitar la Silicosis?***

Varias son las medidas que los empleadores y trabajadores pueden tomar para tratar de evitar la silicosis. Entre ellas, cabe citar:

- ❖ Controlar de modo generalizado la exposición al polvo, reduciendo al mínimo el polvo presente en los lugares de trabajo.
- ❖ Utilizar materiales de chorreo abrasivo que sean menos peligrosos que los que contienen sílice cristalina.
- ❖ Instalar controles técnicos (ventilación de escapes localizados) y métodos de contención (gabinetes y máquinas de limpieza a chorro) para evitar que el polvo escape al aire.
- ❖ Capacitar a los trabajadores acerca de los efectos del polvo de sílice en la salud y acerca de las técnicas de trabajo apropiadas para reducir el polvo.
- ❖ Mojar las superficies antes de proceder a limpiarlas.
- ❖ Utilizar aspiradoras con filtros de aire particulado de alta eficacia (HEPA) o barrer sobre mojado durante las tareas de limpieza.
- ❖ No barrer nunca en seco ni limpiar el polvo con aire comprimido.
- ❖ Llevar puestas mascarillas de respiración siempre que sea necesario para evitar respirar el polvo.
- ❖ Bañarse o lavarse, y ponerse ropa limpia antes de abandonar el lugar de trabajo.

Los puntos clave para prevenir la silicosis son reducir el polvo en el aire que contiene sílice y evitar respirar polvo que contenga sílice. Aunque una vez que aparece no existe cura para esta enfermedad, puede prevenirse totalmente si los empresarios y trabajadores colaboran para minimizar la exposición al sílice.

Las consecuencias de la silicosis son incapacidad y muerte.

### ***¿Existe riesgo de silicosis en la fabricación de células solares?***

Sí, existe un riesgo considerable de padecer silicosis, en los siguientes puntos del proceso productivo:

- ❖ Fabricación del vidrio templado plano de bajo contenido de hierro: en su etapa de CRIBADO (pesado y dosificación de las materias primas), pues es una etapa en la que se trabaja con diversas sustancias, entre ellas el SiO<sub>2</sub>.

- ❖ Proceso de fabricación de células solares: en su etapa de LIMPIEZA DE LAS OBLEAS, cuya finalidad es la limpieza previa que elimine los restos de metales procedentes de las sierras de corte.
- ❖ Reciclado de células solares de Si: en sus métodos mecánicos de separación, en sus procesos de tamizado (una mezcla de partículas sólidas de diferentes tamaños se hace pasar por un tamiz o colador).
- ❖ Reciclado del vidrio: en su proceso de TRITURADO (alimentadores vibratorios trasladan el vidrio hacia quebrantadoras de martillos, donde será triturado en trozos no mayores a los 25 mm de diámetro).

## **8. TOXICOLOGIA DE LOS PANELES INSTALADOS.**

Las placas fotovoltaicas instaladas tardan entre 21 meses y dos años en generar la energía que fue necesaria para su producción. Es bastante tiempo, pero poco comparado con los 25 o 30 años de vida útil que suelen tener estos paneles según el fabricante. Existe el mito por internet de que las placas fotovoltaicas gastan más energía en su fabricación que las que luego consume, pero este mito es del todo falso, y proviene de las primeras placas de los años 50.

Claro que para completar el ciclo de vida de estos paneles habría que repasar también qué pasa cuando se convierten en residuos. Hasta ahora, son pocas las experiencias que se tienen, pero a diferencia de todas las otras tecnologías energéticas, la fotovoltaica puede cerrar todo el círculo y volver de nuevo al principio al llegar al final de su vida útil. Una placa fotovoltaica no está clasificada como residuo peligroso, ni siquiera la de telurio de cadmio, pues el porcentaje de sustancias peligrosas está por debajo de lo regulado por la UE e incluso se está trabajando en la eliminación del plomo de las soldaduras. MITSUBISHI ELECTRIC fue la primera compañía japonesa en fabricar módulos fotovoltaicos con soldadura sin plomo en serie consiguiendo que sus módulos sean más respetuosos con el medio ambiente y con la higiene laboral. Se estima que en 2010 se han producido 7.000 toneladas de residuos de placas fotovoltaicas en los países europeos, pero no será hasta 2020 cuando empiece a aparecer una cantidad verdaderamente grande. Los materiales tóxicos y peligrosos usados en la producción de células fotovoltaicas son los siguientes:

Tipo de células	Material	Riesgo incendio	Toxicidad
<b>Sílice cristalino</b>	Triclorosilano (SiHCl <sub>3</sub> )	Severo riesgo cuando es expuesto al calor, llamas o aire.	Moderadamente tóxico en caso de ingestión o inhalación.
	Oxícloruro de fósforo (POCl <sub>3</sub> )	Potencialmente explosivo al reaccionar con agua.	Tóxico luego de inhalación o ingestión.
	Ácido Clorhídrico (HCl)	No combustible.	Ácido corrosivo.
<b>Sílice Amorfo</b>	Silano (SiH <sub>4</sub> )	Produce ignición en aire, puede autoexplotar.	Medianamente tóxico en caso de inhalación.
	Fosfina (PH <sub>3</sub> )	Ignición espontánea en aire. Riesgo severo de incendio en caso de reacción química.	Muy tóxico.
	Diborano (B <sub>2</sub> H <sub>6</sub> )	Reacciona violentamente en aire. Reacciona con el agua para ceder hidrógeno lo cual es potencialmente explosivo.	Extremadamente tóxico.
<b>CdTe</b>	Cadmio	Inflamable. Desprende humos tóxicos en caso de incendio.	Metal pesado tóxico y sospechoso de ser cancerígeno.
<b>CIS</b>	Hidruro de Selenio (SeH <sub>2</sub> )	Riesgo de incendio cuando es expuesto al calor o a las llamas. Forma mezclas explosivas en aire.	Extremadamente tóxico.

En los siguientes apartados nos vamos a centrar en aquellos paneles solares de la anterior tabla cuyos materiales son más tóxicos.

### **8.1. PANELES DE CdTe (TELURO DE CADMIO).**

Las propiedades físicas de los paneles fotovoltaicos de CdTe son las siguientes: presión de vapor muy baja, alto punto de ebullición y punto de fusión, y su insolubilidad en agua, lo que limitan su movilidad en el medio ambiente.

En 2009, se llevó a cabo una evaluación en profundidad de la salud ambiental y los aspectos de seguridad de los paneles de CdTe instalados bajo la autoridad del Ministerio francés de Ecología, Energía, Desarrollo Sostenible y el mar. Concluyó que,

"Durante el funcionamiento normal de los sistemas fotovoltaicos de CdTe, no hay emisiones de cadmio (a la atmósfera, al agua o al suelo). En el caso excepcional de incendios accidentales o paneles rotos, los estudios científicos muestran que las emisiones de cadmio acarrear insignificantes consecuencias. Por ello, el despliegue a gran escala de sistemas fotovoltaicos de CdTe puede ser considerado seguro para la salud humana y el medio ambiente".

Una revisión de los principales estudios sobre el perfil ambiental de los paneles de CdTe, organizado por la Comisión Europea, Centro Común de Investigación y moderado por el Ministerio alemán de Medio Ambiente concluyó que "... los paneles de CdTe utilizados en Puerto Vallarta se encuentran integrados de una forma estable en el medio ambiente, de forma que no presentan fugas en el mismo durante el uso normal o accidentes previsibles ...."

Un análisis independiente indica que los módulos de CdTe no plantean un riesgo durante los incendios. Sólo un 0,4%÷0,6% del contenido de Cd de las muestras fue liberado durante las pruebas a temperaturas de llama 760 a 1100 °C según se puede observar en la siguiente tabla:

Results of fire simulating tests on CdTe PV modules

T (°C)	500	760	900	1000	1100
Heating duration (min)	60	30	30	120	240
Cd weight loss (%)	0.2	0.6	0.4	0.5	0.4

El CdTe tiene una presión de vapor muy baja, alto punto de ebullición y punto de fusión y se encuentra casi completamente encapsulado por el vidrio fundido cuando se expone al fuego. La exposición de piezas de CdTe a temperaturas de llama 760 a 1100 °C, muestra que difunde CdTe en vidrio, en lugar de ser liberado a la atmósfera. Las temperaturas más altas producen una mayor difusión de CdTe en el vaso.

A través de experimentos de lixiviación al aire libre con pequeños fragmentos de los módulos de CdTe, un estudio independiente estima que en el peor de los casos los materiales de lixiviados a partir de los módulos en el agua o el suelo no era mayor que el límite de concentración alemán de agua potable.

Los módulos fotovoltaicos de CdTe se han probado de acuerdo con los protocolos de caracterización de los residuos y al final de su vida útil puede ser clasificado como «residuos no peligrosos para la recuperación en Europa y como una pérdida federales no peligrosos en los EE.UU..

**FICHA DE SEGURIDAD: CADMIO.**

El cadmio es un metal pesado que produce efectos tóxicos en los organismos vivos, aun en concentraciones muy pequeñas. La exposición al cadmio en los humanos se produce generalmente a través de dos fuentes principales: la primera es la vía oral (por agua e ingestión de alimentos contaminados) y la segunda vía es por inhalación. La población fumadora es la más expuesta al cadmio, porque los cigarrillos lo contienen.

A pesar de que son claras las evidencias de la toxicidad del cadmio, aún no se realizan estudios formales acerca de las consecuencias reales que tiene la acción de este metal sobre los organismos vivos, especialmente en el humano. Es muy posible que algunos de nuestros padecimientos (tales como el cáncer, enfermedades renales, hepáticas, pulmonares, etc.), estén ligados con la exposición prolongada al cadmio. En las siguientes imágenes se observa la ficha de seguridad del Cadmio:

TIPOS DE PELIGRO/ EXPOSICION	PELIGROS/ SINTOMAS AGUDOS	PREVENCION	PRIMEROS AUXILIOS/ LUCHA CONTRA INCENDIOS
<b>INCENDIO</b>	Inflamable. Desprende humos (o gases) tóxicos o irritantes en caso de incendio (véanse Notas).	Evitar las llamas, NO producir chispas y NO fumar. NO poner en contacto con el calor y los ácidos.	Arena seca, agentes especiales, No utilizar otros agentes.
<b>EXPLOSION</b>	Las partículas finamente dispersas forman mezclas explosivas en el aire. Riesgo de incendio y explosión.	Evitar el depósito del polvo; sistema cerrado, equipo eléctrico y de alumbrado a prueba de explosión del polvo.	
<b>EXPOSICION</b>		¡EVITAR LA DISPERSION DEL POLVO! ¡HIGIENE ESTRICTA!	¡CONSULTAR AL MEDICO EN TODOS LOS CASOS!
• <b>INHALACION</b>	Tos, dolor de cabeza (síntomas no inmediatos: véanse Notas).	Extracción localizada o protección respiratoria.	Aire limpio, reposo, posición de semiincorporado, respiración artificial si estuviera indicada y proporcionar asistencia médica.
• <b>PIEL</b>		Guantes protectores.	Quitar las ropas contaminadas, aclarar y lavar la piel con agua y jabón.
• <b>OJOS</b>	Enrojecimiento, dolor.	Pantalla facial o protección ocular combinada con la protección respiratoria.	Enjuagar con agua abundante durante varios minutos (quitar las lentes de contacto si puede hacerse con facilidad) y proporcionar asistencia médica.
• <b>INGESTION</b>	Dolor abdominal, diarrea, dolor de cabeza, náuseas, vómitos.	No comer, ni beber, ni fumar durante el trabajo.	Reposo y proporcionar asistencia médica.
DERRAMAS Y FUGAS		ALMACENAMIENTO	ENVASADO Y ETIQUETADO
Evacuar la zona de peligro. Eliminar todas las posibles fuentes de ignición. Barrer la sustancia derramada e introducirla en un recipiente, recoger cuidadosamente el residuo, trasladarlo a continuación a un lugar seguro. (Protección personal adicional: respirador de filtro P3 contra partículas tóxicas).		A prueba de incendio. Separado de alimentos y piensos y de oxidantes y ácidos fuertes.	Hermético. No transportar con alimentos y piensos. Clasificación de Peligros NU: 6.1
VEASE AL DORSO INFORMACION IMPORTANTE			
<b>ICSC: 0020</b>		Preparada en el Contexto de Cooperación entre el IPCS y la Comisión de las Comunidades Europeas © CCE, IPCS, 1994	

## FICHA INTERNACIONAL DE SEGURIDAD QUÍMICA

<b>D A T O S I M P O R T A N T E S</b>	<p><b>ESTADO FÍSICO; ASPECTO</b> Grumos blandos entre azul y blanco o polvo gris; se vuelve quebradizo por exposición a 80°C y pierde el brillo en ambientes húmedos.</p>	<p><b>VIAS DE EXPOSICION</b> La sustancia se puede absorber por inhalación del aerosol y por ingestión.</p>
	<p><b>PELIGROS FÍSICOS</b></p>	<p><b>RIESGO DE INHALACION</b> La evaporación a 20°C es despreciable; sin embargo, se puede alcanzar rápidamente una concentración nociva de partículas en el aire.</p>
	<p><b>PELIGROS QUÍMICOS</b> Puede explotar por calentamiento intenso. El polvo reacciona con oxidantes, azida de hidrógeno, cinc, selenio, telurio, causando peligro de incendio o explosión.</p>	<p><b>EFFECTOS DE EXPOSICION DE CORTA DURACION</b> La sustancia irrita los ojos y el tracto respiratorio. La inhalación del humo puede originar edema pulmonar (véanse Notas) y fiebre de los humos metálicos. Los efectos pueden aparecer de forma no inmediata. Se recomienda vigilancia médica.</p>
	<p><b>LIMITES DE EXPOSICION</b> TLV (como TWA): (elemental y compuestos, como Cd): 0.01 mg/m<sup>3</sup>,A2 (polvo total) y 0.002 mg/m<sup>3</sup>,A2 (fracción respirable) (ACGIH 1993-1994).</p>	<p><b>EFFECTOS DE EXPOSICION PROLONGADA O REPETIDA</b> Los pulmones pueden resultar afectados por la exposición prolongada o repetida a las partículas de polvo. La sustancia puede afectar al riñón, dando lugar a una proteinuria y a una disfunción del riñón. Esta sustancia es probablemente carcinógena para los seres humanos.</p>
<b>NOTAS</b>		
<p>Reacciona violentamente con agentes extintores de incendio tales como el agua, la espuma, el dióxido de carbono y los halones. Está indicado un examen médico periódico dependiendo del grado de exposición. Los síntomas del edema pulmonar no se ponen de manifiesto, a menudo, hasta pasadas algunas horas y se agravan por el esfuerzo físico. Reposo y vigilancia médica son por ello, imprescindibles. NO llevar a casa la ropa de trabajo.</p>		
<b>INFORMACION ADICIONAL</b>		
FISQ: 3-040 CADMIO		
ICSC: 0020	CADMIO	
© CCE, IPCS, 1994		
<b>NOTA LEGAL IMPORTANTE:</b>	<p>Ni la CCE ni la IPCS ni sus representantes son responsables del posible uso de esta información. Esta ficha contiene la opinión colectiva del Comité Internacional de Expertos del IPCS y es independiente de requisitos legales. La versión española incluye el etiquetado asignado por la clasificación europea, actualizado a la vigésima adaptación de la Directiva 67/548/CEE traspuesta a la legislación española por el Real Decreto 363/95 (BOE 5.6.95).</p>	



## FICHA INTERNACIONAL DE SEGURIDAD QUÍMICA

D A T O S I M P O R T A N T E S	<b>ESTADO FISICO; ASPECTO</b> Polvo amorfo, entre gris oscuro y pardo con características metálicas.	<b>VIAS DE EXPOSICION</b> La sustancia se puede absorber por inhalación del aerosol, a través de la piel y por ingestión.
	<b>PELIGROS QUIMICOS</b>  <b>PELIGROS QUIMICOS</b> Durante un calentamiento intenso se producen humos tóxicos. Reacciona vigorosamente con halógenos o interhalógenos originando riesgo de incendio. El siliciuro de litio ataca el teluro produciendo incandescencia.	<b>RIESGO DE INHALACION</b> La evaporación a 20°C es despreciable. Sin embargo, se puede alcanzar rápidamente una concentración nociva de partículas en el aire por dispersión.
	<b>LIMITES DE EXPOSICION</b> TLV (como TWA): 0.1 mg/m <sup>3</sup> (ACGIH 1990-1991).	<b>EFFECTOS DE EXPOSICION DE CORTA DURACION</b> El aerosol de esta sustancia irrita el tracto respiratorio. La sustancia puede tener efectos sobre el sistema nervioso central, (véanse Notas). Se recomienda vigilancia médica.  <b>EFFECTOS DE EXPOSICION PROLONGADA O REPETIDA</b> La experimentación animal muestra que esta sustancia puede causar malformaciones congénitas en humanos, (véanse Notas).
<b>PROPIEDADES FISICAS</b>	Punto de ebullición: 989.8°C Punto de fusión: 449.5°C Densidad relativa (agua = 1): 6-6.25	Solubilidad en agua: insoluble Presión de vapor, kPa a 520°C: 0.1333 Temperatura de autoignición: 340°C
<b>DATOS AMBIENTALES</b>		
<b>NOTAS</b>		
Los datos disponibles sobre efectos de esta sustancia en la salud humana son insuficientes, por consiguiente debe procederse con sumo cuidado. La inhalación de los humos puede dar lugar a efectos tóxicos adicionales.		

## 8.2 PANELES CIS

La selenización de las capas Cu-In se realiza en una atmósfera de Hidruro de Selenio ( $H_2Se$ ) convirtiéndose en una película fina CIS por un proceso térmico. La problemática de este proceso es que el  $H_2Se$  es tóxico además de ser extremadamente inflamable.

En las siguientes imágenes se observa la ficha de seguridad del Hidruro de Selenio ( $H_2Se$ ):

### FICHA DE SEGURIDAD: HIDRURO DE SELENIO

			
<b>SELENIURO DE DIHIDROGENO</b> Hidruro de selenio $H_2Se$ Masa molecular: 81.0			
Nº CAS 7783-07-5 Nº RTECS MX1050000 Nº ICSC 0284 Nº NU 2202 Nº CE 034-002-00-8			
TIPOS DE PELIGRO/ EXPOSICION	PELIGROS/ SINTOMAS AGUDOS	PREVENCION	PRIMEROS AUXILIOS/ LUCHA CONTRA INCENDIOS
<b>INCENDIO</b>	Extremadamente inflamable.	Evitar las llamas, NO producir chispas y NO fumar.	Cortar el suministro; si no es posible y no existe riesgo para el entorno próximo, dejar que el incendio se extinga por sí mismo; en otros casos apagar con polvo y dióxido de carbono.
<b>EXPLOSION</b>	Las mezclas gas/aire son explosivas.	Sistema cerrado, ventilación, equipo eléctrico y de alumbrado a prueba de explosiones.	En caso de incendio: mantener fría la botella rociando con agua. Combatir el incendio desde un lugar protegido.
<b>EXPOSICION</b>		<b>¡HIGIENE ESTRICTA!</b>	
<b>• INHALACION</b>	Sensación de quemazón, tos, dificultad respiratoria, náuseas, dolor de garganta, debilidad.	Sistema cerrado y ventilación.	Aire limpio, reposo, posición de semiincorporado, respiración artificial si estuviera indicada y proporcionar asistencia médica.
<b>• PIEL</b>	EN CONTACTO CON LIQUIDO: CONGELACION.	Guantes aislantes del frío.	EN CASO DE CONGELACION: aclarar con agua abundante, NO quitar la ropa.
<b>• OJOS</b>	Enrojecimiento, dolor.	Gafas ajustadas de seguridad o pantalla facial.	Enjuagar con agua abundante durante varios minutos (quitar las lentes de contacto si puede hacerse con facilidad) y proporcionar asistencia médica.
<b>• INGESTION</b>			
DERRAMAS Y FUGAS		ALMACENAMIENTO	ENVASADO Y ETIQUETADO
Evacuar la zona de peligro. Consultar a un experto. Ventilar. NO verter NUNCA chorros de agua sobre el líquido. (Protección personal adicional: traje de protección completa incluyendo equipo autónomo de respiración).		A prueba de incendio. Separado de oxidantes fuertes. Mantener en lugar fresco.	símbolo T símbolo N R: 23/25-33-50/53 S: (1/2-)20/21-28-45-60-61 Nota: A Clasificación de Peligros NU: 2.3 Riesgos Subsidiarios NU: 2.1 CE:
			

## FICHA INTERNACIONAL DE SEGURIDAD QUÍMICA

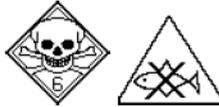
<b>D A T O S I M P O R T A N T E S</b>	<b>ESTADO FÍSICO; ASPECTO</b> Gas licuado comprimido, incoloro, de olor característico.	<b>VIAS DE EXPOSICION</b> La sustancia se puede absorber por inhalación.
	<b>PELIGROS FÍSICOS</b> El gas es más denso que el aire y puede extenderse a ras del suelo; posible ignición en punto distante.	<b>RIESGO DE INHALACION</b> Por evaporación de esta sustancia a 20°C se puede alcanzar muy rápidamente una concentración nociva en el aire.
	<b>PELIGROS QUÍMICOS</b> La sustancia se descompone al calentarla intensamente por encima de 100°C, produciendo productos tóxicos e inflamables incluyendo selenio e hidrógeno. La sustancia es un agente reductor fuerte y reacciona violentamente con oxidantes, originando peligro de incendio y explosión. En contacto con el aire desprende humos tóxicos y corrosivos de dióxido de selenio.	<b>EFFECTOS DE EXPOSICION DE CORTA DURACION</b> La sustancia irrita los ojos y el tracto respiratorio. La inhalación del gas puede originar neumonitis. La exposición a altas concentraciones puede producir la muerte.
	<b>LIMITES DE EXPOSICION</b> TLV (como TWA): como Se, 0.05 ppm; 0.16 mg/m <sup>3</sup> (ACGIH 1993-1994).	<b>EFFECTOS DE EXPOSICION PROLONGADA O REPETIDA</b> La sustancia puede afectar al hígado.
<b>PROPIEDADES FÍSICAS</b>	Punto de ebullición: -41°C Punto de fusión: -86°C Densidad relativa (agua = 1): 2.1 (como líquido) Solubilidad en agua, ml/100 ml a 22.5°C: 270	Presión de vapor, kPa a 21°C: 878 Densidad relativa de vapor (aire = 1): 2.8 Punto de inflamación: gas inflamable
<b>DATOS AMBIENTALES</b>		
<b>NOTAS</b>		
La alerta por el olor es insuficiente. Con el fin de evitar la fuga de gas en estado líquido, girar la botella manteniendo arriba el punto de escape.  Ficha de emergencia de transporte (Transport Emergency Card): TEC (R)-20G12		
<b>INFORMACION ADICIONAL</b>		
FISQ: 3-179 SELENIURO DE DIHIDROGENO		
ICSC: 0284	SELENIURO DE DIHIDROGENO	
© CCE, IPCS, 1994		
<b>NOTA LEGAL IMPORTANTE:</b>	Ni la CCE ni la IPCS ni sus representantes son responsables del posible uso de esta información. Esta ficha contiene la opinión colectiva del Comité Internacional de Expertos del IPCS y es independiente de requisitos legales. La versión española incluye el etiquetado asignado por la clasificación europea, actualizado a la vigésima adaptación de la Directiva 67/548/CEE traspuesta a la legislación española por el Real Decreto 363/95 (BOE 5.8.95).	

### 8.3. PANELES DE GaAs

Las capas de GaAs se cultivan a través de dos técnicas: epitaxia de haces moleculares (MBE) o la deposición de vapor químico metálico-orgánico (MOCVD). En MBE, una oblea de sustrato calentado se expone a los átomos en fase gaseosa de galio y el arsénico que se condensan en la oblea en el contacto y hacen crecer la fina película de GaAs. En MOCVD, un sustrato calentado se expone en fase gaseosa a las moléculas orgánicas que contienen galio y el arsénico, que reaccionan con las altas temperaturas, liberando átomos de galio y arsénico para adherirse al sustrato.

En las siguientes imágenes se observa la ficha de seguridad del Arsénico (As), que es extremadamente tóxico y también peligroso para el medioambiente:

#### FICHA DE SEGURIDAD: ARSÉNICO

			
<b>ARSÉNICO</b> As Masa atómica: 74.9			
Nº CAS 7440-38-2 Nº RTECS CG0525000 Nº ICSC 0013 Nº NU 1558 Nº CE 033-001-00-X			
TIPOS DE PELIGRO/ EXPOSICION	PELIGROS/ SINTOMAS AGUDOS	PREVENCION	PRIMEROS AUXILIOS/ LUCHA CONTRA INCENDIOS
<b>INCENDIO</b>	Combustible. En caso de incendio se desprenden humos (o gases) tóxicos e irritantes.	Evitar las llamas. NO poner en contacto con oxidantes fuertes, NO poner en contacto con superficies calientes.	Polvo, agua pulverizada, espuma, dióxido de carbono.
<b>EXPLOSION</b>	Las partículas finamente dispersas forman mezclas explosivas en el aire. Riesgo de incendio y explosión es pequeño si está en forma de polvo fino cuando se expone a llamas o a superficies calientes.	Evitar el depósito del polvo; sistema cerrado, equipo eléctrico y de alumbrado a prueba de explosión del polvo.	Combatir el incendio desde un lugar protegido.
<b>EXPOSICION</b>		<b>-EVITAR TODO CONTACTO!</b>	<b>¡CONSULTAR AL MEDICO EN TODOS LOS CASOS!</b>
<b>• INHALACION</b>	Tos, diarrea, jadeo, dolor de garganta, vómitos, debilidad, piel grisácea.	Sistema cerrado y ventilación.	Aire limpio, reposo, respiración artificial si estuviera indicada y proporcionar asistencia médica.
<b>• PIEL</b>	Enrojecimiento.	Guantes protectores y traje de protección.	Quitar las ropas contaminadas, aclarar la piel con agua abundante o ducharse.
<b>• OJOS</b>	Enrojecimiento.	Protección ocular combinada con la protección respiratoria si se trata de polvo.	Enjuagar con agua abundante durante varios minutos (quitar las lentes de contacto si puede hacerse con facilidad) y proporcionar asistencia médica.
<b>• INGESTION</b>	Diarrea, náuseas, vómitos, dolor de garganta y pérdida del conocimiento (para mayor información, véase Inhalación).	No comer, ni beber, ni fumar durante el trabajo. Lavarse las manos antes de comer.	Enjuagar la boca. Provocar el vómito ( <b>¡UNICAMENTE EN PERSONAS CONSCIENTES!</b> ) y proporcionar asistencia médica.
DERRAMAS Y FUGAS		ALMACENAMIENTO	ENVASADO Y ETIQUETADO
Evacuar la zona de peligro. NO verterlo al alcantarillado. Barrer la sustancia derramada e introducirla en un recipiente precintable, recoger cuidadosamente el residuo y trasladarlo a continuación a un lugar seguro. NO permitir que este producto químico se incorpore al ambiente. (Protección personal adicional: traje de protección completo incluyendo equipo autónomo de respiración).		A prueba de incendio. Medidas para contener el efluente de extinción de incendios. Separado de oxidantes fuertes, ácidos, halógenos, alimentos y piensos. Mantener en lugar fresco, bien cerrado y en lugar bien ventilado.	No transportar con alimentos y piensos. símbolo T R: 23/25 S: (1/2-)20/21-28-45 Clasificación de Peligros NU: 8.1 Grupo de Envasado NU: II IMO: contaminante marino. CE: 

## FICHA INTERNACIONAL DE SEGURIDAD QUÍMICA

<b>D A T O S I M P O R T A N T E S</b>	<b>ESTADO FISICO: ASPECTO</b> Cristales quebradizos, grises e inodoros.	<b>VIAS DE EXPOSICION</b> La sustancia se puede absorber por inhalación del aerosol, a través de la piel y por ingestión.
	<b>PELIGROS FISICOS</b>	<b>RIESGO DE INHALACION</b> La evaporación a 20°C es despreciable; sin embargo, se puede alcanzar rápidamente una concentración nociva de partículas en el aire.
	<b>PELIGROS QUIMICOS</b> Por calentamiento intenso se producen humos tóxicos. Reacciona violentamente con oxidantes fuertes y halógenos, originando peligro de incendio y explosión. Reacciona con ácido nítrico, ácido sulfúrico caliente. En contacto con ácidos o sustancias ácidas y ciertos metales (p.ej. galvanizados, metales ligeros) se forma gas tóxico de arsina.	<b>EFFECTOS DE EXPOSICION DE CORTA DURACION</b> La sustancia irrita los ojos, la piel y el tracto respiratorio. La sustancia puede causar efectos en el sistema circulatorio, sistema nervioso, riñón y tracto gastrointestinal, dando lugar a convulsiones, alteraciones renales, graves hemorragias, pérdida de fluidos y electrolitos, shock y muerte. La exposición puede producir la muerte. Los efectos pueden aparecer de forma no inmediata. Se recomienda vigilancia médica.
	<b>LIMITES DE EXPOSICION</b> TLV (como TWA): 0.01 mg/m <sup>3</sup> (como As) A1 (ACGIH 1997-1998).	<b>EFFECTOS DE EXPOSICION PROLONGADA O REPETIDA</b> El contacto prolongado o repetido con la piel puede producir dermatitis. El contacto prolongado o repetido puede producir sensibilización de la piel. La sustancia puede afectar a las membranas mucosas, piel, riñón e hígado, dando lugar a neuropatías, desórdenes en la pigmentación, perforación del tabique nasal y alteraciones tisulares. La sustancia es carcinógena para los seres humanos.
<b>PROPIEDADES FISICAS</b>	Punto de sublimación: 613°C Densidad relativa (agua = 1): 5.7	Solubilidad en agua: Ninguna.
<b>DATOS AMBIENTALES</b>	La sustancia es tóxico para los organismos acuáticos. Se aconseja firmemente impedir que el producto químico se incorpore al ambiente.	
<b>NOTAS</b>		
La sustancia es combustible pero no se encuentra referenciado en la bibliografía el punto de inflamación. Está indicado examen médico periódico dependiendo del grado de exposición. NO llevar a casa la ropa de trabajo. NO utilizar cerca de un fuego, una superficie caliente o mientras se trabaja en soldadura. Consúltese las FISQ referidas a compuestos de arsénico.		
<b>INFORMACION ADICIONAL</b>		
FISQ: 5-023 ARSENICO		
ICSC: 0013	© CCE, IPCS, 1994	<b>ARSENICO</b>
<b>NOTA LEGAL IMPORTANTE:</b>	Ni la CCE ni la IPCS ni sus representantes son responsables del posible uso de esta información. Esta ficha contiene la opinión colectiva del Comité Internacional de Expertos del IPCS y es independiente de requisitos legales. La versión española incluye el etiquetado asignado por la clasificación europea, actualizado a la vigésima adaptación de la Directiva 67/548/CEE traspuesta a la legislación española por el Real Decreto 363/95 (BOE 5.8.95).	

## **9. BIBLIOGRAFÍA.**

### ***Webs de fabricantes de células y de paneles solares y otras webs consultadas:***

- T-SOLAR: <http://www.tsolar.com>
- SOLARONIX: <http://www.solaronix.com>
- SUNTECH: <http://eu.suntech-power.com>
- FIRST SOLAR: <http://www.firstsolar.com>
- SILIKEN: <http://www.siliken.com>
- DC WAFERS: <http://www.dcwafers.com>
- ISOFOTON: <http://www.isofoton.com>
- MITSUBISHI ELECTRIC: <http://www.mitsubishielectric.es>
- ENF: <http://www.enf.cn>
- EUROPEAN PHOTOVOLTAIC INDUSTRY ASSOCIATION: <http://www.epia.org>
- ECOLOGISTAS EN ACCIÓN: <http://www.ecologistasenaccion.org>
- FICHAS DE SEGURIDAD: <http://www.fichasdeseguridad.com>
- INSTITUTO NACIONAL DE SEGURIDAD E HIGIENE EN EL TRABAJO: <http://www.insht.es>

### ***Libros, artículos y publicaciones:***

#### **Energía solar fotovoltaica y procesos de fabricación**

- *Energía solar fotovoltaica, Castañer Muñoz, Luis M.* Publicación: Barcelona: Edicions UPC, 1994

#### **Reciclado de paneles solares**

- Proyecto de GAIKER, ISOFOTÓN (2005)  
[http://www.lageneraciondelsol.com/documentos/documentacion/reciclado\\_integral\\_de\\_paneles\\_solares\\_de\\_silicio\\_cristalino.pdf](http://www.lageneraciondelsol.com/documentos/documentacion/reciclado_integral_de_paneles_solares_de_silicio_cristalino.pdf)
- “*Optimización del ciclo de vida de los paneles fotovoltaicos*”: Mi Ra Kim, Viviana Goldsmidt, Rosa Pampena, Karina Marcos, Ana María Martínez. Grupo de Estudios Sobre Energía, Facultad Regional Buenos Aires, Universidad Tecnológica Nacional.

#### **Problemas de contaminación y toxicología de los paneles solares**

- *Life cycle impact analysis of cadmium in CdTe PV production.* Vasilis M. Fthenakis. National Photovoltaic Environmental Health and Safety Assistance Center, Environmental Sciences. USA. 1 December 2003.

- Artículo de Prensa: *Cadmio en paneles fotovoltaicos* (Octubre de 2010). Ver artículo en el apartado de Anexo.
- Energía Solar Fotovoltaica (Comisión Nacional para el uso eficiente de la energía):  
<http://www.conae.gob.mx/work/sites/CONAE/resources/LocalContent/7067/2/fotovoltaica.pdf>
- Curso de Energía Solar Fotovoltaica (Universidad de Jaén):  
[http://www.ujaen.es/investiga/solar/07cursosolar/home\\_main\\_frame/03\\_celula/01\\_basico/3\\_celula\\_05.htm](http://www.ujaen.es/investiga/solar/07cursosolar/home_main_frame/03_celula/01_basico/3_celula_05.htm)
- Textos científicos de energía con células solares:  
<http://www.textoscientificos.com/energia/celulas>.
- Silicosis y otras neumoconiosis (Comisión de salud pública):  
<http://www.msps.es/ciudadanos/saludAmbLaboral/docs/silicosis.pdf>.
- Ficha de seguridad del xilano (Dipistol): <http://www.dipistol.com/seguri/s15.html>
- Ficha de seguridad del diborano (INSHT):  
<http://www.insht.es/InshtWeb/Contenidos/Documentacion/FichasTecnicas/FISQ/Ficheros/401a500/nspn0432.pdf>
- Ficha de seguridad de la fosfina:  
[http://www.toxicologia.cl/descargas/FICHAS/FOSFINA\\_FICHA.pdf](http://www.toxicologia.cl/descargas/FICHAS/FOSFINA_FICHA.pdf)
- Ficha de seguridad del ácido sulfúrico (INSHT):  
<http://www.insht.es/InshtWeb/Contenidos/Documentacion/FichasTecnicas/FISQ/Ficheros/301a400/nspn0362.pdf>
- Photovoltaics Energy Payback Times, Greenhouse Gas Emissions and External Costs: 2004–early 2005 Status. [http://www.bnl.gov/pv/files/pdf/abs\\_199.pdf](http://www.bnl.gov/pv/files/pdf/abs_199.pdf)
- Article: “The ugly side of solar panels” (Low-tech Magazine):  
<http://www.lowtechmagazine.com/2008/03/the-ugly-side-o.html>.

## **10. ANEXO.**

### ***ARTÍCULO PRENSA: Cadmio en paneles fotovoltaicos (Octubre de 2010)***

La Asociación Europea de la Industria Fotovoltaica y el Consejo Europeo de Energías renovables, dos potentes lobbies apoyados por la empresa norteamericana FirstSolar que fabrica paneles solares con una tecnología basada en telurio de cadmio, pretenden excluir los módulos fotovoltaicos del cumplimiento de la directiva RoHS (Restriction of Hazardous Substances) de restricción de sustancias peligrosas. La alternativa a esta tecnología contaminante es la que utiliza silicio cristalino, una sustancia neutra e inocua.

El cadmio es un metal pesado, poco común y muy tóxico, de una toxicidad similar a la del mercurio. La exposición al cadmio puede causar cáncer de pulmón, próstata, riñones y vejiga urinaria, lesión pulmonar, enfisema, bronquitis, fragilidad de los huesos, edema pulmonar, dificultad respiratoria, anemia, rinitis, lesiones renales, ... La directiva ROHS limita su uso a las pilas eléctricas y las baterías recargables.

En abril de 2010, y para -supuestamente- fomentar las energías renovables, el Parlamento Europeo aprobó una exención a la prohibición de uso del cadmio a favor de la industria de las energías renovables, lo que supuso una victoria para FirstSolar. Ahora la Comisión y el Consejo deben refrendar esta decisión.

Ecologistas en Acción afirma que hay razones toxicológicas y de escasez de los minerales para restringir el uso del cadmio, en forma de telurio de cadmio (CdTe), y que no está en riesgo, en absoluto, el cumplimiento de los objetivos de las energías renovables en Europa. Estas fuentes de energía han de ser sostenibles y respetuosas con el medio ambiente y la protección de la salud. Los paneles pueden romperse o liberar cadmio debido distintas causas como incendios, contaminando el suelo y las aguas superficiales o subterráneas. Actualmente existe tecnología viable que permite hacerlos inocuos. Debe aplicarse el principio de precaución y la sensatez para evitar que dentro de 10 ó 15 años se produzca una grave contaminación en la cadena alimentaria humana si se generaliza el cadmio en la industria fotovoltaica.

Como mínimo, la Comisión Europea debería realizar un estudio extenso e independiente sobre la estabilidad y toxicidad del CdTe en los paneles fotovoltaicos antes de decidir sobre su exclusión de la Directiva ROHS.