



REPORTE FINAL DE ESTADÍA

Perla Beatriz García Juárez

Generación de energía eléctrica sustentable a través de celdas fotovoltaicas orgánicas.

2020, Año de Leona Vicario,
Benemérita Madre de la Patria

2020, Año Internacional de la
Sanidad Vegetal



Universidad Tecnológica del Centro de Veracruz

Programa Educativo

Ing. Energías Renovables

Nombre del asesor industrial

Dr. Leonardo Rejón García

Nombre del asesor académico

Dr. Juan Manuel Padilla Flores

Jefe de carrera

Dr. Octavio Maldonado Saavedra

Presenta

Perla Beatriz García Juárez

Cuitláhuac, Ver. 26 de Abril 2021.

2020, Año de Leona Vicario,
Benemérita Madre de la Patria

2020, Año Internacional de la
Sanidad Vegetal



Universidad Tecnológica del Centro de Veracruz

Reporte para obtener el título de Ingeniero en Energías
Renovables.

Proyecto de investigación de estadía tipo monografía.

Nombre del Proyecto

Generación de energía eléctrica sustentable a través de
celdas fotovoltaicas orgánicas.

Presenta

Perla Beatriz García Juárez

2020, Año de Leona Vicario,
Benemérita Madre de la Patria

2020, Año Internacional de la
Sanidad Vegetal





**2020, Año de Leona Vicario,
Benemérita Madre de la Patria**

**2020, Año Internacional de la
Sanidad Vegetal**



DEDICATORIA

Dedico esta tesina principalmente a Dios quien me dio la vida, la fuerza y valor para llegar hasta donde ahora.

A mis padres; por todo el apoyo incondicional, por el gran esfuerzo y motivación de seguir adelante y por haberme forjado como la persona que soy en la actualidad.

A mis hermanos; José Ángel e Irving, por su apoyo e inmenso cariño.

A Javier Huerta quien me ha acompañado en este proceso, por el apoyo y el amor que me ha dado, por creer en mí y por ser una gran persona conmigo.

A mis amigos, mis tías y tíos que estuvieron en este proceso, que creyeron en mí y por su gran apoyo.

A mis profesores por el apoyo y paciencia.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco de la misma manera a dios quien me acompaña día con día, por dejarme vivir y disfrutar de lo que tengo.

Agradezco a mis padres por el apoyo de que lograra una carrera profesional.

Agradezco a mis asesores: Dr. Leonardo Rejón García y Dr. Juan Manuel Padilla Flores, por su paciencia y apoyo en este proceso.

Al INEEL y UTCV quien nos abrió las puertas para continuar con la ingeniería.

Al Ing. Javier Huerta por su apoyo en este trabajo.

RESUMEN

En las últimas décadas, las celdas solares orgánicas se han convertido en una opción prometedora, debido a la creciente demanda de energía en los últimos años y al incremento del calentamiento global a causa de las emisiones de CO₂, proveniente de combustibles fósiles.

Por lo anterior, en el presente reporte se presenta una revisión bibliográfica donde se hace notar la viabilidad del desarrollo de celdas orgánicas fotovoltaicas, que pueden sustituir a las celdas de silicio, ya que las primeras presentan propiedades optoelectrónicas y su proceso de fabricación es menos costoso.

Las investigaciones han impulsado la fabricación de celdas solares basadas en perovskita cuya eficiencia de conversión ha aumentado exponencialmente en los últimos años alcanzado valores superiores al 20% en el 2016.

El presente documento se encuentra dividido en 4 capítulos, el capítulo 1 hará un énfasis en las aplicaciones y desarrollo de estas fuentes de energía alternativa, la clasificación de los paneles solares; sus propiedades y la potencia que estos tienen en México

En el capítulo 2 se podrá encontrar la metodología para la preparación de estas celdas orgánicas a base de perovskita, abordando un poco de teoría sobre la técnica propuesta para este trabajo.

El capítulo 3 contiene el desarrollo del proyecto, el método a utilizar para la preparación de esta celda.

Concluyendo en el capítulo 4 con la comparación de los resultados obtenidos de los distintos materiales empleados en otros estudios.

Contenido

DEDICATORIA	1
AGRADECIMIENTOS	1
RESUMEN	2
CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN	5
1.1 Marco teórico	6
1.1.1 Energías Renovables	6
1.1.2 Energías Renovables en México	8
1.1.3 Celdas fotovoltaicas de tercera generación.....	9
1.1.4 Celdas solares orgánicas y Perovskitas orgánicas.....	10
1.1.5 Perovskitas Orgánicas	11
1.1.5.6 Propiedades	11
1.1.6 Importancia de la Perovskita	13
1.1.7 Estructura de la Perovskita	14
1.1.8 Comportamiento con el dióxido de titanio.....	14
1.2 Planteamiento del problema.....	15
1.3 Objetivo general.....	15
1.4 Objetivos específicos	15
1.5 Hipótesis.....	16
1.6 Justificación del Proyecto	16
1.7 Limitaciones y Alcances.....	16
1.8 Universidad Tecnológica Del Centro De Veracruz	17
CAPÍTULO 2. METODOLOGÍA	19
2.1 Método para desarrollar películas con perovskitas.	19
2.2 Optimización del proceso.....	20
2.2.1 Capa de dióxido de titanio TiO₂	20
2.3 Caracterización para la película de la perovskita.....	21
2.3.1 Caracterización por electroscopio de dispersión.....	21
2.3.2 caracterización por microscopia de fuerza atómica (AFM)	21
2.3.3 Espectroscopía ultravioleta-visible.	23
2.3.4 Microscopía electrónica de barrido (SEM)	24
CAPÍTULO 3. DESARROLLO DEL PROYECTO	26
3.1 Preparación de las celdas.....	27
CAPÍTULO 4. RESULTADOS Y CONCLUSIONES	28

4.1 Análisis Costo Beneficio.....	28
4.2 Análisis de las celdas fotovoltaicas	30
4.3 Conclusión	31
4.4 Recomendaciones	31
ANEXOS	32
BIBLIOGRAFÍA	33

Tabla de ilustraciones

<i>Ilustración 1</i> Desarrollo en la eficiencia de conversión de energía de las celdas solares	9
<i>Ilustración 2</i> Celda Orgánica	9
<i>Ilustración 3</i> Perovskita; Imagen Tomada por la línea de investigación MAPFRE	12
<i>Ilustración 4</i> Celdas Solares De Perovskita	12
<i>Ilustración 5</i> Compuestos para la síntesis de perovskitas orgánicas. Tomada de Kieslich et al 2015.	13
<i>Ilustración 6</i> Estructura de la Celda Solar Orgánica	14
<i>Ilustración 7</i> Representación esquemática de una celda solar de perovskita.	19
<i>Ilustración 8</i> Caracterización por electroscopio de dispersión.	21
<i>Ilustración 9</i> caracterización por microscopia de fuerza atómica (AFM)	23
<i>Ilustración 10</i> visualización del registro de la alteración de los electrones.....	24
<i>Ilustración 11</i> Microscopía electrónica de barrido (SEM).....	25
<i>Ilustración 12</i> El secreto para eliminar uno de los obstáculos más importantes para el desarrollo de tinta solar de bajo costo es el uso de perovskita.	29
<i>Ilustración 13</i> los materiales con el que están fabricadas las celdas orgánicas, presentan varias ventajas.	32

Contenido de esquemas

<i>Esquema 1</i> Análisis de las celdas solares en generaciones, Fuente; Elaboración Propia	7
<i>Esquema 2</i> Equipo de AFM. Skoog et. al. 2007	22
<i>Esquema 3</i> Proceso Spin Coating	27

Contenido de tablas

<i>Tabla 1</i> costo de una unidad por gramo de perovskita	29
<i>Tabla 2</i> Tabla Comparativa entre una celda de perovskita y una celda de silicio	30

CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN

En este capítulo se menciona la importancia de las celdas orgánicas en las últimas décadas, ya que se han convertido en una opción muy prometedora para la tecnología fotovoltaica. La investigación de estas celdas solares dio paso a la fabricación de celdas solares basadas en perovskita cuya eficiencia de conversión de potencia (PCE, por sus siglas en inglés) ha aumentado exponencialmente. De acuerdo a las investigaciones, estos perovskitas cuentan con elevado coeficiente de absorción, elevada movilidad intrínseca de cargas, entre otras características que hacen de este material un excelente candidato para aplicaciones de dispositivos fotovoltaicos (García, 2012).

Actualmente las celdas solares basadas en perovskitas siguen siendo objeto de investigación, con el fin de no solo mejorar su eficiencia, hacer viable su reproducibilidad, controlar su estabilidad y otros factores que afecten el rendimiento de esta celda.

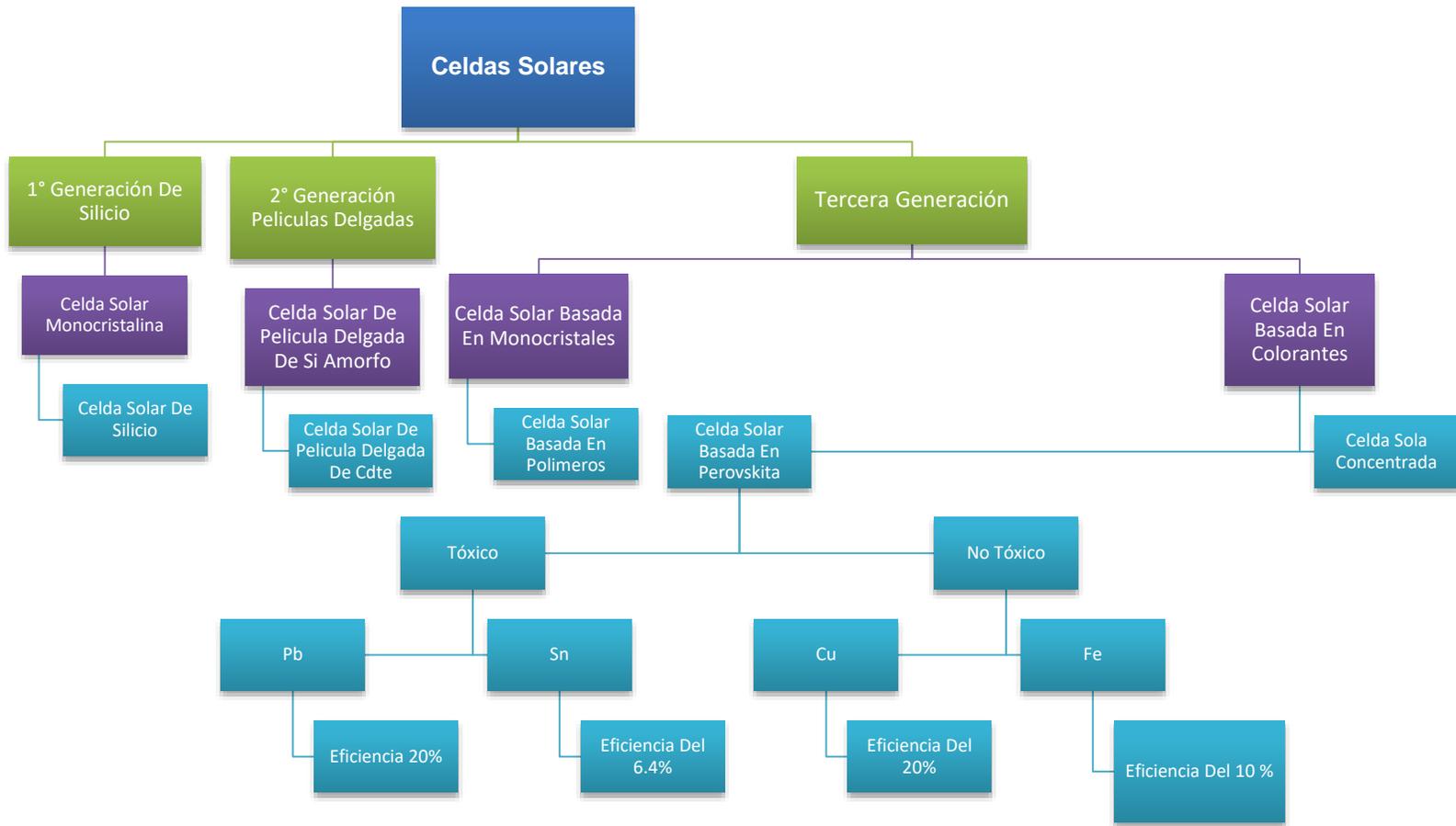
En este trabajo de investigación se presenta una visión para desarrollo de las celdas solares basadas en materiales orgánicos, las celdas OPVs por sus siglas en inglés, buscan complementar o sustituir en lo posible el uso de la tecnología basada en materiales inorgánicos. Entre estas ventajas; el costo menor para producir energía, ya que no se requiere algo muy sofisticado y de mantenimiento elevado y lo más importante generar la menor cantidad de contaminantes en su fabricación. (Martínez, 2010)

1.1 Marco teórico

1.1.1 Energías Renovables

Las energías renovables son fuentes de energías limpias, inagotables y crecientemente competitivas. Se diferencian de los combustibles fósiles principalmente en su diversidad, abundancia y potencial de aprovechamiento en cualquier parte del planeta, pero sobre todo en que no producen gases de efecto invernadero –causantes del cambio climático- ni emisiones contaminantes. Además, sus costes evolucionan a la baja de forma sostenida, mientras que la tendencia general de costes de los combustibles fósiles es la opuesta, al margen de su volatilidad coyuntural.

El crecimiento de las energías renovables es imparable, como queda reflejado en las estadísticas aportadas anualmente por la Agencia Internacional de la Energía (AIE): Según las previsiones de la AIE, la participación de las renovables en el suministro eléctrico global pasará del 26% en 2018 al 44% en 2040, y proporcionarán 2/3 del incremento de demanda eléctrica registrado en ese período, principalmente a través de las tecnologías eólica y fotovoltaica. (ACCIONA, s.f.)



Esquema 1 Análisis de las celdas solares en generaciones, Fuente; Elaboración Propia

1.1.2 Energías Renovables en México

El Plan Nacional de Desarrollo (México) contempla el desarrollo de energías alternativas y particularmente de la fotovoltaica: una meta es tener 35 % de energía renovable en México para el año 2024. Las celdas solares (o fotovoltaicas) basadas en materiales inorgánicos, como el silicio (Si) cristalino (*celdas de Primera Generación*), han mostrado un gran desarrollo tecnológico; sin embargo, el aún alto costo de producción en lugares muy especializados, así como su poca flexibilidad en sus características estructurales, ha imposibilitado su uso masivo. De acuerdo al informe mencionado anteriormente, la potencia geotérmica instalada en México es de 958 MWe, el cual representa el 2% de la capacidad instalada en el país, con lo que se puede volver a afirmar que solo se utiliza dicho recurso para proporcionar de electricidad a diferentes lugares, pero no se le da un aprovechamiento distinto.

Las denominadas *celdas de Segunda Generación*: las de capas o películas más delgadas como las CIGS (cobre, indio, galio y selenio) tienen ciertas ventajas que las primeras de silicio (Si), como mayor flexibilidad estructural, pero menor eficiencia energética. Por otro parte, el empleo de materiales orgánicos (***celdas de Tercera Generación***), que contienen átomos de carbono en sus estructuras, así como de híbridos: orgánico-inorgánicos, como los perovskitas; son una alternativa muy considerada actualmente por diversos grupos de investigación y empresas. Los retos principales para este tipo de celdas son el incremento de la eficiencia (ya muy competitiva a nivel laboratorio) de conversión de energía solar en eléctrica al escalárseles (fabricado de paneles de área grande) así como tener un mayor tiempo de vida y reproducibilidad en su fabricación. Esto dicho por la (CONACYT, s.f.).

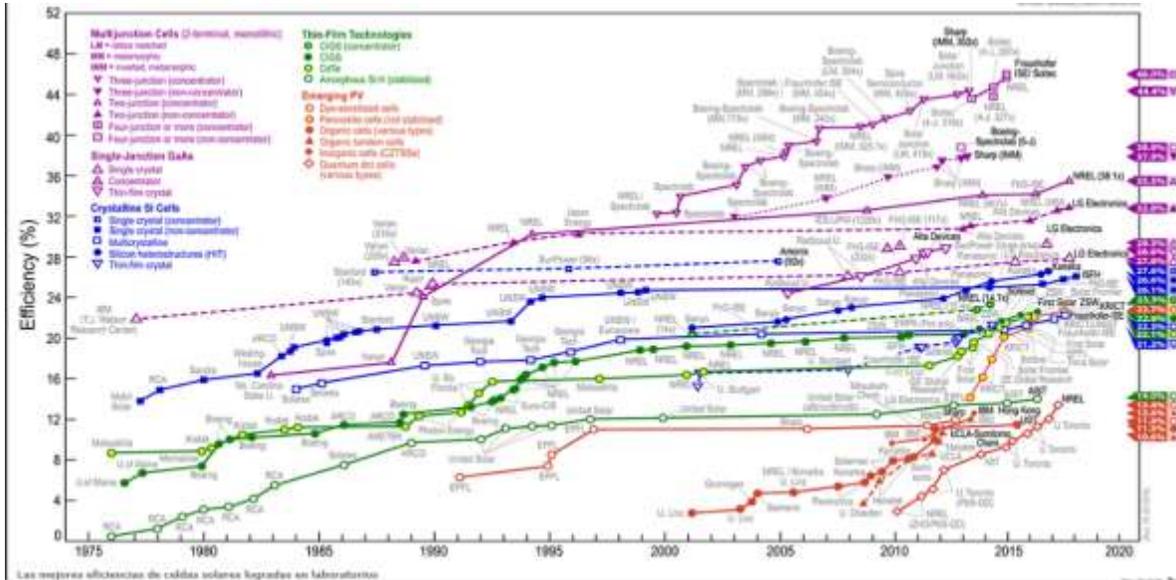


Ilustración 1 Desarrollo en la eficiencia de conversión de energía de las celdas solares

1.1.3 Celdas fotovoltaicas de tercera generación.

Fueron inventados en la década de los 70 y desde hace sólo unos 12 años se han estado estudiando profundamente los perovskitas basadas en materiales orgánico-inorgánicos. Ejemplo de celdas solares orgánicas son las celdas OPV (Organic Photovoltaics) con eficiencias de conversión récord de 16.5 %, mientras que las perovskitas están siendo intensamente estudiadas en celdas solares de perovskitas (PSC) (Perovskite Solar Cells) con un crecimiento acelerado impactante en su eficiencia energética: más de 24 % y, cuando se combinan con Si se han logrado eficiencias de más de 27 %. (CONACYT, s.f.)

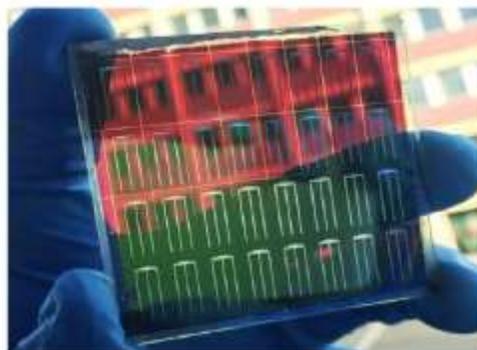


Ilustración 2 Celda Orgánica

1.1.4 Celdas solares orgánicas y Perovskitas orgánicas.

Las celdas solares orgánicas existen desde principios de 1970, donde en ese entonces su eficiencia se encontraba muy alejada incluso del 1%. Pero con el paso del tiempo y mediante múltiples estudios se han desarrollado grandes avances que han permitido aumentar esa eficiencia.

Éstas tienen un bajo costo, una manera sencilla de crear todas sus capas y una amplia variabilidad en cuanto a sus compuestos, Existen dos tipos: las de estructura híbrida sólida-líquida, que fueron las primeras estudiadas, donde el componente orgánico es un electrolito y colorantes sensibilizadores líquidos, por lo que se conocen como celdas solares sensibilizadas por colorante, denotadas como DSSC (del inglés Dye Sensitized Solar Cells); y las que tienen una película sólida de un material orgánico de estructura amorfa, conocidas por sus siglas en inglés como OPVs (Organic Photovoltaics). (Lab.)

Las OPVs presentan porcentajes de eficiencia entre el 6% y el 11%, mayores que las DSS, con una estabilidad y tiempo de vida media que pueden ser comparables con las de elementos inorgánicos (20 años).

En 2018 alcanzaron con el mineral Perovskita producir celdas fotovoltaicas con una eficiencia de 25.2% en el laboratorio. Este mineral, la primera vez descrito en 1839, no es tóxico y conocido como semiconductor desde años. Lo excitante es el rápido avance en lograr esta eficiencia en pocos años (de 3% en 2009), mientras otras tecnologías necesitaban décadas para lograr algo similar (vea gráfica abajo). Este salto nutre la esperanza de producir dentro de pocos años nuevas celdas de Perovskita hasta un 30% de eficiencia a costos muy bajos, (DELTA , s.f.).

1.1.5 Perovskitas Orgánicas

La perovskita es también el nombre de un grupo más general de cristales que toman la misma estructura. La fórmula química básica sigue el patrón ABO_3 , donde A y B son cationes de diferentes tamaños (por ejemplo, $LaMnO_3$). A es un catión grande y puede ser un alcalino, alcalinotérreo o lantánido, y B es un catión de tamaño medio con preferencia por la coordinación octaédrica, normalmente un metal de transición. Collavini et al. 2015.

Muchos perovskitas presentan propiedades interesantes como piezoelectricidad y ferro electricidad, donde existe la presencia de una polarización espontánea debido al desplazamiento del catión B; también pueden presentar ferromagnetismo, superconductividad y efecto fotovoltaico. Este último, particularmente importante en perovskitas, también se ha relacionado con la presencia de una polarización espontánea.

1.1.5.6 Propiedades

La perovskita de ioduro de metilamonio de plomo es la más investigada debido a sus propiedades semiconductores. Cuenta con las propiedades foto-físicas de los materiales inorgánico y con la facilidad de procesamiento de los materiales orgánicos y sus características son:

1. Elevados coeficientes de extinción: un compuesto con alto valor de coeficiente de extinción molar es muy eficiente en la absorción de la luz de la longitud de onda adecuada.
2. Amplio espectro de absorbancia ya que absorben en l mayor parte del espectro visible y cerca del infrarrojo de la luz solar.
3. Elevada movilidad intrínseca de cargas: la carga eléctrica podrá ser transportada por los electrones de la banda de conducción o por los huecos dejados en la banda de valencia al hacer incidir la luz sobre ellos.
4. Elevada polaridad.
5. Elevada estabilidad termodinámica.



Ilustración 3 Perovskita; Imagen Tomada por la línea de investigación MAPFRE

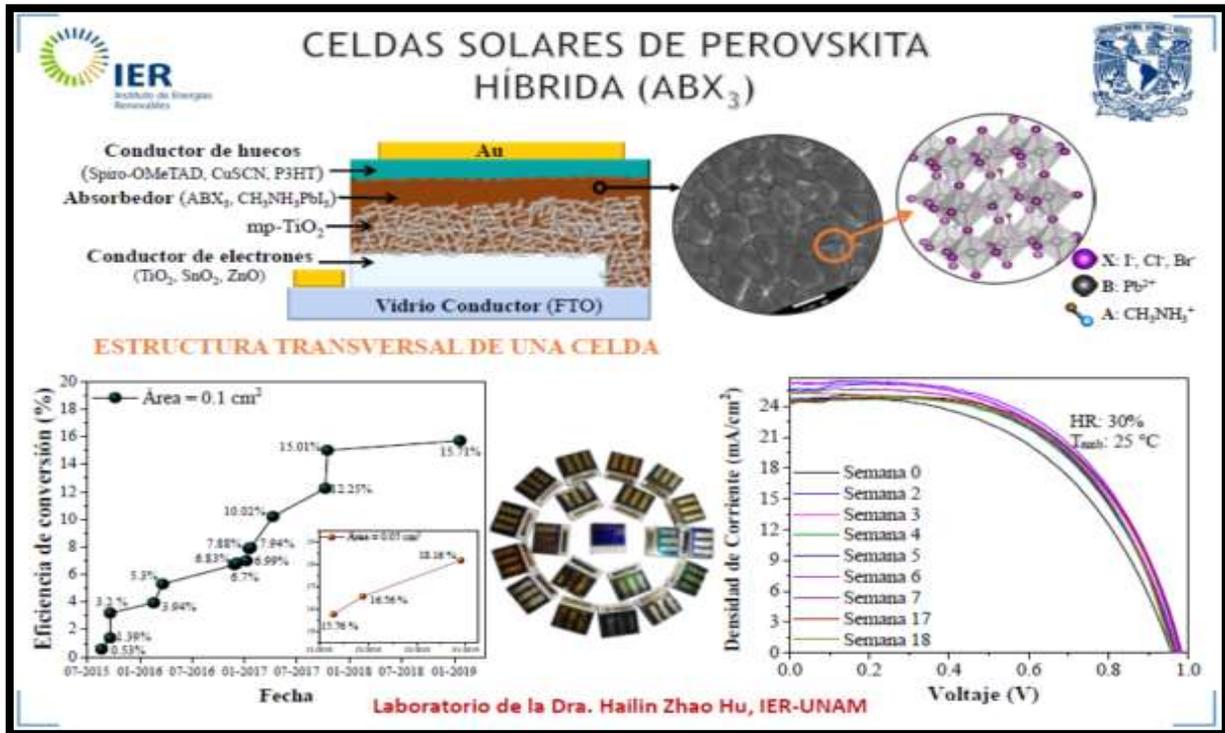


Ilustración 4 Celdas Solares De Perovskita

1.1.6 Importancia de la Perovskita

En realidad, la perovskita no es más que una ordenación que toman algunos minerales en la naturaleza, y el primero que se descubrió con esa estructura se llamó así. Esta ordenación sigue la fórmula estequiométrica ABX_3 . Pero los perovskitas que han atraído la atención de la comunidad científica son aquellas que son híbridas, con iones orgánicos e inorgánicos, que es lo que las hace especiales. Lo bueno es que se pueden obtener con relativa facilidad, de forma barata y sin emisiones, dando como resultado una película delgada y ligera que se puede adaptar a cualquier forma, lo que permitiría fabricar paneles solares de forma sencilla, eficiente y con un resultado adaptable y fácil de instalar. Para producir una pequeña lámina de perovskitas de estas características, se colocan los ingredientes sobre una placa de vidrio apoyada en un eje de revolución, y en primer lugar se realiza la mezcla de los precursores, normalmente yoduro de plomo y yoduro de metilamonio. Depositada la mezcla sobre dicha placa de vidrio se hace girar a un mínimo de 5.000 rpm. Posteriormente, la mezcla totalmente uniformizada sobre el vidrio se calienta a unos 100°C durante al menos una hora, obteniéndose finalmente una placa con una lámina de perovskita ABX_3 . La primera celda de perovskita que se hizo tenía una eficiencia del 3%. Hoy en día se ha superado el 20% (Pedro Atienzar, 2013).

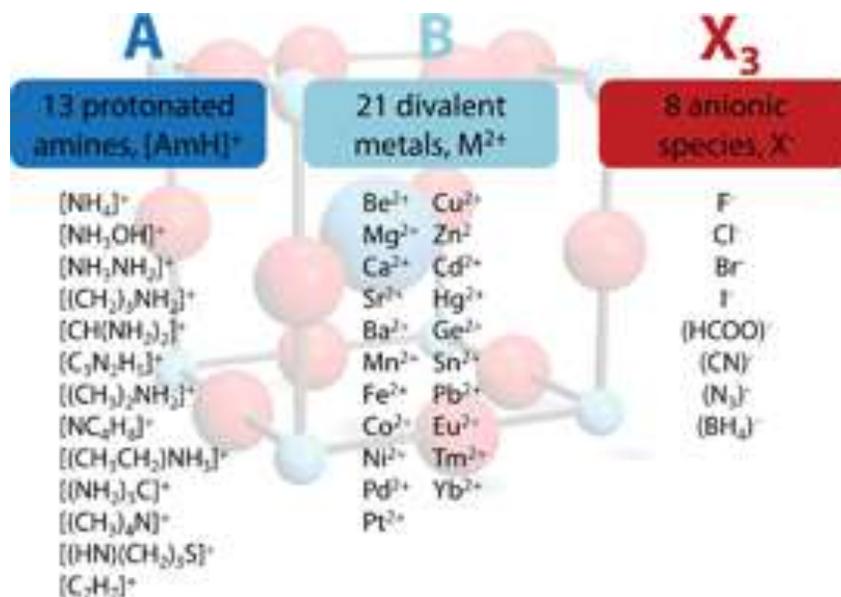


Ilustración 5 Compuestos para la síntesis de perovskitas orgánicas. Tomada de Kieslich et al 2015.

1.1.7 Estructura de la Perovskita

El efecto fotovoltaico en perovskitas funciona diferente al convencional en celdas solares de uniones p-n, este es conocido como efecto fotovoltaico de bulto, donde asociada a la polarización del cristal, se tiene un campo eléctrico el cual permite la separación de los portadores de carga generados. Para describir la estructura de una celda solar de perovskita orgánica se partirá de la primera capa que tendrá contacto con la luz de sol y se avanzará con las capas restantes apiladas

Sin embargo, la base para la síntesis de celdas solares de perovskitas orgánicas gira en torno al metilamonio de yoduro de plomo, $\text{CH}_3\text{NH}_3\text{PbI}_3$, conocido como MAPI o MAPbI_3 .



Ilustración 6 Estructura de la Celda Solar Orgánica

1.1.8 Comportamiento con el dióxido de titanio.

Es la segunda capa, que permite el paso de los fotones, es la conductora de electrones, la cual se encuentra en contacto directo con la perovskita, sobre esta capa se encuentra una capa mesoporosa que tiene la facilidad de favorecer el intercambio electrónico y el paso de fotones a la perovskita captando los electrones. Pero una vez que los fotones han interactuado con la perovskita y generando pares de electrón-hueco, los electrones generados son transportados a la capa de TiO_2 y de ahí a conductor transparente.

Cabe mencionar que dependiendo de los materiales utilizados y sus características se han reportado eficiencias entre el 3% y hasta un 18% solo considerando las características de la capa conductora de electrones que es la perovskita

1.2 Planteamiento del problema

Uno de los mayores problemas de trabajar con la perovskita en el desarrollo de celdas solares orgánicas es su propiedad higroscópica, ya que el agua, donde se encuentra disuelto el compuesto orgánico será fuertemente retenida por la perovskita lo que afectara las propiedades y por ende el rendimiento de la celdas solares orgánicas.

1.3 Objetivo general

Realizar un análisis del estado del arte con el fin de proponer un método de fabricación de celdas solares orgánicas a base de perovskita, dióxido de titanio y compuestos orgánicos fotoactivos, con el fin de mejorar la eficiencia y el proceso de elaboración.

1.4 Objetivos específicos

- Buscar información en libros, páginas web confiables, revistas y patentes.
- Realizar un análisis para identificar las alternativas de modificación en la perovskita y que muestre un excelente transportador de energía eléctrica.
- Comparar sus características y determinar las ventajas y desventajas de esta.
- Investigar su máxima estabilidad para alcanzar la eficiencia deseada
- Presentar un costo de fabricación más bajo y prometedor ante las celdas basadas de silicio

1.5 Hipótesis

La incorporación de compuestos orgánicos mediante soluciones a base de alcohol o acetona como solventes en vez del agua, facilitarían su drenado de la perovskita y del dióxido de titanio con mayor facilidad.

1.6 Justificación del Proyecto

De acuerdo con las investigaciones de las celdas solares que existen, en las últimas décadas se han ido realizando estudios con las celdas orgánicas, pero se ha encontrado un gran inconveniente en la fabricación de estas celdas, y es que el agua que participa dentro de este proceso; hace que las celdas sean menos eficientes por su propiedad higroscópica, por tal motivo el presente estudio resulta de gran interés llevarlo a cabo, ya que con el uso de alcohol y acetonas como solventes abre una posibilidad de incorporación de compuestos orgánicos a estructuras como perovskita y dióxido de titanio, lo que genera una oportunidad de satisfacer la demanda actual de energía que la humanidad necesita.

1.7 Limitaciones y Alcances

Algunas de las limitaciones presentes en este trabajo son que, la implementación a gran escala de esta tecnología aun no es posible ya que aún se están realizando estudios para sustituir algunos materiales y que llegue a una estabilidad, así como también los tiempos para los análisis y pruebas requeridas para complementar y sustentar el uso de este material y que sea modificado, se ven afectados por la contingencia sanitaria que se vive actualmente, pero al lograr la culminación de este proyecto permitirá a la sociedad ver una nueva opción para la adquisición de estas celdas orgánicas y una reducción a nivel mundial del consumo de electricidad y de materiales para la fabricación de celdas orgánicas.

1.8 Universidad Tecnológica Del Centro De Veracruz

Historia

La Universidad Tecnológica del Centro de Veracruz se crea el 9 de noviembre de 2004, como una Institución Pública de Educación Superior, con carácter de Organismo Público Descentralizado del Gobierno del Estado, con personalidad jurídica y patrimonio propios, lo que fue publicado en la Gaceta Oficial del Estado de Veracruz de Ignacio de la Llave, Número 224, Tomo CLXXI.

Finalmente, el 3 de enero de 2005 iniciaron oficialmente las actividades de la Universidad Tecnológica del Centro de Veracruz "UTCv", y la primera generación, 2005-2006, inició sus estudios en el nivel Técnico Superior Universitario con una matrícula de 199 estudiantes en las instalaciones prestadas del Centro de Estudios Tecnológico Industrial y de Servicios 164, en el municipio de Cuitláhuac, Ver.

En la Gaceta Oficial del Órgano del Gobierno del Estado de Veracruz de Ignacio de la Llave, en el Tomo CLXXXVI del día 12 de julio de 2012, se amplió la oferta educativa de la Universidad Tecnológica del Centro de Veracruz, para ofrecer programas de continuidad de estudios para sus egresados y egresadas del nivel Técnico Superior Universitario o Profesional Asociado de otras Instituciones de Educación Superior, que permita a la comunidad estudiantil alcanzar el nivel académico de Licenciatura.

Misión

Formar profesionistas responsables, creativos y competentes a nivel nacional e internacional, mediante una educación tecnológica, científica e integral, basada en procesos, certificados y acreditados, asegurando el cumplimiento de la Nueva Escuela Mexicana, a fin de impactar positivamente en la sociedad.

Visión

Ser considerada una institución referente en el marco nacional e internacional a través de su calidad educativa y de servicios, con un enfoque sustentable, coadyuvando al fortalecimiento de una sociedad incluyente.

Objetivos

- Tener egresados y egresadas que se reconozcan nacional e internacionalmente por la calidad de su formación, lo que permite colocarse rápidamente en el sector productivo.
- Tener una mayor participación en programas de becas de movilidad nacional e internacional.
- Ampliar el contacto con el sector productivo y social para el desarrollo de las prácticas de su alumnado.
- Contar con un mejor entorno para el desarrollo de las actividades, controlando y reduciendo los impactos ambientales.
- Fomentar la cultura de prevención y cuidado del medio ambiente.
- Trabajar con un enfoque de mejora continua y la promoción de valores.
- Desarrollar proyectos con un enfoque sustentable.
- Identificar y gestione el enfoque basado en riesgo.

CAPÍTULO 2. METODOLOGÍA

Ahora que ya se hablado sobre algunas propiedades del perovskita, así como la importancia de estos materiales, pasaremos al siguiente capítulo en el que se describirá con más detalle como aplica este material y la forma en que influye.

2.1 Método para desarrollar películas con perovskitas.

Para la fabricación de esta celda solar, se diseñan 5 capas. Por lo tanto, están distribuidas de la siguiente manera, como se muestra en la ilustración 6

1. La primera capa recubierta de óxido de estaño dopado de flúor (FTO), esta sirve como sustrato.
2. una capa fina compacta de un contacto selectivo de electrones (ESL), de dióxido de titanio, TiO_2 .
3. Una capa fina mesoporosa del mismo semiconductor.
4. Una capa fina de perovskita, (capa activa)
5. Una capa de un material transportador de huecos (HSL)
6. Un contacto eléctrico como conductor como por ejemplo oro, cobre entre otros.

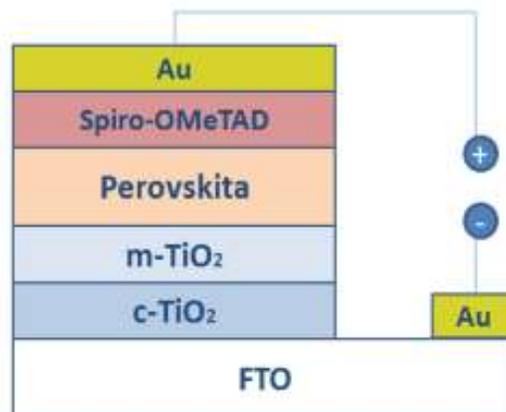


Ilustración 7 Representación esquemática de una celda solar de perovskita.

Conforme a esta estructura, la luz penetra a través de la primera capa que contiene óxido de estaño, siendo la capa activa de perovskita, encargada de absorber luz incidente, los fotones absorbidos por la capa activa de perovskita generan un par de electrón hueco en el material. Los electrones generados se inyectan en la capa mesoporosa (ESL) y pasan al circuito externo hasta llegar al contacto del conductor como lo puede ser el oro. Por otro lado, los huecos se dirigen hacia el HSL y difunden por conducción eléctrica hasta el oro, generando una corriente eléctrica al favorecer una separación eficiente de las cargas que reduzcan al mínimo los procesos de recombinación (reacción entre los electrones y huecos fotogenerados).

2.2 Optimización del proceso.

La fabricación de estas celdas se depositan asobre sustratos conductores transparentes (óxido de estaño dopado con fluor),.

Los sustratos de FTO son sometidos a un protocolo de limpieza:

- Se lavan utilizando una solución de agua desionizada, etanol, y dos de propanol, durante 15 minutos.
- Posteriormente serán secados con aire comprimido y calentados a 500°C durante 30 min para eliminar cualquier materia orgánica residual.

2.2.1 Capa de dióxido de titanio TiO_2 .

La capa de dióxido de titanio se depositará en la cara conductora de los sustratos mediante el método de spray pirolisis. Para ello se colocan los sustratos sobre una capa calefactora a 450°C y se pulverizan con una disolución de diisopropóxido de titanio bis-acetilacetona, usando oxígeno como gas portador. Se mantiene durante 30 minutos a 450°C para la formación de fase del dióxido de titanio (TiO_2).

2.3 Caracterización para la película de la perovskita

La caracterización de un material es de suma importancia para indagar y obtener información, ya sea cuantitativa o cualitativamente, esto gracias al amplio número de técnicas que existen hoy en día; como las que se describen a continuación.

2.3.1 Caracterización por electroscopio de dispersión.

El análisis mediante espectroscopia de dispersión se basa en el examen de la luz dispersada por un material al incidir sobre el en un haz de luz monocromático. Una pequeña porción de la luz es dispersada inelásticamente experimentando ligeros cambios de frecuencia que son característicos del material analizado e independientes de la frecuencia de la luz incidente, es decir una técnica de análisis que se realiza directamente sobre el material a analizar sin utilizar algún tipo de preparación especial que conlleva a ninguna alteración de la superficie sobre la que se realiza el análisis.

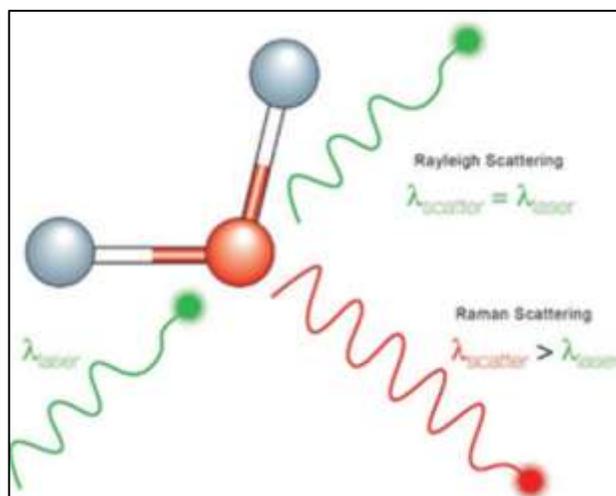


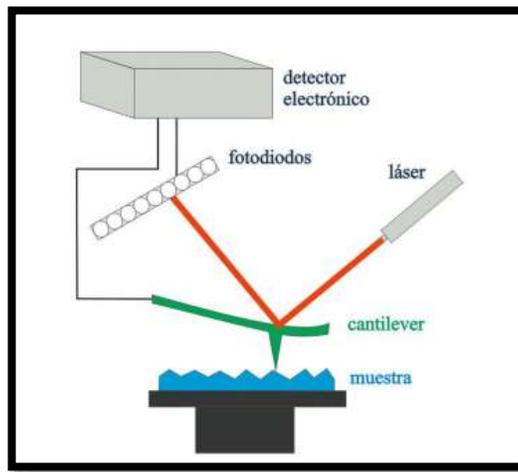
Ilustración 8 Caracterización por electroscopio de dispersión.

2.3.2 caracterización por microscopia de fuerza atómica (AFM)

Esta técnica, denominada como AFM por sus siglas en inglés atomic force microscopy, permite obtener, imágenes de topografía a escala micrométrica y nanométrica, de una manera simple y en muestras tanto conductoras como aislantes, en forma de pastilla o película, en medios sólidos y líquidos, biológicas e inertes.

El AFM consta de una punta colocada sobre un cantiléver; cuando la punta, idealmente terminada en un átomo, se acerca a la superficie del material, experimenta una repulsión debido a las fuerzas de Van Der Waals con los átomos de la superficie, causando la deflexión del cantiléver. Tal deflexión hará que un láser reflejado en el cantiléver incida en posiciones diferentes en un fotodetector, de modo que en zonas de la muestra donde la altura sea mayor, el cantiléver se flexionará generando un cambio en la posición del láser respecto al fotodetector.

El desplazamiento del láser en el fotodetector estará relacionado entonces con la altura a la que se encuentran los átomos en la muestra. Así entonces, barriendo con el cantiléver la muestra y registrando la posición del láser en el fotodetector, es posible formar una imagen de topografía.



Esquema 2 Equipo de AFM. Skoog et. al. 2007

En este caso se utiliza para medir los espesores y estudiar la morfología de las películas de perovskita.

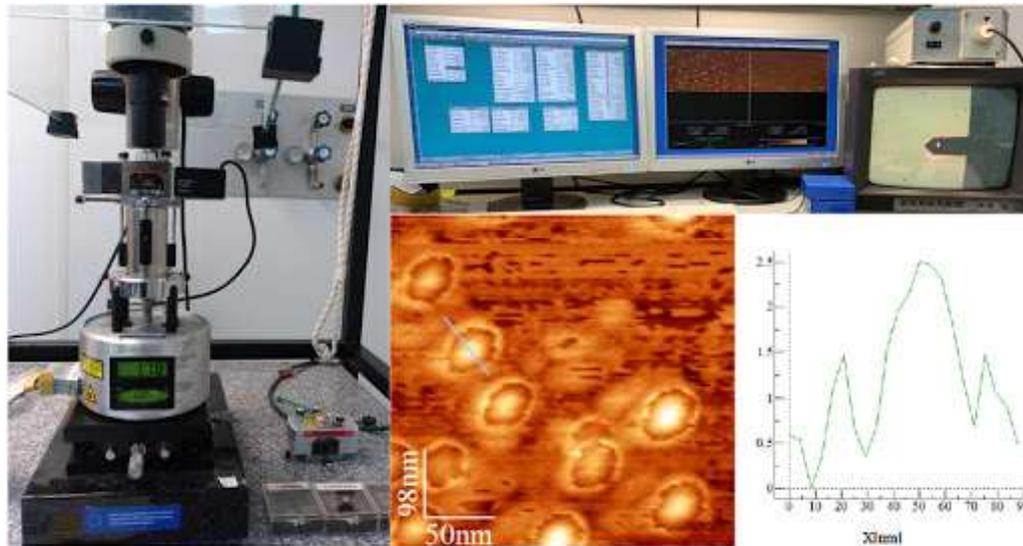


Ilustración 9 caracterización por microscopía de fuerza atómica (AFM)

2.3.3 Espectroscopía ultravioleta-visible.

La técnica es empleada para medir la absorbancia y la transmitancia de una muestra a diferentes longitudes de onda. Aunque utiliza una fuente de luz que abarca la región desde el infrarrojo cercano (NIR), pasando por el visible (vis), hasta el ultravioleta cercano (UV), se conoce sólo como espectroscopia de ultravioleta-visible (UV-vis), por lo que abarca desde los 380 nm hasta los 780 nm.

La luz se hace pasar por un monocromador que la separa en sus diferentes longitudes de onda, posteriormente mediante una rendija se escoge un haz de luz monocromático que se hace incidir en la muestra y la atraviesa para dirigirse a un detector. De esta manera se podrá formar una gráfica de la intensidad de la luz transmitida en función de la longitud de onda en lo que es llamado el modo de transmisión; o bien, puede usarse la intensidad de la luz absorbida y con esto se tiene el modo de absorción.

Al equipo que realiza esta caracterización se le conoce como espectrofotómetro el cual, por lo regular, cuenta con su propia fuente de emisión de luz.

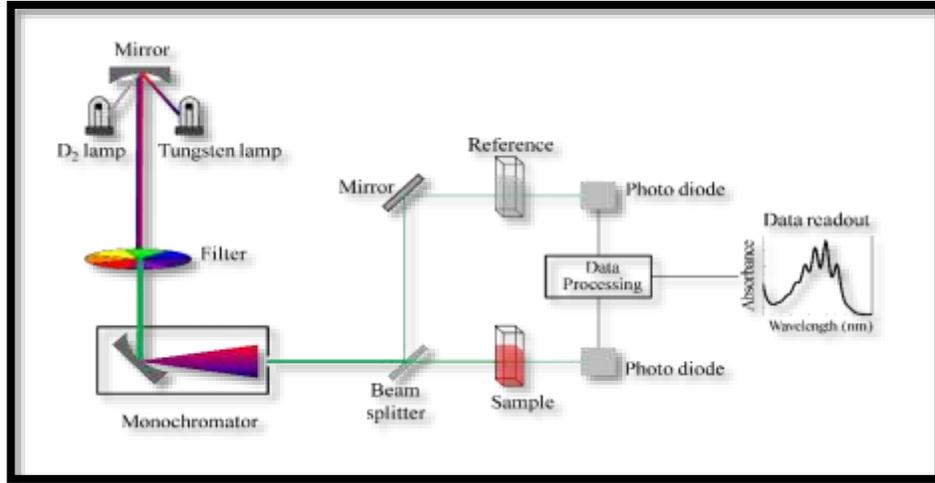


Ilustración 10 visualización del registro de la alteración de los electrones

relacionada linealmente con la absorbancia como representa la ecuación del Lambert-Beer:

$$A = -\log T = \log I_0/I = _bc$$

Ecuación 1 Lambert-Beer

Las muestras analizadas pueden ser tanto sólidas como líquidas, sólo deben cumplir con la condición de que permitan el paso de luz.

2.3.4 Microscopía electrónica de barrido (SEM)

La técnica funciona mediante el principio de la interacción de electrones con los átomos del material a estudiar. Para que dicha interacción se lleve a cabo, es necesario acelerar los electrones mediante el uso de un campo eléctrico; comúnmente se utiliza un filamento de tungsteno para la generación de los electrones a acelerar.

Mediante un arreglo de lentes magnéticos se disminuye el tamaño del haz de electrones generados de modo que éste se enfoque en un punto específico.

Cuando el haz de electrones acelerados incide sobre el material existen múltiples interacciones; una es que los electrones al chocar contra los átomos, reboten, por lo

que se llaman electrones retrodispersados; otros electrones al chocar, pueden transferir parte de su energía a electrones de la muestra, liberándolos, tales electrones son conocidos como secundarios.

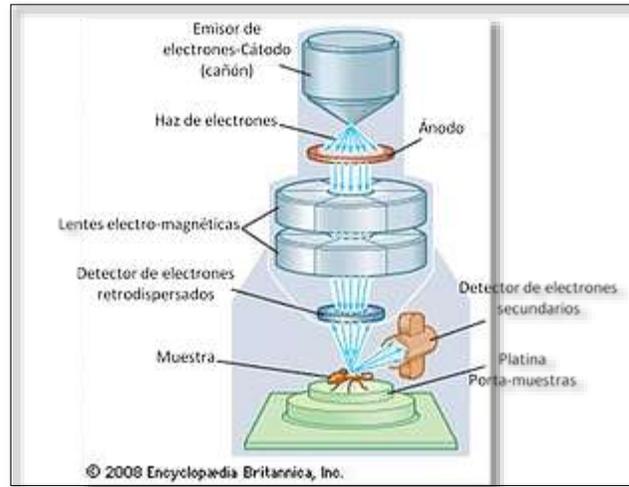


Ilustración 11 Microscopía electrónica de barrido (SEM)

CAPÍTULO 3. DESARROLLO DEL PROYECTO

Las celdas orgánicas pueden ser preparadas mediante el procedimiento más usado que es el spin coating; Dentro del proceso de caracterización de las mismas se lleva a cabo estudios de difracción de Rayos X, estudios de morfología mediante el microscopio óptico; se mide el espectro de absorción y con este se encuentra el band gap óptico. Con algunas de las películas de perovskitas se fabrican celdas solares de área de 0.06 cm² siguiendo la arquitectura: ITO/PEDOT: PSS/Perovskita/PC71BM/FM, la caracterización se obtiene mediante la curva J-V, en las cuales se analizan los parámetros de ISC, VOC, FF y PCE.

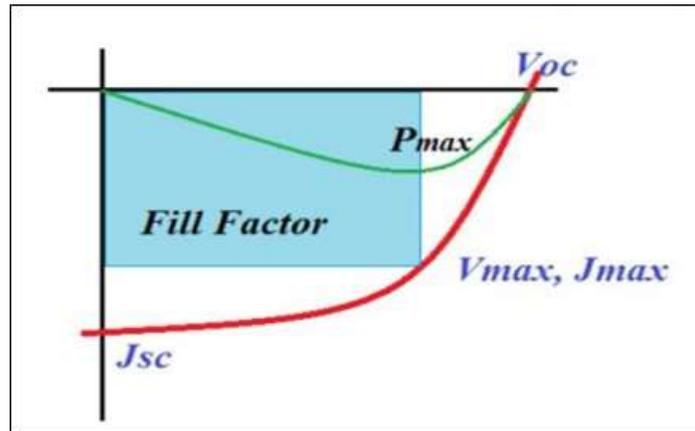


GRÁFICO 1 Curva densidad de corriente contra voltaje J-V

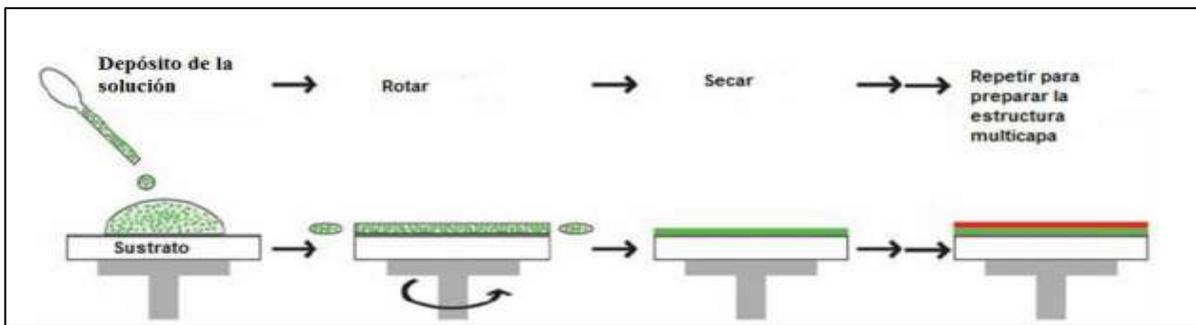
Para la caracterización de una celda se mide la eficiencia de conversión (PCE) mediante las ecuaciones escritas, a partir de la curva J-V (densidad de corriente contra voltaje); se obtienen los parámetros que describen el rendimiento del dispositivo que son: el voltaje en circuito abierto (VOC) la corriente en corto circuito (ISC) y el factor de llenado (FF). Para la adquisición de estas curvas se emplean como fuente de irradiación un simulador solar.

$$FF = \frac{J_{max} V_{max}}{J_{sc} V_{OC}}$$

Ecuación 2 Factor de Llenado

$$PCE = FF = \frac{V_{OC} J_{sc}}{P_{in}}$$

Ecuación 3 Eficiencia de Conversión



Esquema 3 Proceso Spin Coating

El depósito de perovskita en la película; cada una de las mezclas en sustratos, mediante la caracterización de rayo x, microscopia electrónica de barrido, electroscopio de dispersión o microscopia de fuerza atómica, para los análisis de morfología, espesor, composición y estructura de la capa activa de perovskita.

3.1 Preparación de las celdas

Las películas orgánicas son preparadas por los métodos tradicionales mencionados arriba, usando distintos disolventes y empleando diferentes concentraciones de moléculas y polímeros a mezclar, se depositan sobre sustratos de vidrio o plástico contenido ITO, que usualmente es el ánodo. Estos electrodos de ITO deben de estar completamente limpios. Para ello son lavados usando ultrasonidos y baños de etanol, agua y soluciones para limpieza de sustratos, ya que cualquier partícula de polvo puede afectar considerablemente la calidad de las películas y, con ello, la funcionalidad de las celdas solares.

CAPÍTULO 4. RESULTADOS Y CONCLUSIONES

Dada la contingencia presente en nuestro país, no fue favorable realizar de manera presencial la estadía, teniendo como consecuencia que las pruebas requeridas para la complementación de este trabajo no pudieran ser brindadas en el tiempo estipulado, pero se hará mención de resultados, basados en la investigación con los materiales mencionados.

Con la finalidad de analizar los resultados investigados en diferentes fuentes. Cuando se deposita en la película la tinta precursora de perovskita se va analizando la cristalización de la película, donde se tendrá un cambio de color en las películas lo cual corresponde a la reacción entre los precursores para formar el compuesto de perovskita, al cambiar de color se agrega cloro benceno.

También se deberá analizar los parámetros optoelectrónicos de las celdas fabricadas con la capa de perovskita

4.1 Análisis Costo Beneficio

Investigaciones De Celdas Orgánicas En El Mercado

"Las perovskitas son realmente prometedoras para los sistemas de energía solar" porque "son muy baratas, 500 veces más delgadas que el silicio y por lo tanto son flexibles y ultraligeras. También tienen tremendas propiedades de habilitación de energía y altas tasas de conversión solar" Los científicos lograron evitar la descomposición de las células de la perovskita con una simple y económica capa de polímero de vidrio. Para ello, sometieron los paneles solares a condiciones extremas de calor y humedad, unas situaciones de estrés en las que las células perovskitas, si no se protegen, se vuelven inestables (Baillie A. H., MAYO 2020)

En los últimos 10 años, diversos experimentos han demostrado que el rendimiento de las células de perovskitas ha mejorado desde niveles bajos hasta convertir el 25,2 % de la energía del sol en electricidad, una tasa de conversión que las células de silicio tardaron 40 años en conseguir.

Pero, sin protección, las células de perovskita no tienen la resistencia de las células basadas en el silicio, por lo que todavía no son comerciales.

Tabla 1 costo de una unidad por gramo de perovskita

Material	Costo
Perovskita	\$12.83/Unidad (Impuestos Incl.)

Tecnologías Hunt perovskite

Scott Burton afirma que “Después de lograr rápidamente dispositivos fotovoltaicos de perovskita altamente eficientes (> 18%) en la primavera de 2014, resolvimos de inmediato estabilizar el material de perovskita a través de una mejor química. Nuestras primeras pruebas demostraron que, aunque nuestros dispositivos de perovskita eran altamente eficientes y muy reproducibles, todos los materiales que creaban un dispositivo eficiente también provocaban que el dispositivo fotovoltaico fallara. Todos estos materiales siguen siendo utilizados habitualmente por nuestros competidores, incluso hoy. Basándonos en nuestros aprendizajes, también estamos explorando otras aplicaciones que incorporan nuestro semiconductor de perovskita altamente estable y eficiente.” (Baillie H. , 2013)

En concreto, las células fotovoltaicas de perovskita sobrevivieron más de 1800 horas de la prueba de "calor húmedo" de la IEC y a 75 ciclos de la prueba de "Congelación de humedad", y superaron por primera vez el requisito de la norma IEC61215:2016.

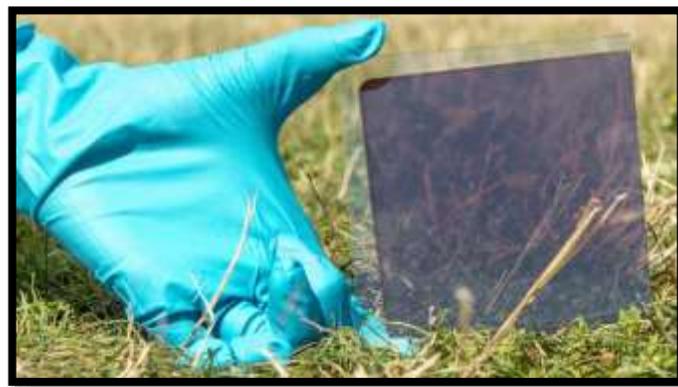


Ilustración 12 El secreto para eliminar uno de los obstáculos más importantes para el desarrollo de tinta solar de bajo costo es el uso de perovskita.

4.2 Análisis de las celdas fotovoltaicas

Tabla 2 Tabla Comparativa entre una celda de perovskita y una celda de silicio

Celdas De Perovskita	Celdas De Silicio
<ol style="list-style-type: none"> 1. Pueden adaptarse a cualquier superficie. 2. Son menos frágiles, lo que facilita su mantenimiento. 3. Son ecológicas porque son biodegradables y sus residuos no suponen tanto impacto como las celdas de silicio. 4. Su instalación y transporte es sencilla, ya que son ligeras. 5. Son más sensibles a la luz difusa e indirecta, de forma que es posible obtener mayor número horas de aprovechamiento al cabo del año. 6. Pueden funcionar en soportes transparentes, lo que las hace ideales para instalarlas en ventanas de edificios o de coches solares. 7. Las materias primas y el proceso de fabricación son mucho más económicos. 8. La reducción de los precios de la tecnología solar la hace más competitiva con el resto de fuentes de energía y, a la vez, más accesible a todo el mundo. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Requieren casi el doble de espacio para generar la misma cantidad de energía. 2. Para instalar paneles de energía solar es necesario realizar una inversión inicial elevada. 3. Las materias primas y el proceso de fabricación tienen un costo elevado. 4. En cantidad de sistemas solares pueden ocupar mucho espacio, especialmente si el techo no es lo suficientemente grande para acomodar los paneles. 5. Además del costo de fabricación, las celdas de silicio hacen uso de elementos tóxicos.

4.3 Conclusión

En este trabajo de investigación se presentó el método para la fabricación de celdas solares orgánicas con una capa de perovskita, que hasta el momento sigue siendo un modelo de investigación puesto que se ha conseguido mejorar esta última tecnología para que empiece a posicionarse como una mejor alternativa que los paneles fotovoltaicos que utilizamos actualmente.

Es importante seguir estudiando los métodos para la fabricación de estas celdas orgánicas, las películas orgánicas son preparadas por los métodos tradicionales mencionados, usando distintos disolventes y empleando diferentes concentraciones y sobre todo seguir realizando pruebas a mayor escala para obtener resultados propios en la mejora de la eficiencia para estas celdas.

4.4 Recomendaciones

Para un trabajo a futuro es necesario realizar optimas investigaciones sobre los materiales a utilizar ya que reaccionan de manera diferente y sobre todo tener en cuenta la vida útil de estos en la película a fabricar, puesto que en esto últimos años han sido de mucho interés para muchos investigadores, es recomendable la practica sobre estas técnicas de fabricación por ser un proceso que además de ser sencillo y económico también es delicado puesto que muchos factores ambientales y de fabricación pueden afectar al funcionamiento.

ANEXOS

Son muchas las ventajas que hacen de estos paneles una opción a tener en cuenta en el presente y futuro en el aprovechamiento de la energía solar.

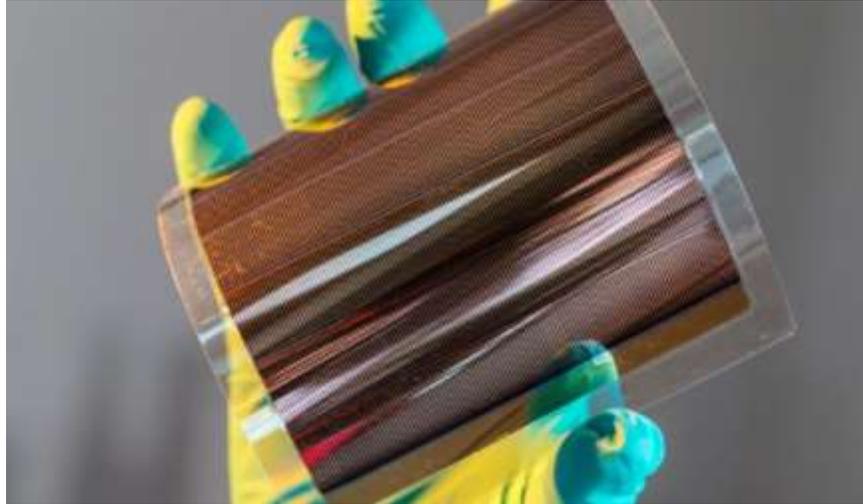


Ilustración 13 los materiales con el que están fabricadas las celdas orgánicas, presentan varias ventajas.

Actualmente los paneles solares orgánicos no se encuentran a la venta, aunque cuando esto suceda tendrán un precio muy competitivo, ya que incluso el precio de las placas solares fotovoltaicas de silicio es cada día más asequible. (INARQUIA, 2011)

BIBLIOGRAFÍA

ACCIONA. (s.f.). ENERGIAS RENOVABLES. ¿Qué son las Energías Renovables?, recuperado el 30 de enero del 2021 de <https://www.accionamx.com>

Advance Science New ADVANCE MATERIALS, Achieving Over 15% Efficiency In Organic Photovoltaic Cells Via Copolymer Design recuperado el 23 de febrero de 2021, de <http://www.advancesciencenews.com>

Agencia EFE, Perovskita, una nueva generación de células experimentales de energía solar, Mayo 2020 Anita Ho-Baillie, de la Universidad de Sydney (Australia). Recuperado 02 de abril 2021. <https://www.efe.com/efe/america/tecnologia/perovskita-una-nueva-generacion-de-celulas-experimentales-energia-solar/20000036-4252377>

Albella J.M., J.M. Martínez (2010); Fundamentos de electrónica física y microelectrónica; Universidad Autónoma de Madrid; ADDISON-WESLEY Editorial; Recuperado el 01 de abril del 2021.

Barbosa Garcia, celdas solares orgánicas como fuente de energía sustentable, revista universitaria, recuperada el 29 de enero del 2021.

CITE ENERGIA, Sillion Technology, Artículo Técnico, Lima Perú. Marzo 2019. Jesús Aragonez Román. Recuperado el 25 de febrero 2021 de https://issuu.com/citeenergia/docs/jesus_aragonez_roman

CONACYT. (s.f.). Centro de Investigaciones en Óptica A.C. .

DELTA . (s.f.). Energía De Tercera Generación recuperado el 15 de febrero Obtenido de <https://deltavolt.pe/energia-renovable/energia-solar/paneles-solares>

Energía, A. I. (s.f.).

HUNT PEROVSKITE TECHNOLOGIES, Fundada en 2013 por Ray L. Hunt, una división de Hunt Consolidated. <https://www.forbes.com.mx>

INARQUIA, CELDAS ORGANICAS DEL FUTURO, RECUPERADO EL 02 DE ABRIL DEL 2021; <https://inarquia.es/sobre-inarquia>

Lab., O. S. (s.f.). Ope source Lab.

Pedro Atienzar, J. B. (2013). LA PEROVSKITA, Riesgo Incierto De Las Energías Renovables. Gerencia de Riesgos y Seguros, 6. <https://www.mapfreglobalrisks.com/>

Repositorio institucional, Emmanuel Villa Flores (2017). Preparación de películas con perovskita para celdas fotovoltaicas orgánicas. Recuperado el 25 de febrero de 2021.