

### Problem 1

Explicar con detalle, las diferencias entre la estructura, funcionamiento y utilidades de un calentador solar y de una celda solar.

*Solution:* La principal diferencia entre estos dos sistemas (véase Figura: 1) radica en el objetivo de cada uno por un lado el calentador solar (*sistema (b)*) o como me gusta llamarlo “colector solar” su propósito es calentar agua mediante los tres métodos de transferencia de calor que más adelante explicare. En el caso de la celda solar lo que hace es convertir la energía lumínica proveniente del sol, en energía eléctrica mediante el fenómeno de par electrón hueco y lo que vemos en la figura 1 como sistema (a) es un modulo o panel fotovoltaico de varias celdas solares interconectadas.

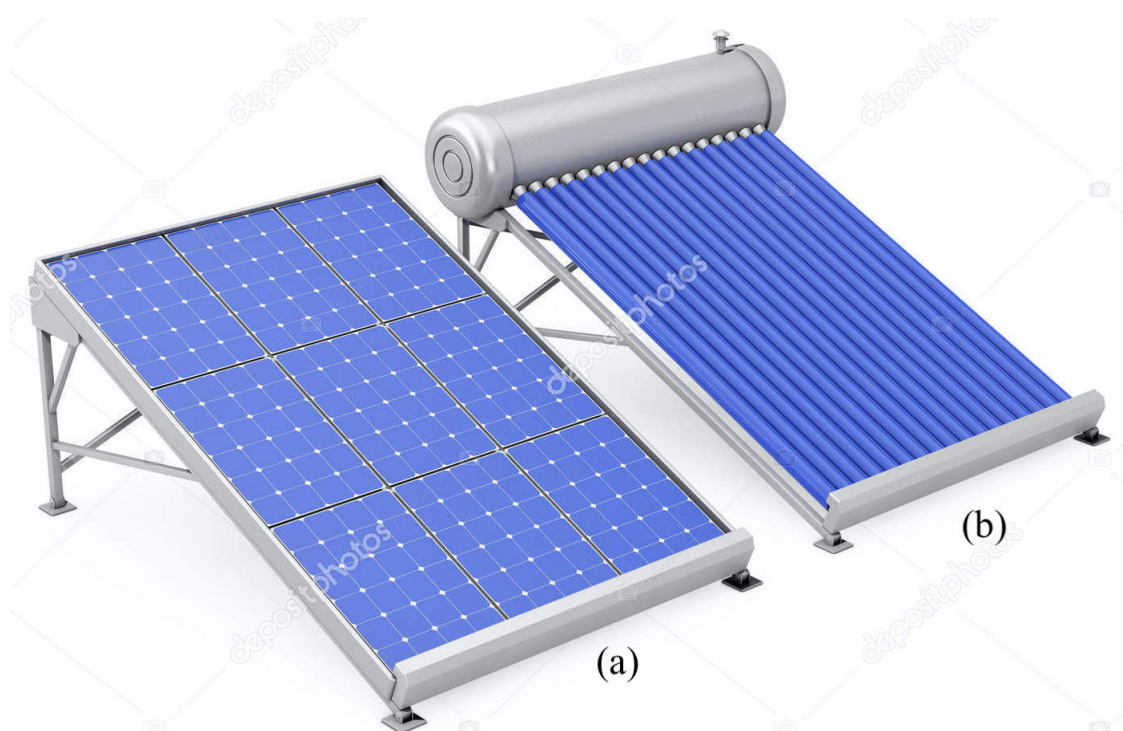


Figura 1: Imagen de dos sistemas de captación de energía solar, siendo el sistema (a) Un modulo de celdas solares y el (b) un calentador solar. Gráfica tomada de la pagina web: [link](#)

### Modulo o panel fotovoltaico

#### Estructura

La estructura de la celda solar es la unión de dos tipos de semiconductores uno de tipo **p** y otro de tipo **n**, uno con exceso de huecos y el otro con exceso de electrones correspondientemente. Esta unión p-n es la base ya que se le agregan más materiales como se puede ver en la figura 2, esto para propiciar la recombinación de los portadores de carga y los huecos además de la transformación y transporte de energía eléctrica para su posterior uso o bien almacenamiento. De manera que la estructura que posee una celda solar es de Tándem o sandwich por que son una pila de materiales cada uno con un espesor demasiado pequeño menor que una micra siendo esta una millonésima parte de un metro. Existen deferentes geometrías o formas en las que podemos encontrar a las celdas solares como se pude ver en la figura 3, sin embargo las de geometría rectangular o cuadradas son mas comunes y mayormente utilizadas ya que poseen una

ventaja sobre las demás y es que cubren mayor área, por ejemplo en la matriz de celdas circulares hay huecos en blanco la energía solar que llegue a esa área no será aprovechada lo cual significa un desperdicio de energía potencialmente útil y eso no podemos permitirnoslo.

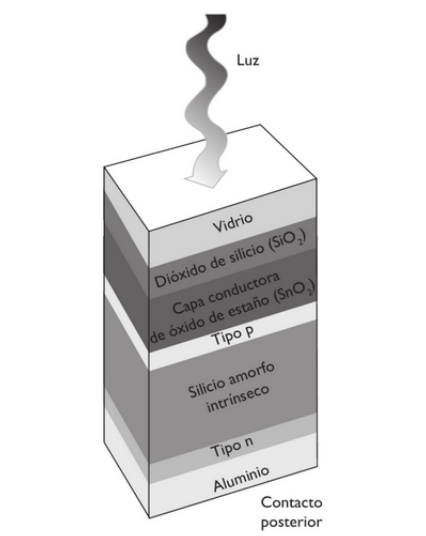


Figura 2: Estructura de una célula fotovoltaica o solar. *Imagen tomada del libro:[1]*

Hasta ahora he descrito la estructura de una y solo una celda solar, sin embargo lo que el vulgo conoce como celda solar es un ordenamiento de varias celdas solares interconectadas entre si con la finalidad de obtener mayor corriente o voltaje dependiendo como se interconecten en serie o en paralelo. De manera comercial las “celdas solares” que a partir de aquí las llamareé módulos fotovoltaicos (*módulos PV*) poseen una geometría rectangular esto es para cubrir mayor área ( $m^2$ ) radiada por la incidencia de la luz del sol, esto se traduce en que si nuestro modulo fotovoltaico abarca mayor área su índice de captación de energía lumínica será mayor.

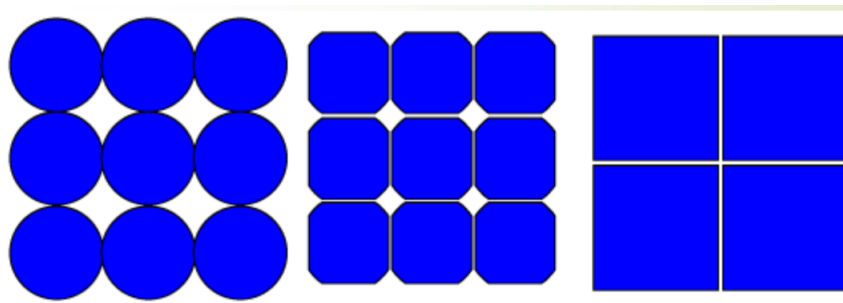


Figura 3: Diferentes geometrías de la celdas solares.

De forma comercial los módulos PV consisten en una cierta cantidad (típicamente 36) de celdas solares interconectadas eléctricamente y encapsuladas dentro de una sencilla, durable y estable estructura. Para proteger de medio ambiente, daño mecánico, corrosión por agua, vapor o humedad. Los módulos PV de silicio garantizan tiempos de vida de más de 20 años, lo que indica un robustez del encapsulado. Una garantía típica indica que el módulo produce el 90 % de su potencia nominal durante los primeros 10 años y el 80 % de su potencia nominal de hasta 25 años.

### Funcionamiento

El funcionamiento de una celda solar y de un modulo PV empieza cuando incide sobre su superficie la luz solar (*photones*), la cual al interaccionar con los semiconductores empezara un proceso de recombinación par electrón-hueco si y solo si la estos cuantos poseen una energía,  $E \geq E_g$ , que el ancho de banda típicamente 1.1 eV para el Silicio (Si), cuando pase esto los electrones que yacen en la banda de valencia serán promovidos

a la banda de conducción donde se generara un incremento de potencial y por tanto una corriente eléctrica que saldrá por las terminales para su uso.

Se debe de hacer mención de algunos factores que pueden provocar una disminución en el rendimiento de la tecnología PV y estos son la temperatura, el polvo y el sombreado, aunque pareciera que no hay relación entre estos debe de tenerse en cuenta que están fuertemente relacionados y que si no se tiene la precaución necesaria puede conducir a efectos destructivos para la celda o el modulo PV. Que una celda solar sea parte de un modulo PV y este sombreada (por cuerpos opacos o por capas de polvo), o que no le este incidiendo luz a diferencia de las demás de la matriz como se ve en la figura 4, implica que no hay generación de corriente por lo que esta es vista por las demás celdas del modulo PV como una resistencia y esto conduce a una gran disipación de energía resultando en un sobrecalentamiento local, o “puntos calientes”, lo que puede conducir a agrietamientos, la fusión de la soldadura o la degradación de todas las celdas o del modulo PV en su totalidad.

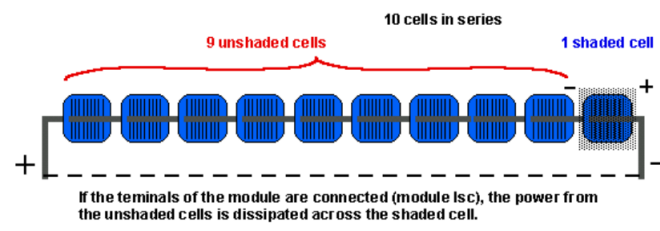


Figura 4: Celdas solares interconectadas donde una yace sombreada.

Para dar solución a estos problemas se hace uso de dos diferentes tipos de diodos el primero el diodo “bypass” este diodo tiene como tarea proporcionar un camino de alivio que evita la circulación de corriente por la celda sombreada. El segundo diodo es el de bloqueo que impide el flujo de corriente de la batería hacia el generador fotovoltaico cuando este no esta en uso.

La mayoría de los módulos PV de silicio constan de una superficie superior transparente, un encapsulante, una capa posterior y un marco alrededor del borde exterior. En la mayoría de los módulos, la superficie superior es de vidrio, el encapsulante de EVA (acetato de vinilo) y la capa trasera es Tedlar (material polimérico), como se muestra en la figura 5.

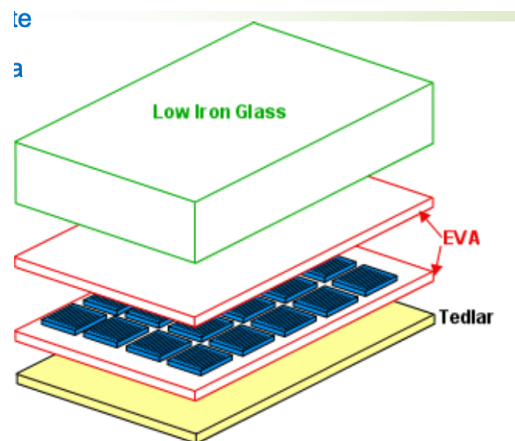


Figura 5: Estructura de un modulo PV.

## Utilidades

Una celdas solar tiene una diversidad de utilidades, de manera general es una forma de suministro de energía eléctrica sin llegar a impactar de manera significativa al medio-ambiente en comparación con el uso de combustibles fósiles, además de que es una tecnología que no causa ruido y es relativamente portátil. Las desventajas que presenta es que a diferencia de la demás formas de generación de energía eléctrica la

cantidad es menor y esto es por la eficiencia de conversión que es relativamente bajo aunque aun se sigue investigando alrededor del mundo para aumentar la eficiencia de las celdas solares. La segunda desventaja es el costo inicial de la inversión el cual es alto para algunos países, lo cual hace que los entusiastas por este tipo de tecnología opten por lo tradicional (*combustibles fósiles*). Sin embargo esto no ha detenido algunos para integrar a su vida esta tecnología los cuales se han visto beneficiados y han visto recuperado su inversión en un periodo menor a cinco años. Téngase en cuenta que mencionamos en la primera sección que un modulo PV tiene en promedio una vida útil de veinte años.

## Calentador o colector solar

### Estructura

Un calentador solar típicamente esta compuesto por las siguientes partes:

- **Tubos de vidrio al vacío:** Que sirven para capturar la energía solar y circular el agua por todo el sistema.
- **El tanque térmico:** Que es donde se almacena el agua caliente y se mantiene a altas temperaturas, es 100 % de acero inoxidable y resistente a la intemperie.
- **La estructura de aluminio:** La cual es de acero inoxidable y soporta el peso de los tubos y del tanque.

### Funcionamiento

El funcionamiento del calentador solar (*véase:* Figura 6) comienza cuando la radiación proveniente del sol incide sobre los tubos al vacío estos están constituidos por materiales térmicamente conductores, lo cual hace que la temperatura de cada tubo aumente con relación a la intensidad y el tiempo de exposición a los rayos del sol. Recordemos que dentro de estos tubos(*cilindro interno*) yace el agua la cual empezara a calentarse por conducción y empezara a moverse por convección hasta alcanzar un equilibrio térmico con el agua proveniente del tanque térmico que esta a menor temperatura, para que al final toda el agua en el sistema este a la misma temperatura.

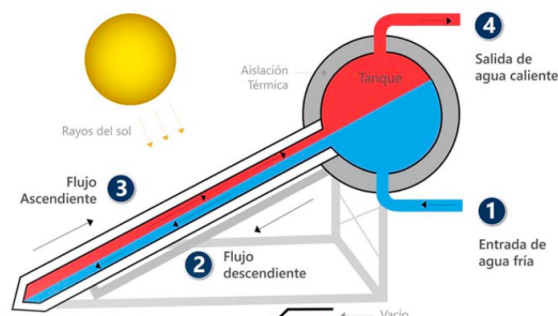


Figura 6: Diagrama de un calentador solar. Gráfica tomada de la pagina web:[link](#)

### Utilidades

- Calentar agua sin la necesidad de consumir gas o electricidad, en una solución que es en su totalidad es sustentable y ecológica.

## Problem 2

Mencionar los métodos de síntesis física y química de materiales de uso energético y luego escoger en cada caso, uno de ellos y explicar con detalle sus bases, su aplicabilidad, sus parámetros de funcionamiento, sus ventajas y desventajas, etc.

### *Solution:*

Algunas de las técnicas de preparación de recubrimientos se basan en la deposición física y química de películas delgadas a partir de la fase vapor (“physical vapor deposition” (PVD) y “Chemical vapor deposition” (CVD), respectivamente). Las técnicas englobadas en ambos grupos parten de la formación de un vapor de algún material a depositar, con la finalidad de que el vapor se condense sobre la superficie de un sustrato formando una capa delgada.<sup>[2]</sup> Este proceso, se realiza generalmente al vacío, o bien, en una atmósfera controlada con el objeto de evitar que el vapor generado del sólido interactúe con la atmósfera del aire que contiene materiales contaminantes.

En el grupo de las técnicas **físicas**, se parte de un material sólido que se vaporiza mediante calentamiento (*evaporación*) o bien, a partir del bombardeo con iones energéticos; así, el material termina condensándose sobre la superficie de un sustrato en forma de una capa o película delgada.

En el grupo de las técnicas **químicas** se parte directamente de gases o líquidos que luego pasan al estado gaseoso. Estos gases, mediante reacciones que se condensan sobre la superficie del sustrato, tal y como sucede con el grupo anterior.

### Procesos Físicos

- Sputtering
- Evaporación Térmica
  - Evaporación térmica del vacío
  - Ablación Laser
  - Crecimiento Epitaxial
  - Cañón de iones
  - Cañón de electrones
- MBE

### Procesos Químicos

- Sol-Gel
- Spray-pirólisis
- Plasma CVD
- Baño Químico
- Láser CVD

### Método de síntesis químico de materiales

- **Deposito mediante Spray pirólisis:** Esta técnica tomó fuerza en los años de 1970 y durante los años de 1980, no siendo retomada de forma generalizada hasta el final de los años de 1990 cuando se demostró que además de ser simple, continua y por tanto fácilmente escalable era muy versátil. En concreto, el detonante fue el trabajo del grupo Brinker publicado en la revista Nature en el año

de 1999 en el que demostraba que se podía utilizar para la obtención de materiales con porosidad controlada.[3]

El rocío químico o rocío pirolítico consiste en la pirólisis y /o hidrólisis de un aerosol que llega a un sustrato donde ocurre la descomposición térmica de un compuesto. Esta es una técnica relativamente simple y económica, para obtener películas homogéneas y con buena adherencia al sustrato donde crecen. Si la forma de producir el rocío es a partir de un nebulizador neumático, el método de producir películas se conoce como rocío pirolítico neumático. Si el rocío se obtiene a partir de un generador ultrasónico, se le llama rocío piroso.[4]

Una de las principales ventajas que tienen las técnicas de pirólisis de aerosoles, radica en el proceso de romper la solución de partida en gotas independientes mediante la atomización, donde cada gota contiene la estequiometría y composición de la solución original. Cuando el aerosol atomizado llega a las cercanías del sustrato caliente, el disolvente contenido se evapora y los productos resultantes de la reacción pirolítica se depositan sobre la superficie del sustrato.

Con la temperatura se tiene el control de la reacción química durante el proceso de depósito lo cual determina las propiedades del material depositado. La cristalinidad es un ejemplo de las propiedades que dependen de la temperatura de síntesis y de la cual se desprenden el resto de las propiedades del material.

En cuanto a las propiedades del sustrato, este debe ser elegido en función de sus propiedades térmicas ya que la temperatura de depósito debe de permanecer estable a lo largo del crecimiento. La naturaleza del sustrato tiene gran influencia en la morfología superficial, la adherencia y la cristalinidad de la película depositada. Para un sustrato policristalino, por ejemplo, se inducirá el crecimiento policristalino del material debido a la gran cantidad de centros de nucleación presentes. La tasa de depósito es un parámetro que depende de la temperatura, de la concentración de la solución y de la cantidad de aerosol que llega al sustrato.

### Método de síntesis físico de materiales

- **Sputtering o erosión iónica:** La erosión iónica es uno de los muchos efectos que tienen parte cuando partículas energéticas o altamente energéticas impactan en un sólido, en específico en su superficie. A manera de resumen el Sputtering es la expulsión de átomos superficiales debido a una transferencia de cantidad de movimiento que se da a través de una cascada de colisiones.

También se le conoce como erosión iónica por que el sólido usado o también llamado blanco es erosionado debido a los impactos de las partículas energéticas o iones(partículas cargadas), lo cual implica que el blanco debe de estar a un potencial negativo para atraer al mayor número de iones y que estos sean acelerados con un campo eléctrico para que puedan impactar la superficie del blanco con la suficiente cantidad de movimiento para que los átomos superficiales del blanco salgan eyectados y vayan a depositarse al sustrato formando una estructura sólida llámese película delgada o recubrimiento.

Existen distintos conceptos y factores a tomar en cuenta previo a la colisión, eyección y depósito del material. Uno de estos es la producción de iones ya que estos son los portadores de energía, son la razón del efecto Sputtering, además de que si tenemos clara su naturaleza, sabremos o tendremos una idea del comportamiento macroscópico del plasma(fuente de iones).

A continuación escribo los conceptos que me parecen importantes tomar en cuenta al momento de la producción de iones y doy una pequeña descripción de cada uno.

- **Ionización:** Es la mínima cantidad de energía para arrancar un electrón de la banda de valencia de un átomo, esta energía tiene un comportamiento que va creciendo de izquierda a derecha y de abajo hacia arriba en la tabla periódica con algunas excepciones, debido al apantallamiento que sufre el electrón de la última capa con los de los niveles más internos, también si el átomo tiene electrones aparejados o no.

- **Excitación:** Es la mínima cantidad de energía para que un electrón pase de estar de un estado de baja energía a una mayor en el átomo.
- **Relajación:** Es el caso inverso a la excitación el electrón que a sido promovido a un estado de mayor energía tiende a regresar a su estado base por así decirlo en ese íter se emite un fotón con energía igual a la diferencia entre el estado excitado y el estado base del electrón.
- **Recombinación:** Es el caso inverso a la ionización, se da cuando un átomo ionizado atrapa a un electrón libre para formar un átomo neutro, esto se da más que nada en la superficie del solido.

Es menester también tomar en cuenta la interacción ión-solido. Como sabemos al potencial de ionización se le estudia usando átomos en su estado gaseoso, esto es por que no hay influencia de los átomos vecinos y por lo tanto no existen fuerzas intermoleculares. Pero para el caso del Sputtering se utiliza un solido por lo que se debe tomar en cuenta la función de potencial de intercambio, aunque se puede optar por algo menos riguroso pero efectivo que es considerar solo las interacciones a primeros vecinos incluyendo al ión, esto por que las interacciones ión-blanco son de corto alcance.

También podríamos decir que el Sputtering es un proceso estadístico que se presenta como el resultado de un intercambio lineal, también podríamos hablar sobre los casos frontera donde un ión presenta una masa mucho menor a la masa de los átomos superficiales y sus consecuencias en el sistema pero creo que esa información queda fuera del objetivo de la pregunta.

## Tipos de Sputtering

Normalmente el proceso de erosión catódica esta dividido en 4 categorías principales:

- DC (Corriente directa)
- RF (Radio Frecuencia)
- Magnetron
- Reactiva

Entre estas cuatro variantes existen variantes importantes e inclusive en combinaciones híbridas (Por ejemplo, RF reactivo). Sin embargo las técnicas de erosión catódica más utilizada son el magnetron dc y Sputtering rf. En todos los casos las partículas son expulsadas por el mismo mecanismo de transferencia de momento entre las partículas de energía y los átomos de la superficie del blanco.

## Algunas aplicaciones del Sputtering y las ventajas que tiene sobre otros métodos de deposito

El Sputtering cuanta con las siguientes aplicaciones:

- Limpieza
- Gravado de superficies
- Deposito de películas delgadas y recubrimientos

Sus ventajas son las siguientes:

- Puede ser aplicado incluso en materiales con un elevado punto de fusión a diferencia de técnicas de evaporación por calentamiento.
- Se puede realizar de manera top-down.



- Se pueden obtener acabados superficiales de la misma calidad del sustrato.
- Gran variedad en la naturaleza de los depósitos, ya que puede ser cualquier metal, aleaciones, compuestos refractarios, materiales dieléctricos (Sputtering con RF), algunos polímeros, etc.
- Parámetros de depósito reproducibles.
- Control del espesor del recubrimiento.

Por otra parte sus desventajas son:

- No se puede controlar exactamente el lugar al que los átomos liberados se dirigen.
- El gas utilizado puede quedar como impurezas en la capa que se está formando.
- Se requiere de un control activo complejo para realizar los crecimientos capa por capa.

### Problem 3

Explicar con detalle las celdas de combustible y de las baterías.

*Solution:*

#### Celdas de Combustible

Las celdas de combustible pueden ser consideradas baterías secundarias en las que la energía química se encuentra almacenada en un depósito externo, en vez de en el propio electrodo, como en las baterías. El combustible o compuesto químico, en cuyos enlaces se encuentra acumulada la energía, es llevado hasta la superficie de un electrodo, al que cede los electrones, mientras que al otro electrodo se le hace llegar el comburente (agente oxidante), oxígeno, con orbitales vacíos de menor energía que los orbitales llenos del combustible. Lo que el sistema electroquímico hace es poner en contacto combustible y oxígeno a través de dos electrodos y de un circuito eléctrico externo, de tal forma que la reacción espontánea de cesión de electrones del combustible al oxígeno tiene lugar a través de un circuito externo en forma de corriente eléctrica. De acuerdo con la ecuación de Nernst ( $\Delta G = -nFE$ ), se puede considerar que la diferencia de energía libre entre los orbitales llenos del combustible y vacíos del oxígeno es equivalente a una diferencia de potencial capaz de generar una corriente eléctrica. La energía libre termodinámica se gasta, en parte, en vencer las resistencias a las transferencias de carga, transporte de materia y resistencia óhmica del electrolito, en ambos electrodos, y lo que quedaría sería la energía eléctrica útil, que puede ser alrededor del 60 al 70 % de la energía que se obtendría si el proceso se verificara de forma termodinámicamente reversible.

#### Baterías

Las baterías son dispositivos electroquímicos que pueden convertir energía eléctrica en energía química y almacenarla durante intervalos de tiempo en los que la electricidad no es necesaria. Este almacenamiento no puede ser indefinido, pues en este estado de carga aparecen compuestos y elementos químicos con un elevado contenido de energía libre, lo que induce una tendencia a la producción de reacciones espontáneas que conducen al sistema a un estado de mínima energía. Cuando, por conexión a un circuito eléctrico externo se facilita el paso de electrones a través del mismo, se produce la transformación de productos químicos con elevado contenido de energía libre en otros con un contenido menor. Estas transformaciones se producen por transferencias de electrones hacia y desde los electrodos y a través de un circuito externo, lo que da lugar a que esa diferencia de energía libre se convierta, en proporción elevada, en el trabajo eléctrico útil.



**Problem 4**

Explique un caso de remediación ambiental en el caso de contaminantes aéreos o acuáticos.

*Solution:*

El Dióxido de nitrógeno ( $\text{NO}_2$ ) es un contaminante que se encuentra en la atmósfera es un subproducto en los procesos de combustión a altas temperaturas como en los vehículos motorizados y las plantas eléctricas. Por ello es frecuente en zonas urbanas.

Es posible disminuir la cantidad de este contaminante mediante la fotocatalisis el cual es un proceso de oxidación avanzada. Este proceso permite romper los enlaces de la molécula contaminante y eliminar su toxicidad. Durante este fenómeno se inician reacciones químicas mediante la producción de pares electrón-hueco, lo que conduce a la generación de radicales hidroxilo en la superficie del catalizador.

El fotocatalizador podría ser un producto que estuviera adherido a las paredes de los edificios como pintura o cemento y al interaccionar con la luz ultravioleta (UV), parte del espectro de emisión del sol, el fotocatalizador empezaría a romper los enlaces del contaminante que llegara a pegarse a las paredes del edificio.

**Problem 5**

Mencionar y describir los materiales cromógenicos, luego seleccione uno de ellos y explique con detalle, su funcionamiento y/o sus utilidades.

*Solution:*

A los materiales que cambian de color de manera reversible cuando son sometidos a un estímulo externo (calor, luz, presión, etc.) se les denomina materiales cromogénicos. Existe una variedad de estos materiales cada uno con propiedades peculiares que los hacen interesantes por lo que se tienen ciertas clasificaciones que engloban a materiales que poseen propiedades similares o con cierta relación. La clasificación base corresponde cuatro tipos de materiales: electrocromicos (EC), termocromicos (TC), fotocromicos (PC) y piezocromicos (PEC). El cambio en las propiedades ópticas se manifiestan en una variación de la absorción, reflectancia o dispersión que cada material presenta a diferentes longitudes de onda; es decir, tanto en el espectro visible como más allá de este.

### Materiales Termocromicos

Los materiales que presentan un comportamiento termocrómico son variados y pertenecientes a diferentes grupos como polímeros, semiconductores de estado sólido o cristales líquidos[5]. El efecto termocrómico puede ser brusco a cierta temperatura, o gradual, dentro de un rango de temperatura ( $T_s$ ), dependiendo del material involucrado, además se basa en el equilibrio químico entre dos formas diferentes de molécula o entre diferentes fases cristalinas.

Para aplicaciones en ventanas, el termocrómismo ha sido posible mediante el uso de recubrimientos de óxidos metálicos de transición como los óxidos de Vanadio ( $\text{V}_x\text{O}_y$ ) o el trióxido de tungsteno ( $\text{WO}_3$ ). En particular a temperatura ambiente los recubrimientos de dióxido de Vanadio ( $\text{VO}_2$ ) se comporta de manera eléctrica, como un semiconductor y son altamente transparentes en la región infrarroja (IR). Cuando estos recubrimientos son sometidos a tratamientos térmicos por encima de la temperatura de transición ( $T_s=68^\circ\text{C}$ ), el material experimenta una transición de fase. Junto con este cambio en la estructura cristalina, los recubrimientos de  $\text{VO}_2$  presentan un comportamiento eléctrico conductor, es decir, como un material metálico, y estos reflejan el rango infrarrojo (IR) cercano. Este efecto es útil para las aplicaciones de control solar adaptativo[6].

La transición es reversible, sin embargo muestran un comportamiento de histéresis; es decir un efecto “memoria”. Por ejemplo, cuando se enfría (*perdida de energía térmica*), el recubrimiento de  $\text{VO}_2$  estando en la fase metálica (*alta temperatura*), el material debe de alcanzar una temperatura por debajo de la

temperatura de transición,  $T_s$ , para que este recupere la estructura cristalina de la fase semiconductor así como sus propiedades, todo de manera gradual.

## Utilidades

### ■ Ventanas termocrómicas

Los recubrimientos termocrómicos basados en  $\text{VO}_2$  ofrecen un rendimiento óptimo en cuanto al confort interior basado en una relación ideal entre la temperatura de transición y la temperatura ambiental.

Aplicadas en edificios, las ventanas termocrómicas permiten optimizar el consumo energético del edificio gracias al alto porcentaje de luz transmitida tanto en estado transparente como en opaco. Las ventanas termocrómicas modifican automáticamente su transmitancia y, por tanto, su absorción de luz en relación con la temperatura de la superficie exterior. Inicialmente transparente, por encima de una temperatura de transición, que puede variar de 10 °C a 90°C, se vuelven opacas. Cuando la temperatura desciende por debajo del valor crítico, vuelven a ser transparentes.

---

## Referencias

- [1] Jaime González Velasco. *Energías renovables*. Reverte, 2009.
- [2] Milton Ohring. *Materials science of thin films*. Elsevier, 2001.
- [3] Michael L Hitchman and Klavs F Jensen. *Chemical vapor deposition: principles and applications*. Academic Press, 1993.
- [4] Robert G Palgrave and Ivan P Parkin. Aerosol assisted chemical vapor deposition of gold and nano-composite thin films from hydrogen tetrachloroaurate (iii). *Chemistry of Materials*, 19(19):4639–4647, 2007.
- [5] Marinella Ferrara and Murat Bengisu. Materials that change color. In *Materials that Change Color*, pages 9–60. Springer, 2014.
- [6] Sapna Shrestha Kanu and Russell Binions. Thin films for solar control applications. *Proceedings of the Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences*, 466(2113):19–44, 2010.