



Celdas solares con tintes fotosensibles

Versión 041019

Propiedades de las celdas solares

- Las celdas solares a base de silicio fueron desarrolladas por los laboratorios Bell hace aproximadamente 50 años y utilizan una unión p-n.
- La luz absorbida produce electrones y agujeros libres, que actúan como portadores de carga y están conectados a los electrodos (arriba y abajo) como se muestra en la Figura 1.

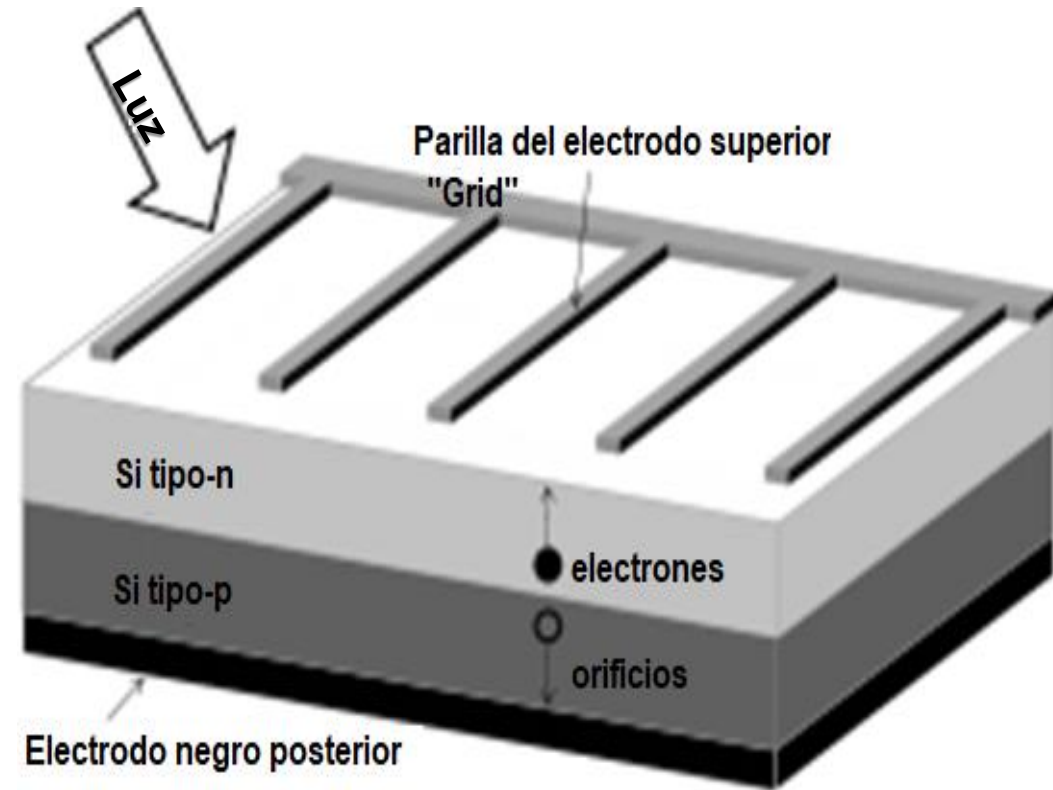


Figura 1

Propiedades de las celdas solares

- La corriente resultante producida puede conducir una carga externa o almacenada en una batería para utilizarse luego (Figura 2).
- Las celdas solares convencionales tienen una variedad de usos: en juguetes, para generar energía eléctrica para satélites o lugares remotos donde la red de distribución no tiene alcance.

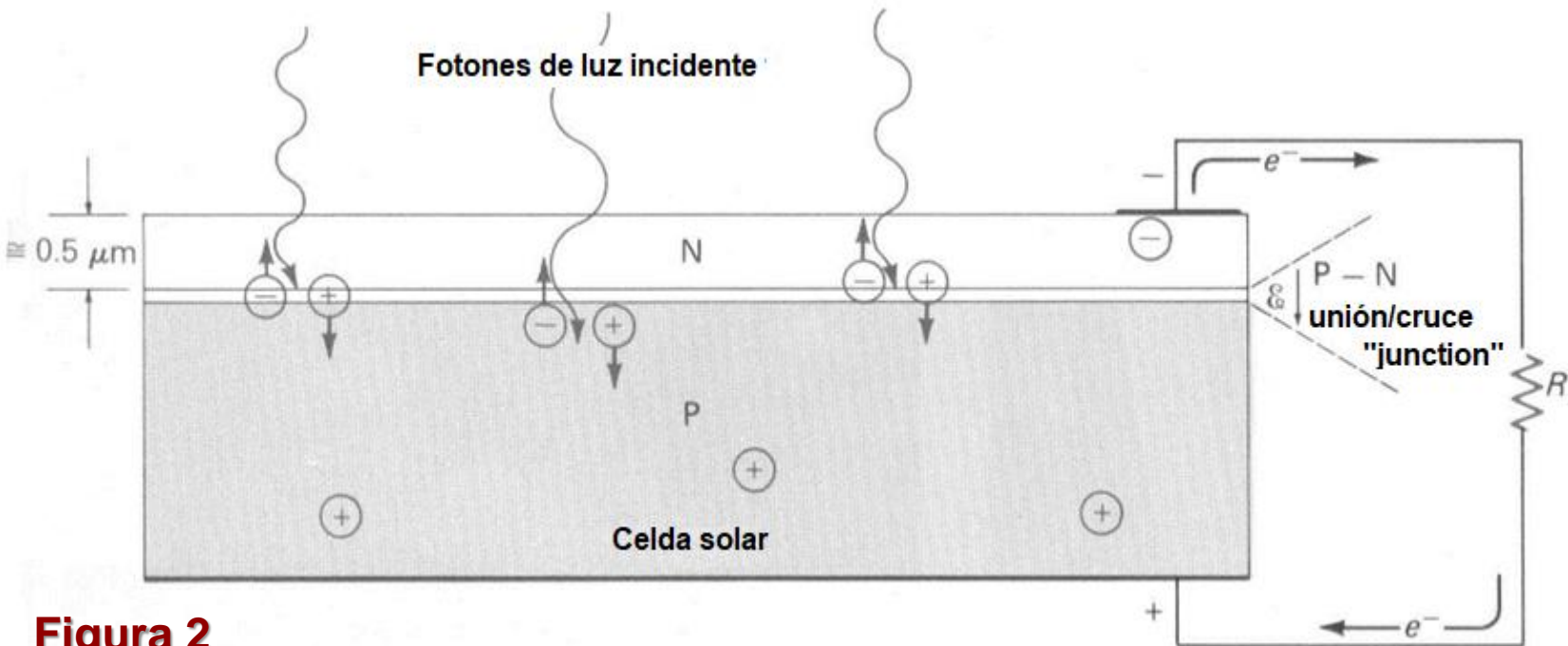
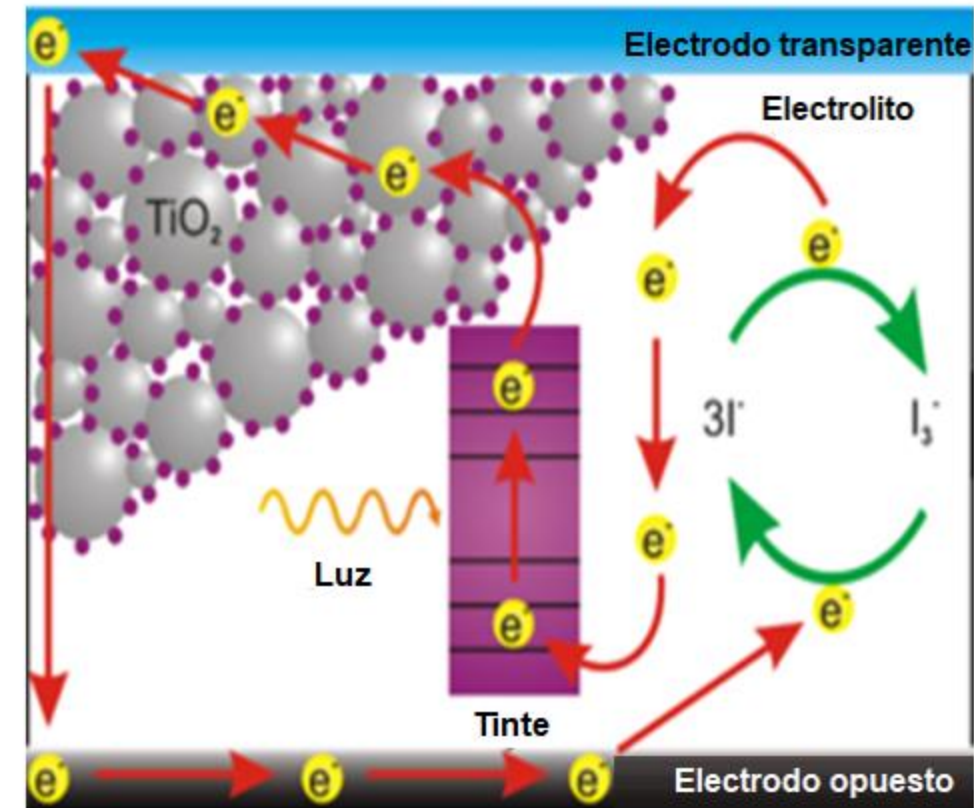
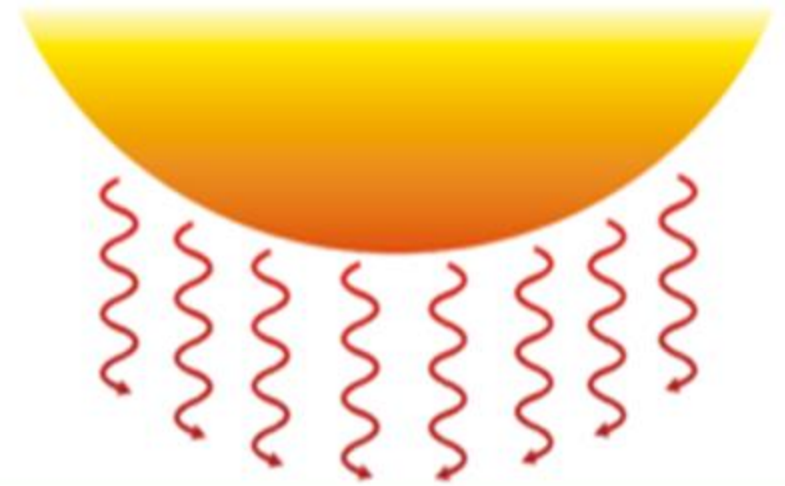


Figura 2

- Como estas celdas solares deben de construirse con silicio extremadamente puro, estos dispositivos usualmente son bien costosos como para competir con la electricidad generada a base de combustible fósil.

“DSC” vs. Celdas solares convencionales

- En este laboratorio, se construye una celda solar con tinte fotosensible (“DSC”) basado en un artículo publicado en “Nature” por O’Reagan & Gratzel en 1991¹.
- Consisten en celdas foto-electroquímicas; lo que significa que reacciones químicas foto-inducidas provocan que los electrones se transporten de un material a otro.
- Las “DSC” han desafiado las tecnologías fotovoltaicas convencionales de estado sólido al funcionar a nivel molecular y nano.



“DSC” vs. Celdas solares convencionales

- Las “DSC” han demostrado tener eficiencia de 12% en celdas pequeñas, al igual que exhiben datos prometedores de estabilidad, 1000 h estabilidad probada a 80°C ².
- Su funcionamiento es mejor que cualquier otra tecnología utilizando luz difuminada y en altas temperaturas.
- Las “DSC” ofrecen el potencial de diseñar celdas solares con gran flexibilidad en forma, color, transparencia; abriendo posibilidades para muchas aplicaciones comerciales.



Funcionamiento de las celdas solares con tintes fotosensibles

- Las celdas solares con tintes fotosensibles (“DSC”) consisten en una capa semiconductor nanoestructurada cubierta con moléculas de tinte orgánico. La nanoestructura entra en contacto cercano con una solución electrolítica que contiene un mediador de yoduro-triyoduro (Figura 3).

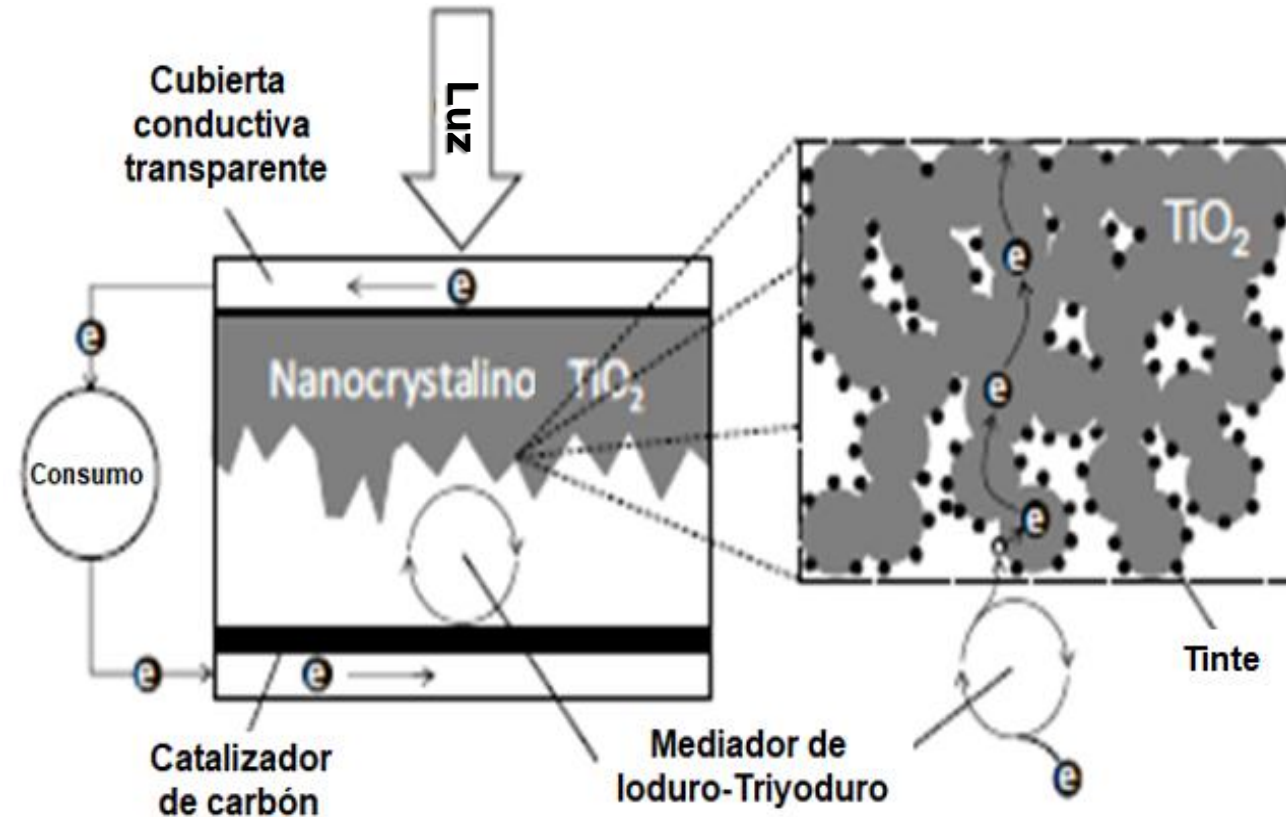


Figura 3. Estructura de una celda solar con tinte fotosensible.
Autorizado por la red “NACK RAIN”.

Funcionamiento de las celdas solares con tintes fotosensibles

- La capa y la solución se encuentran entre dos electrodos, lo que permite conexiones eléctricas a un circuito externo. Es importante que un electrodo (el que esté cubierto con nano cristales) sea transparente, mientras que el otro electrodo debe de cubrirse con un catalizador de carbono para facilitar la reducción del mediador de yoduro-triyoduro.
- Dado que la estructura anatasa de TiO_2 es un semiconductor con un estrecho de banda o brecha energética (“band gap”) de 3.2 eV, absorbe principalmente la luz ultravioleta en lugar de la luz visible.

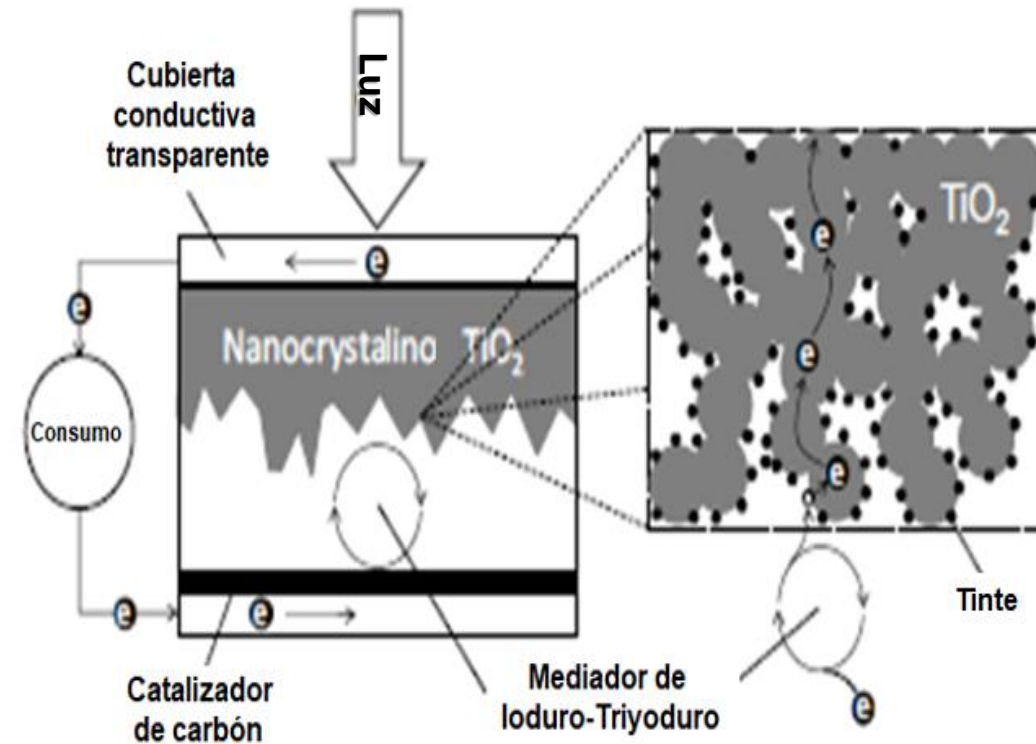


Figura 3. Estructura de una celda solar con tinte fotosensible. Autorizado por la red “NACK RAIN”.

Funcionamiento de las celdas solares con tintes fotosensibles

- Por otro lado, los tintes de antocianinas (frambuesas, bayas y cerezas “Bing”) son moléculas orgánicas que absorben la luz visible extremadamente bien. Esto les da un color rojo púrpura intenso. Cuando ciertos tintes de antocianina entran en contacto con TiO_2 , pueden reaccionar químicamente y adherirse a la superficie de los nano cristales, como se muestra en la Figura 4.
- La molécula de tinte actúa como un ligando y forma enlaces con átomos de titanio en la superficie de TiO_2 .
- Cuando las moléculas del tinte absorben la luz visible, pueden transferir los electrones foto excitados al TiO_2 .

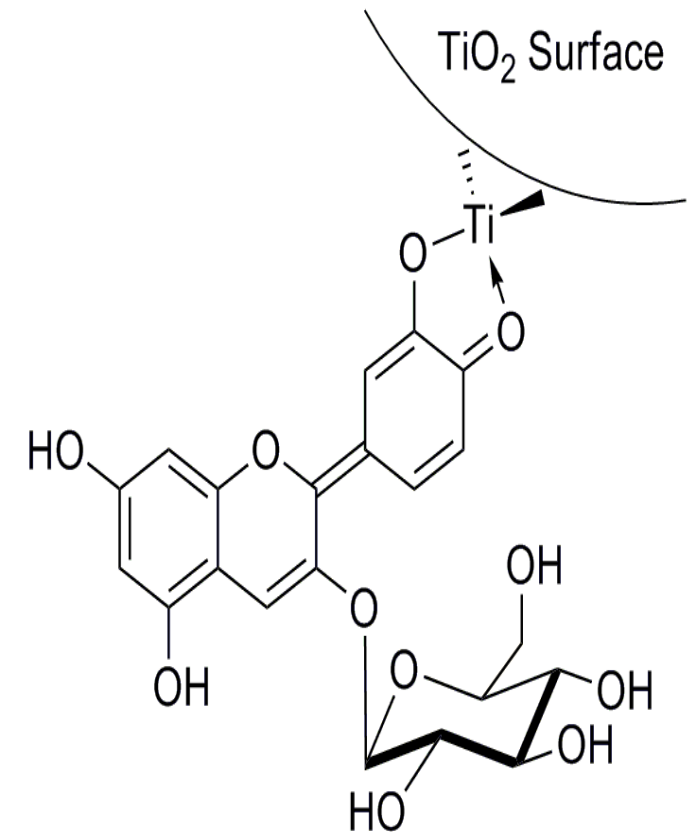


Figura 4. Superficie de una partícula de TiO_2 con una molécula de tinte orgánico. Autorizado por la red “NACK RAIN”.

Funcionamiento de las celdas solares con tintes fotosensibles

- El mediador de yoduro-triyoduro transfiere electrones a las moléculas oxidadas del tinte; esto da paso a que las moléculas del tinte se reduzcan a su estado original, mientras el mediador se oxida.
- Los electrones inyectados en el percolado de TiO_2 son recogidos por el electrodo superior.
- Luego de pasar por el circuito externo y posiblemente, utilizados para conducir una carga, los electrones alcanzan el electrodo opuesto cubierto con carbón.
- El carbón actúa como catalizador para transferir los electrones de regreso al mediador oxidado, reduciéndolo a su estado original y completando el circuito.

Recomendaciones útiles para la actividad de laboratorio

Se puede comprar un kit en “Institute of Chemical Education (ICE)”, el cual contiene los materiales para crear cinco celdas solares. Se pueden ordenar en:

ice.chem.wisc.edu/Catalog/SciKits.html#Anchor-Nanocrystalline-41703



Recomendaciones útiles para la actividad de laboratorio

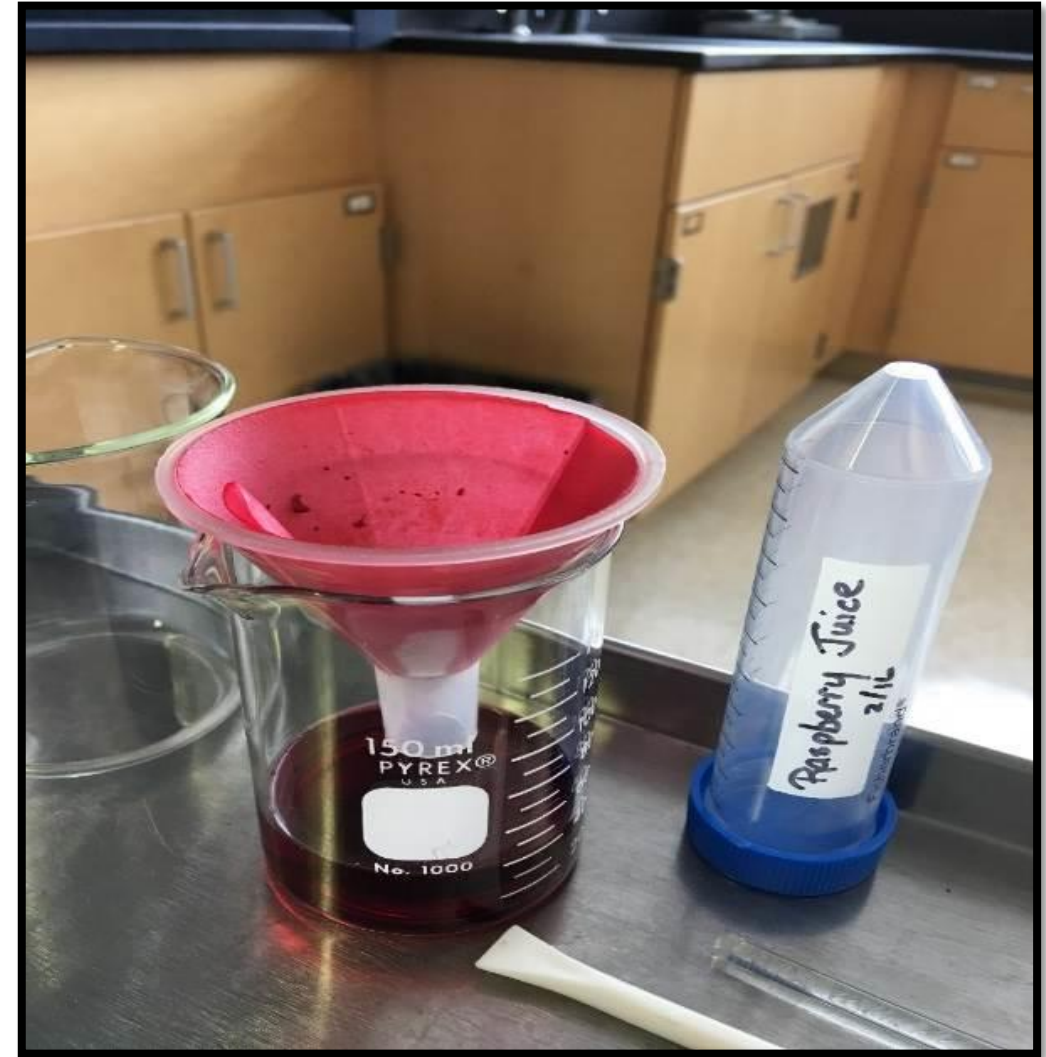
- Reunir todos los materiales necesarios en la mesa rodante de laboratorio y realiza el experimento debajo de un extractor.
- Utilizar el equipo de seguridad mientras se realiza el experimento (gafas, guantes y delantal).



Recomendaciones útiles para la actividad de laboratorio

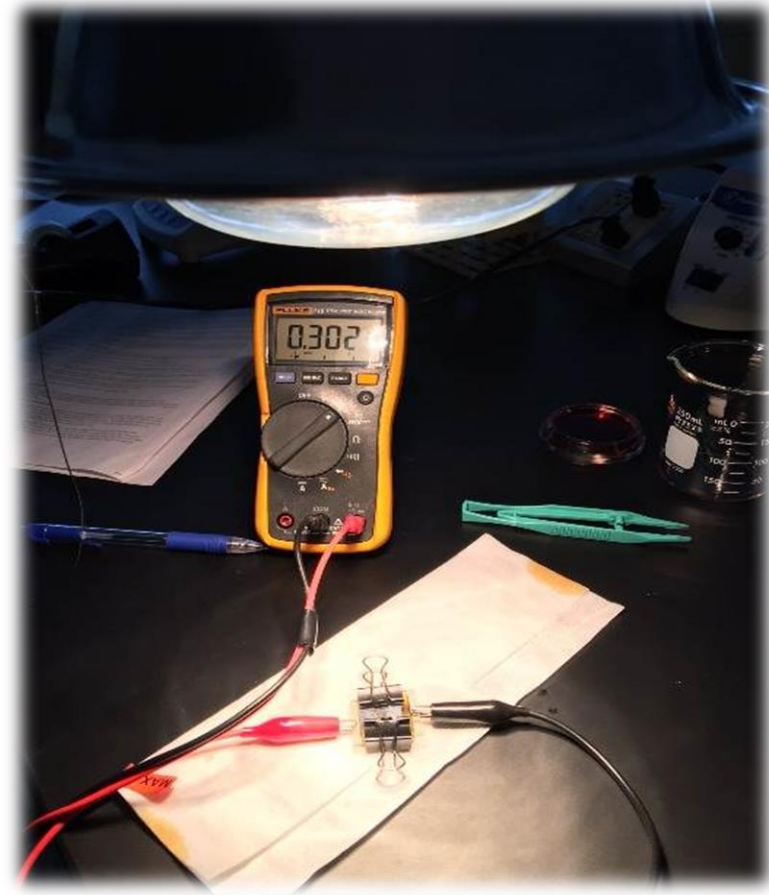
- Se pueden utilizar frambuesas descongeladas que se trituraron , la mezcla puede congelarse y descongelarse varias veces.
- Para las instrucciones paso a paso de cómo realizar este experimento, puede acceder al siguiente enlace y observar el video (cortesía de MRSEC³ en “UW Madison”)

<http://www.youtube.com/watch?v=Jw3qCLOXmi0>



Pruebas y resultados

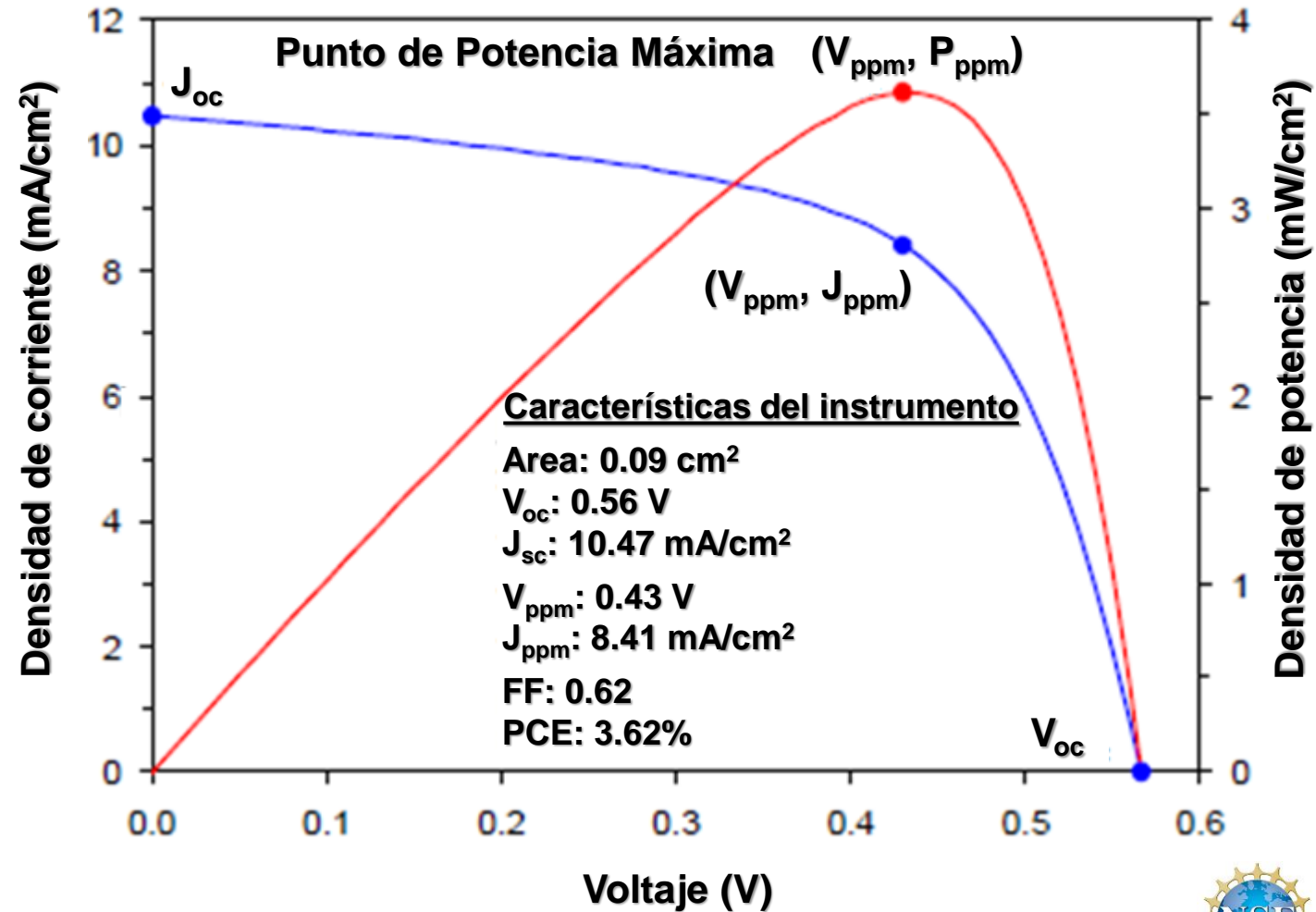
- Conectar el multímetro utilizando una pinza de cocodrilo en cada placa. El cable negro con el electrodo negativo, que es el vidrio cubierto con TiO_2 . El cable rojo con electrodo positivo, que es el vidrio cubierto con carbón.
- Medir la corriente y el voltaje producido por la iluminación del proyector digital o lámpara de calor (como se ilustra en la imagen).



Pruebas y resultados

- Para caracterizar la celda se utiliza el potenciómetro (con las instrucciones detalladas proporcionadas por el kit) para obtener los datos de corriente y voltaje de las celdas solares de los estudiantes como se muestra en la Figura 5, que es un ejemplo de una curva J-V para una celda solar. La densidad de corriente J (azul, en unidades mA/cm^2) está en el eje izquierdo y la densidad de potencia (rojo, en unidades mW/cm^2) está en el eje derecho.

(Datos replicados con la autorización de la red "NACK RAIN")



Usos presentes, aplicaciones futuras y retos

- Una ventaja que provee el uso de las “DSC” es que pueden fabricarse en una variedad de sustratos, como capas finas, plásticos flexibles o resistentes y aplicarse a sustratos de metal y vidrio.
- Con las “DSC” se pueden encender dispositivos electrónicos pequeños. Una aplicación que llama mucho la atención es el “Internet of Things”, que se refiere a una red de electrodomésticos, vehículos y otros objetos que están equipados con sensores y otros dispositivos electrónicos para permitirles recopilar y transmitir datos.

Usos presentes, aplicaciones futuras y retos

- En el futuro, algunas compañías proyectan la fabricación de balizas energizadas por “DSC” que transmitan señales de “Bluetooth”. Estos dispositivos se pueden usar de muchas maneras. Un ejemplo es dirigir a las personas que asistan a un día de juego (deportivo) desde la entrada del estadio hasta sus asientos con boleto a través de la comunicación por teléfono celular.
- La desventaja de la tecnología en las celdas solares con tintes fotosensibles se relaciona con el electrolito líquido, que es corrosivo, volátil y propenso a fugas (escape/derrame); todo esto limita la estabilidad a largo plazo de la celda. Sin embargo, los investigadores de la Universidad de Northwestern han reemplazado el electrolito líquido con un nuevo semiconductor inorgánico sólido: yoduro de estaño y cesio dopado con flúor ($\text{CsSnI}_{2.95}\text{F}_{0.05}$). La implementación de los hallazgos en los laboratorios y las mejoras en el proceso de fabricación generalmente toman varios años.

Referencias

1. O'Regan, B.; Gratzel, M., "Nature" **1991**, 353, 737.
2. "Dye-Sensitized Solar Cells", Anders Hagfeldt, Gerrit Boschloo, Licheng Sun, Lars Kloo, Henrik Pettersson, *"Chemicals Reviews"* **2010** 110 (11), 6595–6663.
3. "University of Wisconsin Madison MRSEC Education group"
<http://www.education.mrsec.wisc.edu/289.htm>
4. "Characteristics of the Iodide/Triiodide Redox Mediator in Dye-Sensitized Solar Cells", Gerrit Boschloo y Anders Hagfeldt, *"Accounts of Chemical Research"* **2009** 42 (11), 1819–1826.
DOI;10.1021/ar900138m