CAPÍTULO 1: INTRODUCCIÓN

La generación de energía a base de combustibles fósiles tiene un futuro limitado, ya que el aumento de la demanda ha ocasionado consecuencias negativas debido al consumo de este recurso. El calentamiento global es, finalmente, una clara evidencia de la idea fundamental de la física newtoniana: no hay acción sin reacción. Principio fundamental abandonado por el mundo en el siglo pasado. Es decir, no podemos seguir emitiendo continuamente dióxido de carbono, dióxido de nitrógeno y otros contaminantes producidos por la combustión de energías fósiles en nuestro ambiente sin sufrir las consecuencias [1].

Las energías renovables emitidas de nuestro entorno pueden ayudar en gran manera a reducir nuestra dependencia de los recursos fósiles; la energía solar es un tipo de energía renovable; es abundante y no contamina al medio ambiente, es por ello que está siendo explotada de varias formas, pero el método más familiar usa celdas solares basadas en silicio en las cuales la transformación directa de la luz del sol en electricidad se realiza a través del efecto fotovoltaico (efecto PV -debido al acrónimo inglés-).

La industria de estas celdas solares se inició en 1953 cuando científicos de los laboratorios Bell desarrollaron con éxito una celda fotovoltaica de estado sólido que convertía 5 % de la energía del sol produciendo solo 5 mW de potencia eléctrica. Estas celdas solares inorgánicas han sido optimizadas y actualmente pueden operar con eficiencias de conversión de potencia eléctrica mayor al 20 % [2-3].

Las investigaciones de celdas solares basadas en polímeros orgánicos ha atraído cada vez más la atención en recientes años, debido a que muestra ventajas potenciales en la reducción de sus costos de fabricación sobre las celdas solares inorgánicas, se busca que estos polímeros tengan una absorción del espectro solar desde el visible hasta el infrarrojo, ya que los principales retos para las celdas solares orgánicas son el incremento de la

eficiencia de conversión de energía solar en eléctrica y un mayor tiempo de vida, en la figura 1 se muestran ejemplos de celdas solares orgánicas.

En este trabajo se presenta la fabricación y caracterizaron de celdas solares utilizando los polímeros orgánicos de Poli 3-hexiltiofeno (P3HT) y Poli 2-metoxi-5-(etil-hexiloxi) -(*p*-fenilenvinileno) (MEH:PPV) en conjunto con fullerenos los cuales se usan para separar y transportar a los electrones. El fullereno $PC_{71}BM$ es el material que mejores resultados ha mostrado a nivel mundial. Se reporta además la implementación de nuevas arquitecturas para las celdas y nuevos métodos de fabricación tales como la utilización de una atmosfera controlada mediante el uso de una caja de guantes y la deposición del electrodo por medio de la evaporación al alto vacío. Lo anterior con el objetivo de conseguir el aumento de los parámetros eléctricos y por ende en la eficiencia de las Celdas Solares Orgánicas (OPV´s).

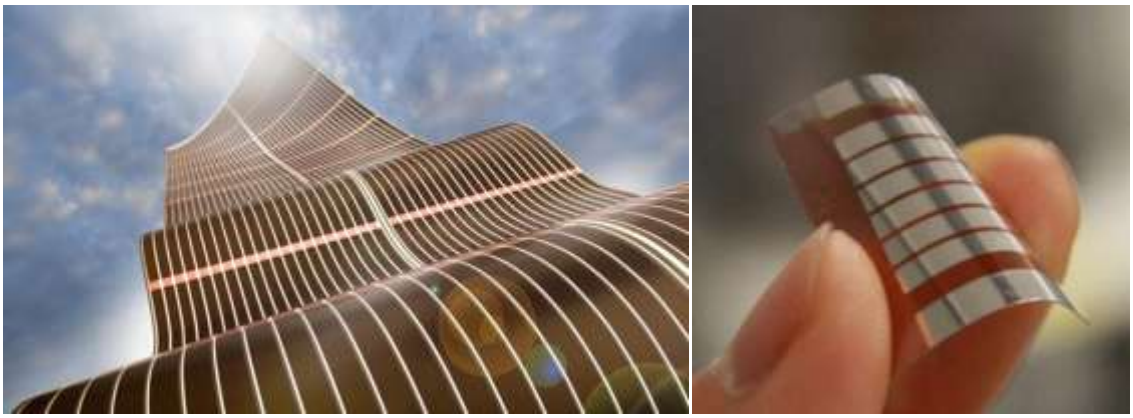

Figura 1. Celdas Solares Orgánicas a base de Polímeros

En México el Grupo de Propiedades Ópticas de la Materia (GPOM) del Centro de Investigaciones en Óptica (CIO) realiza estudios sobre el diseño y desarrollo de celdas solares orgánicas eficientes para la generación de energía eléctrica limpia, el (GPOM del CIO es uno de los pocos que ha trabajado en esta área con distintas colaboraciones nacionales e internacionales; particularmente, el presente proyecto de investigación sobre celdas solares orgánicas es apoyado por el Conacyt y la Secretaría de Energía, y colaboran especialistas del

Cinvestav, la UNAM y la Universidad Autónoma de Madrid, España; con el objetivo de alcanzar la eficiencia del 6%.

Hasta el momento el GPOM ha reportado eficiencias del 2.2% para celdas con una arquitectura heterounión de volumen[4], empleando sustratos con ITO (óxido de indio-estaño) que sirve de cátodo, una capa de PEDOT:PSS que funciona como capa colectora de huecos y la mezcla entre P3HT y $PC_{71}BM$ como capa activa, así como Fields Metal que funcionó como ánodo.

Debido a lo anterior llevé a cabo mi residencia profesional en el Grupo de Propiedades Ópticas de la Materia del Centro de Investigación en Óptica para poder conocer el principio de funcionamiento, fabricación y caracterización de dispositivos fotovoltaicos basados en compuestos orgánicos y así poder colaborar en la investigación.

1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Las celdas solares implican un alto costo que no es rentable y hasta ahora ha restringido su uso masivo, para que las celdas OPVs tengan realmente un impacto comercial profundo es necesario que las eficiencias de conversión de luz solar a eléctrica alcancen valores mayores al 10 %, que su tiempo de vida se extienda a varios años y se cuente con sistemas de almacenamiento de energía adecuados

La eficiencia de conversión eléctrica (η) de la tecnología orgánica fotovoltaica (η = 5-7 % [5]), no se compara actualmente con la eficiencia de los dispositivos inorgánicos (igual o mayor al 24.7% [6]), por otra parte la mayoría de los materiales orgánicos absorben fuertemente la radiación UV, que degrada las celdas bajo la luz solar directa. Sin embargo, un rápido crecimiento en la eficiencia de conversión ha sido desarrollado en los ´últimos años logrando eficiencias de las celdas OPVs a partir del 0.001% en 1975, hasta un 1% en 1986, en el 2006 un 5.5% [7] y más recientemente (en el 2009) se han reportado celdas que alcanzan una eficiencia del 6.4% [8], sugiriendo que el

trabajo en esta área aumenta el rendimiento total y el tiempo de vida de las celdas OPV's para competir con la tecnología inorgánica.

En México también se ha comenzado a trabajar desde hace algunos años en la fabricación de celdas solares orgánicas (OPV´s). Es especial en el GPOM del CIO, se ha logrado reportar eficiencias del 1.8 - 2.2 %, para este tipo de dispositivos. [3]. Dicha eficiencia se obtuvo para celdas con arquitectura heterounión de volumen, sin embargo, el proyecto *"Diseño y desarrollo de celdas solares orgánicas (OPVs) eficientes para la generación de energía eléctrica limpia"* tiene como objetivo principal fabricar celdas OPV´s con al menos 6% de eficiencia.

1.2 JUSTIFICACIÓN

Este proyecto se realiza con la finalidad de conocer el principio de funcionamiento, fabricación y caracterización de dispositivos fotovoltaicos basados en compuestos orgánicos, así como el incrementar la eficiencia de conversión de energía solar en eléctrica. Los beneficios son muy extensos principalmente dadas las diferentes aplicaciones.

Energía limpia:

El mayor beneficio de la utilización de la energía solar es que es a la vez amigable con el medio ambiente y una fuente de energía renovable y limpia.

Social:

El uso de paneles solares orgánicos es una forma muy práctica para producir electricidad en comunidades o lugares donde este servicio no puede llegar, las casas y cabañas a distancia aprovechan muy bien los beneficios de los sistemas de energía solar. Ya no es necesario pagar honorarios enormes para la instalación de postes eléctricos y cableado al centro más cercano de acceso a la red principal.

Fig. 1.1: Ejemplo de las aplicaciones de las celdas OPVs en casas y edificios.

Dispositivos que pueden funcionar con energía del sol:

Teléfonos móviles, relojes solares y computadores son algunos de los aparatos que pueden funcionar con paneles solares. Estos dispositivos son amigables con el medio ambiente y cada vez más compañías los comercializan. En la fig. 1.2 se muestra el bolso de la marca Noon Solar está hecho con materiales orgánicos, cuenta con un panel solar que toma la energía y la guarda en una batería de ión-litio recargable, desde la cual se puede cargar un celular y un reproductor de Mp3 y el reloj eco friendly.

Fig. 1.2: a) bolso de la marca Noon b) reloj eco friendly.

1.3 OBJETIVOS

Fabricar y caracterizar dispositivos fotovoltaicos basados en compuestos orgánicos para lograr alcanzar una eficiencia de 6 %.

Objetivos específicos:

- Fabricar celdas solares orgánicas en atmósfera controlada.
- Caracterizar las celdas solares orgánicas fabricadas.
- Incrementar la eficiencia de las celdas solares orgánicas.
- Elaborar un arreglo de celdas solares orgánicas en atmosfera controlada y proporcionar una aplicación.

1.4 INSTITUCIÓN DONDE SE LLEVA A CABO EL ESTUDIO DEL PROBLEMA

El Centro de Investigaciones en Óptica, A.C., inicia su vida el 18 de abril de 1980, en León, Guanajuato, actualmente el CIO se define como un Centro Público de Investigación, con la misión de llevar a cabo investigación básica y aplicada en Óptica, la formación de recursos humanos de alto nivel en el este mismo campo del conocimiento, así como al fomento de la cultura científica en la sociedad. Tiene la misión además, de ser un centro de investigación de excelencia, con liderazgo nacional y reconocimiento internacional creciente en el campo de la óptica, ocupando un lugar central en el desarrollo de la ciencia y la tecnología en nuestro país. El CIO tiene 3 áreas sustantivas, Investigación, Formación de Recursos Humanos, y Tecnología e Innovación; la Dirección de Investigación tiene las Divisiones de Óptica y de Fotónica.

El Grupo de Propiedades Ópticas de la Materia (GPOM) pertenece a la *División de Fotónica*. Es un grupo de investigación que realiza trabajo de forma interdisciplinaria e interinstitucional ya que en él se encuentran físicos,

químicos e ingenieros con diversas especialidades y, tiene colaboraciones con académicos de diversas instituciones nacionales e internacionales.

Se han logrado 14 proyectos con un monto aproximado de 30 millones de pesos y han sido principalmente institucionales, de CONCyTEG y de CONACyT. Con estos proyectos se ha dado mantenimiento al equipo mayor y comprado varios equipos adicionales para realizar los programas de investigación en los dos laboratorios del Grupo. En particular, en el año 2011 se obtuvo el proyecto CONACyT-SENER *"Diseño y desarrollo de celdas solares orgánicas (OPVs) eficientes para la generación de energía eléctrica limpia"* con un monto económico de $ 8 542 500 M.N. siendo actualmente el proyecto de mayor monto logrado en el CIO por un investigador; el responsable de este proyecto es el Dr. José Luis Maldonado Rivera.

Actualmente el GPOM está constituido por 10 investigadores entre titulares, de sabático y postdoctorales.

Líneas de Investigación

El trabajo de investigación del GPOM, *Grupo de Propiedades Ópticas de la Materia*, está enfocado básicamente a:

- Desarrollo, caracterización y estudio de materiales fotónicos inorgánicos y orgánicos, atendiendo sus propiedades ópticas lineales y no-lineales tanto en forma de bulto como en nano-estructuras así como su implementación en dispositivos opto-electrónicos (i.e. CELDAS SOLARES ORGÁNICAS) y sensores.
- Desarrollo de la instrumentación y la aplicación de técnicas espectroscópicas en diversos campos como la bio-fotónica, alimentos, fármacos, arqueología, industria del calzado y pintura.

Las metas inmediatas para el grupo:

- Desarrollar celdas solares orgánicas con una eficiencia superior al 6%.

- Promover la aplicación de técnicas espectroscópicas y la fabricación de prototipos para la caracterización de materiales en la industria y en la academia.
- Desarrollo de materiales nano-estructurados orgánicos e inorgánicos.

El equipo mayor con que se cuenta en los laboratorios de Materiales y de Espectroscopia del GPOM es:

Fuentes de luz:

- *Tunable OPO Laser System (220 nm- 2000 nm).*
- *Millennia Nd:YVO Laser (532 nm) CW.*
- *Ti: Sapphire Laser (650 nm – 980 nm) CW, Power 1W*
- *Ti: Sapphire Laser (730 nm – 850 nm), 80 MHz, fs regime.*
- *Nd:YAG Laser (1064 nm, 532 nm & 355 nm) Pulsed (10 ns), Energy 1.5 J (1064 nm), 700 mJ (532 nm), 450 mJ (355 nm).*
- *Nitrogen laser (337 nm) Pulsed (0-30 Hz, 4 ns), Energy 300* μ*J.*
- *Xenon Arc Lamp CW, 150 W.*
- *Semiconductor laser at 375 nm, 9 mW energy.*

Otros instrumentos:

- *Spectrophotometer UV-VIS-NIR.*
- *Spectrometer (500 mm focal distance, UV-VIS-NIR).*
- *Oscilloscope (500 MHz Bandwidth, 2 Channels).*
- *PMT Detectors (UV-VIS-NIR).*
- *Photodiodes. Viewer UV, VIS, IR.*
- *ICCD, 280-950nm with 5 ns.*
- *Lock-in Amplifier,*
- *Rotary Evaporator.*
- *Photon Counter.*
- *Potenciostat - Galvanostat*
- *Thin-Film Measurement System.*
- *Atomic Force Microscope (AFM).*
- *Vacuum Deposition System + Glove Boxes.*

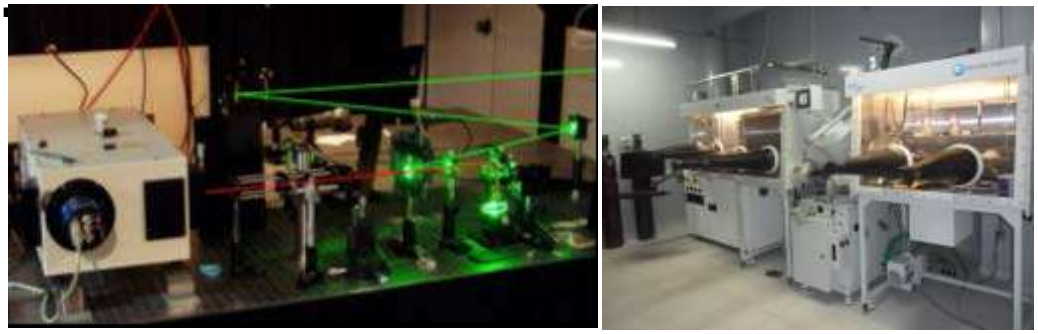

Fig. 1.3: Laboratorio de Espectroscopia y materiales

1.5 PROBLEMAS A RESOLVER PRIORIZÁNDOLO

Elaborar celdas solares basadas en polímeros orgánicos en atmósfera de nitrógeno.

- Diseñar y perfeccionar la arquitectura y el método de fabricación de las celdas solares orgánicas.
- Incrementar la eficiencia de conversión de energía solar en eléctrica.
- Afinar el método de fabricación de las celdas solares orgánicas dentro de la caja de guantes con atmósfera de nitrógeno, así como la deposición del electrodo dentro de la evaporadora.

1.6 ALCANCES Y LIMITACIONES

Alcances:

- Versatilidad para realizar modificaciones estructurales en las arquitecturas de las celdas solares orgánicas, que permiten modular las propiedades deseadas.
- Fabricación fácil y rápida de las celdas solares orgánicas.

Limitaciones:

- Se requiere poseer una caja de guantes y evaporadora con atmósfera inerte.
- Se requiere de conocer diferentes parámetros del sistema de control de la evaporadora.
- Se requiere tener el tiempo necesario para la experimentación.

CAPÍTULO 2: CELDAS SOLARES

Las celdas solares orgánicas, como fuentes alternativas de energía, estarán mucho más cerca del usuario y garantizarán, de manera continua, la energía que necesitamos a diario.

2.1 OPERACIÓN BÁSICA DE UNA CELDA SOLAR

De manera muy general, en una celda solar, la luz es absorbida por el material orgánico dentro de la capa fotoactiva como se muestra en la fig. 2. Mediante la absorción, los fotones contribuyen con la suficiente energía para que un electrón salte del estado base al excitado, dejando un hueco en su lugar (en el estado base), esto produce un par electrón-hueco fuertemente unido por atracción coulombiana, llamado excitón; el excitón se desplaza entre las moléculas donde ocurre una disociación de éste (separación de los huecos y electrones); estos huecos y electrones libres migran a sus respectivos electrodos produciendo una corriente y un voltaje [7].

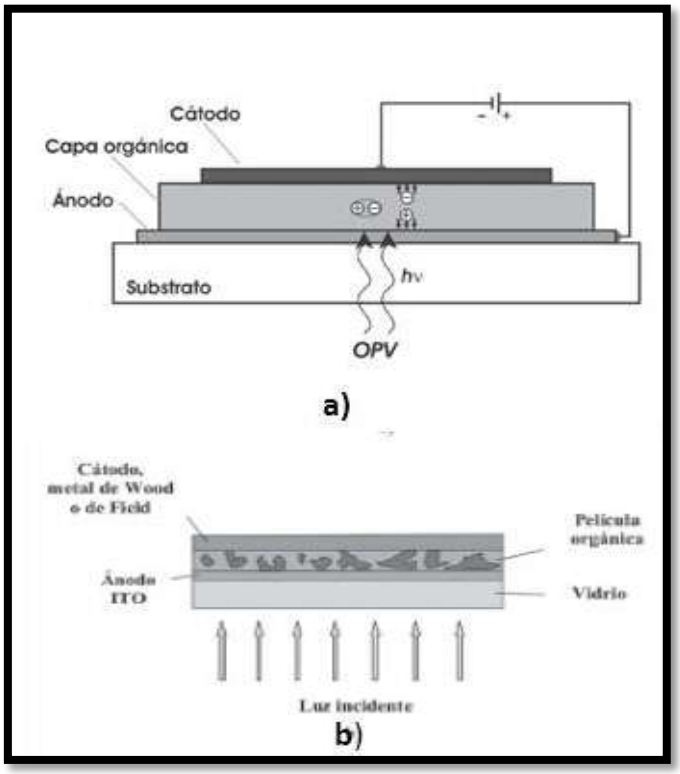

Fig. 2: Esquema simple de una celda solar b) Diseño de una celda solar orgánica (celda OPV) en la arquitectura de heterounión de volumen (BHJ).

El excitón cuenta con un tiempo de vida pequeño que permite recorrer una distancia limitada conocida como longitud de difusión del excitón y que se encuentra alrededor de 20 nm para materiales orgánicos.

Si un excitón no se separa en sus componentes electrón y hueco, eventualmente se recombina emitiendo un fotón o decae produciendo calentamiento en la celda (recombinación no radiante).

En la figura 2.1 se representa el funcionamiento general de un sistema en donde uno de los medios activos (el donador) interactúa con la luz incidente formando excitones; la luz estimula un medio activo generando excitones, aquellos que se encuentran próximos a una interfaz se separan en electrones (círculos negros) y huecos (círculos blancos). Las líneas punteadas indican la región en donde la intensidad del campo eléctrico interfacial puede separar los excitones en cargas libres. Las cargas separadas son conducidas a los electrodos correspondientes. Los excitones que no son separados se recombinan liberando energía.

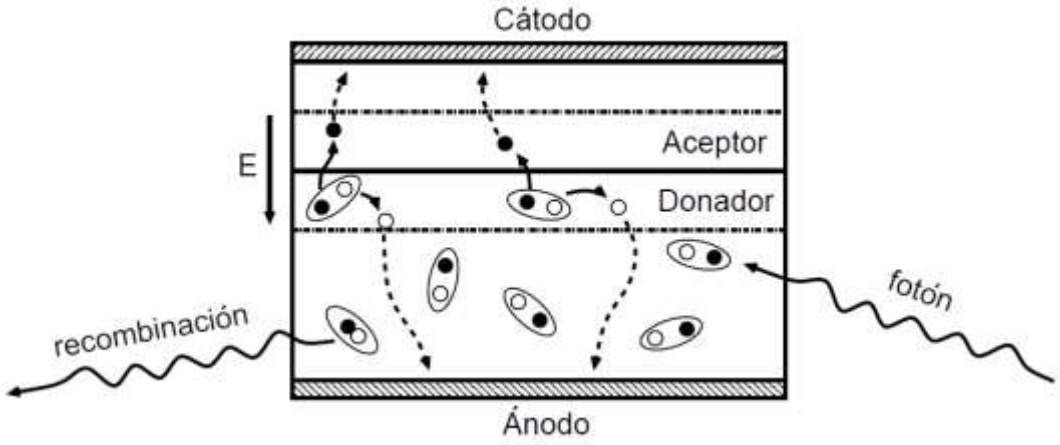

Figura 2.1: Esquema del funcionamiento de una celda.

Las celdas poliméricas operan gracias a los materiales orgánicos donador y aceptor de electrones. Cada uno de estos materiales tiene características HOMO (orbital ocupado de más alta energía) y LUMO (orbital desocupado de más baja energía); estos orbitales moleculares permiten describir la configuración electrónica de las moléculas a través de una combinación lineal de orbitales atómicos y son los análogos a las bandas de valencia y conducción en un semiconductor inorgánico.

A la diferencia de energía entre el HOMO y el LUMO se le conoce con el nombre de band gap óptico (banda óptica prohibida). Esta banda prohibida determina la mínima longitud de onda de luz necesaria para la excitación en cada material. Dentro del dispositivo OPV, los fotones pueden incidir en las moléculas donadoras o aceptoras excitando un electrón del HOMO al LUMO de cada material, lo cual lleva a la formación de un excitón, como se muestra en la figura 2.2.

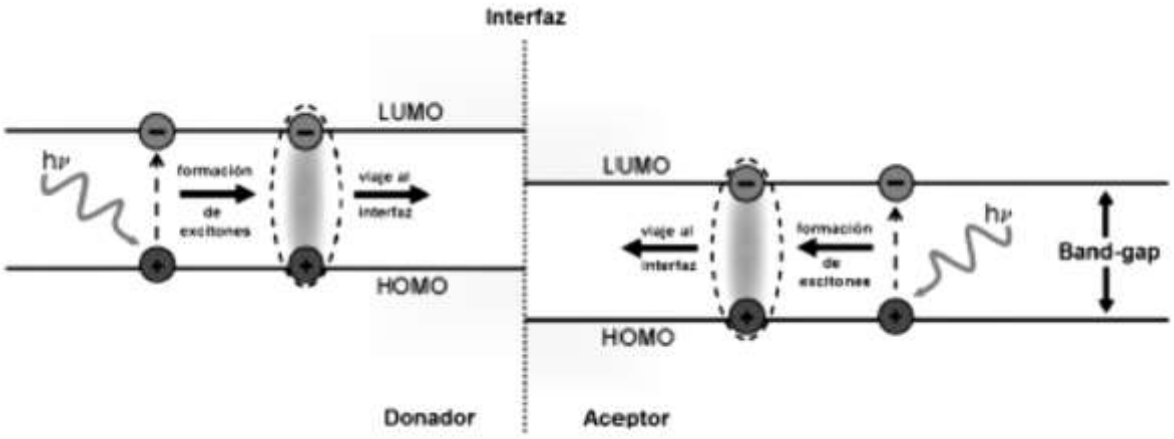

Figura 2.2: En el material donador y aceptor de la celda la luz es absorbida generando la formación de excitones, los cuales deben inmigrar a una interfaz para ser separados en electrones y huecos.

Para ambos casos (material donador y aceptor), en un principio no se tiene la energía necesaria para generar electrones y huecos libres, por lo que, los excitones deben viajar a la interfaz formada entre el material donador y aceptor, con el fin de generar portadores de carga libres.

En estas uniones, los electrones, que se han excitado al LUMO de la molécula donadora, pueden saltar al LUMO del aceptor y los huecos en el HOMO del aceptor pueden saltar al HOMO del donador; en la fig. 2.3 se muestra que en una interfaz los excitones se separan en electrones y huecos debido a la presencia de un campo eléctrico, (a) los electrones que se han excitado al LUMO del donador pueden saltar en el LUMO del aceptor y b) los huecos en el HOMO del aceptor pueden saltar en el HOMO del donador generando un flujo de electrones y huecos respectivamente que emigran a sus electrodos correspondientes. Esta disociación puede ocurrir sólo si la diferencia de

energía entre los niveles HOMO o LUMO es mayor que la energía de enlace del excitón. En esta separación de fase los electrones y huecos libres emigran a sus electrodos respectivos. La operación eficiente de una celda OPV requiere que el excitón pueda alcanzar una interfaz antes de que ocurra la recombinación [10].

La selección de materiales semiconductores como aceptor y donador es de gran importancia. Las moléculas candidatas deben tener un band gap que sea lo bastante pequeño para ser excitado eficientemente por la radiación solar.

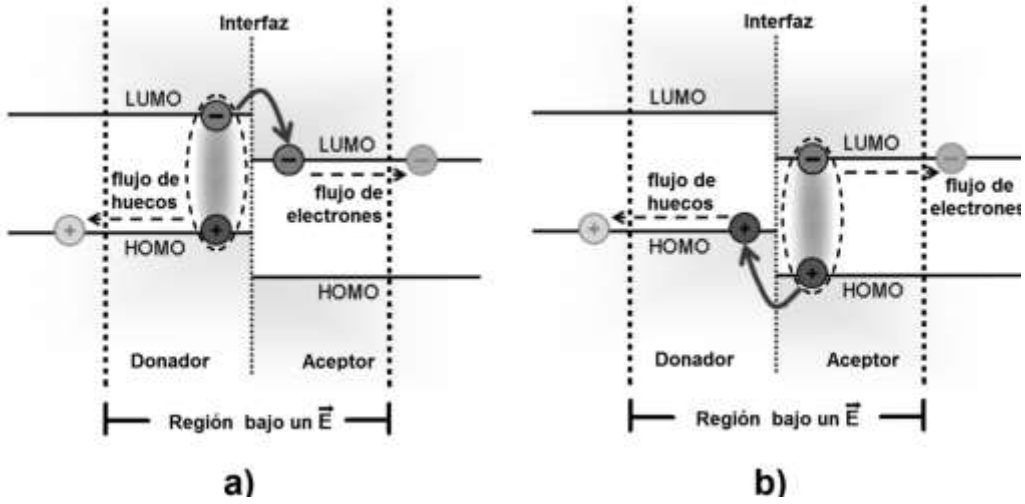

Fig. 2.3: Interfaz

El material donador debe ser capaz de estabilizar el transporte de huecos, y el aceptor debe permitir el transporte de electrones. La combinación del donador y aceptor debe ser elegida para permitir la adecuada compensación entre los niveles HOMO y LUMO, es decir la diferencia de energía entre HOMO y LUMO del donador y aceptor debe ser mínima, para permitir la disociación del excitón.

Además, el donador debe cumplir varios requisitos para poder funcionar de manera eficiente. La absorción de luz visible o IR es de vital importancia para la conversión de fotones en excitones. Después de la formación del excitón, el material donador debe permitir su movimiento hacia una interfaz.

El material aceptor, debe tener al igual que el donador un perfil de absorción, una adecuada interacción entre HOMO y LUMO, y ser poseer una alta

solubilidad. Aunque su característica más importante es la estabilización de electrones libres [11]. Para nuestro caso se empleó como aceptor el $PC_{71}BM$ (un derivado del C70), el cual tiene una gran afinidad electrónica.

2.2 ARQUITECTURAS DE CAPA ORGÁNICA FOTOACTIVA

El concepto de heterounión de volumen nació de buscar la manera de tener una mayor zona activa para las celdas. Bajo esta modalidad, el material donador y aceptor están íntimamente mezclados formando una sola capa (fig. 2.4).

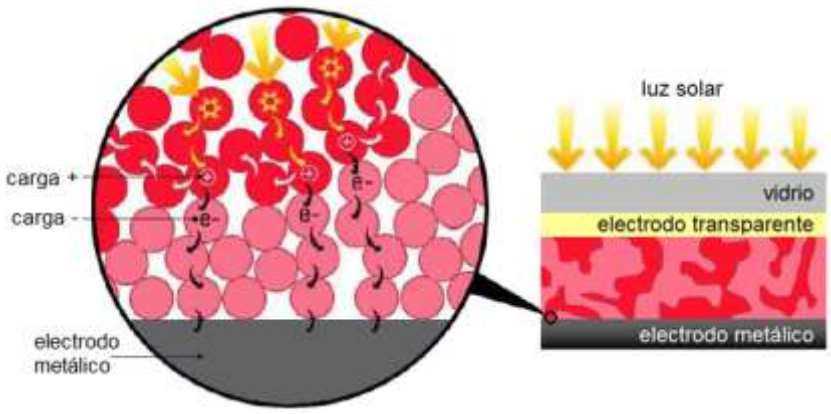

Figura 2.4: Celda diseñada con la arquitectura de heterounión de bulto. La interfaz donador aceptor se encuentra en toda la película orgánica, lo cual permite una mayor área efectiva para la separación de excitones en electrones y huecos libres incrementando considerablemente la fotocorriente.

La capa se encuentra formada por la mezcla de fases donadoras y aceptoras de electrones (concepto de volumen). Adicionalmente, dado que la interfaz se encuentra a lo largo y ancho de toda la película orgánica, la distancia que tienen que viajar los excitones para alcanzar un electrodo, es del orden de lo que su longitud de difusión les permite, por lo que la separación de cargas se incrementa considerablemente [12].

2.3 CARACTERIZACIÓN DE UNA CELDA SOLAR

La caracterización de una celda solar consiste en la determinación de la eficiencia de conversión eléctrica, bajo la condición de iluminación. El comportamiento eléctrico de una celda solar está dado por la curva de densidad de corriente y voltaje (curva J-V), que es una gráfica de la corriente desarrollada por la celda solar para un cierto rango de voltajes mientras la celda se ilumina con una fuente de luz de espectro AM 1.5 [10] como lo son una lámpara halógena de 300 watts y el sol. La figura 2.5 muestra la curva mencionada.

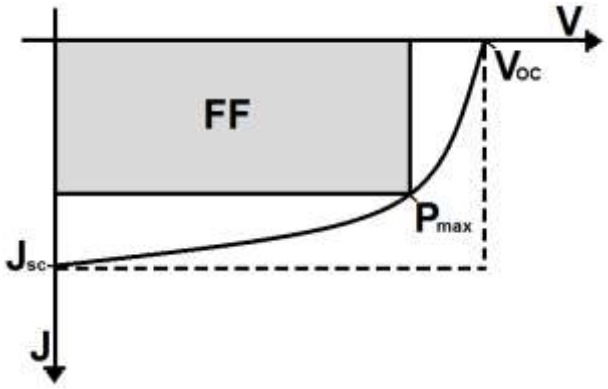

Fig. 2.5: Esquema que representa una curva J-V

La curva J-V hace posible determinar la eficiencia de conversión eléctrica, a través de parámetros calculados a partir de ésta, los cuales son: el voltaje de circuito abierto ***Voc***, densidad de corriente de corto circuito ***Jsc***, el voltaje en el punto de máxima potencia ***Vm***, la densidad de corriente en el punto de máxima potencia ***Jm*** y el factor de llenado (Fill Factor) ***FF***.

Se entiende por punto de máxima potencia aquel en donde el producto P = VJ obtenido por la celda alcanza su valor máximo. El FF y la eficiencia de una celda se definen de acuerdo a las ecuaciones 2.1 y 2.2, en donde ***Pin*** es la potencia óptica luminosa que incide en el área activa de la celda, que comúnmente se fija a 100 mW = cm^2 (ya que es lo que el estándar de iluminación) [13].

$$FF = \frac{V_m J_m}{V_{oc} J_{sc}} \qquad (2.1)$$

$$\eta = FF \frac{V_m J_m}{P_{in}} \qquad (2.2)$$

Es de interés mencionar que en los OLEDs se aplica electricidad y se genera luz, mientras que en las celdas solares orgánicas, se absorbe luz y se genera electricidad; debido a que el proceso de elaboración de estos semiconductores orgánicos es similar se elaboró un OLED (Anexo I).

CAPITULO 3: FABRICACIÓN DE CELDAS SOLARES ORGÁNICAS

3.1 PELÍCULAS DELGADAS A BASE DE COMPUESTOS ORGÁNICOS

Las películas de material orgánico se pueden depositar a temperatura ambiente sobre una gran variedad de sustratos, lo cual es fundamental para la fabricación de los dispositivos fotónicos y optoelectrónicos.

Una de las técnicas más simples, fáciles y económicas de fabricar películas conteniendo distintas moléculas y polímeros es la de centrifugación. Esta consiste en depositar pequeñas cantidades de la solución líquida sobre un sustrato como vidrio o cuarzo. El sustrato se hace girar a altas velocidades, por ejemplo 2000 rpm, evaporándose rápidamente el disolvente y obteniéndose una película homogénea de gran transparencia y calidad óptica.

Actualmente se trabajan con numerosos polímeros y diferentes arquitecturas, con el único objetivo de hacer que las celdas solares orgánicas mejoren sus parámetros eléctricos. A continuación se presentan algunos de los materiales con los que se trabajaron para la fabricación de celdas solares.

Poli-etilendioxitiofeno: poliestireno sulfonado (PEDOT:PSS): Es un copolímero formando por dos monómeros. Uno de los componentes del polímero es el “poli estireno sulfanado de sodio” este polímero lleva una carga negativa. El otro monómero es un tiofeno el cual es un compuesto conjugado con una carga positiva. El PEDPOT:PSS se emplea como conductor de huecos. Para formar películas de este polímero se usa el método de centrifugación (spin-coating). Normalmente se deposita a una velocidad de 5000 rpm, con lo que puede formarse una película de entre 20 – 30 nm. Fig. 3

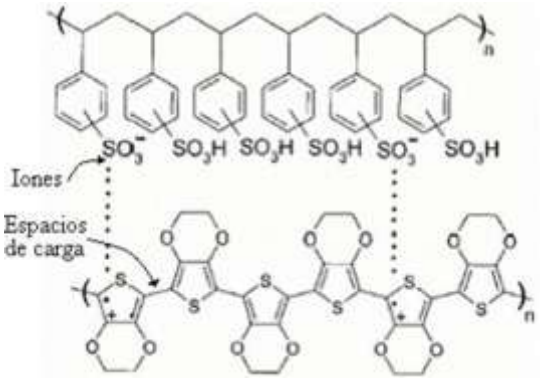

Figura 3: Estructura química del PEDOT:PSS

Poli [2-metoxi-5-(etil-hexiloxi) - (p-fenilenvinileno)] MEH-PPV:

Es un polímero semiconductor de tipo p (donador de electrones) se emplea junto con el fullereno PCBM para formar la capa activa en una celda solar, ha sido ampliamente empleado en la fabricación de dispositivos emisores de luz (OLEDs) y celdas fotovoltaicas [12]. La capa activa se deposita por centrifugación con velocidades entre 800 y 1000 rpm con lo que se forma una película delgada con espesor de entre 80 a 120 nm. La estructura química del MEH-PPV se presenta en la figura 3.1.

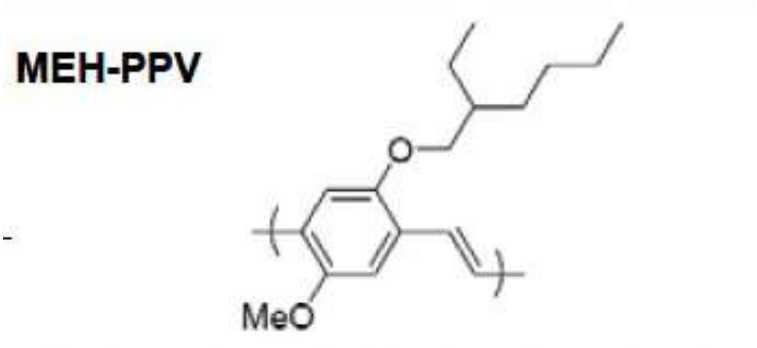

Figura 3.1: Estructura química del MEH-PPV

Poli (3-hexiltiofeno) (P3HT)

P3HT es el polímero conjugado más ampliamente utilizado para la aplicación de celdas solares. Ya que tiene un amplio rango de absorción, buena conducción eléctrica y una excelente estabilidad térmica.

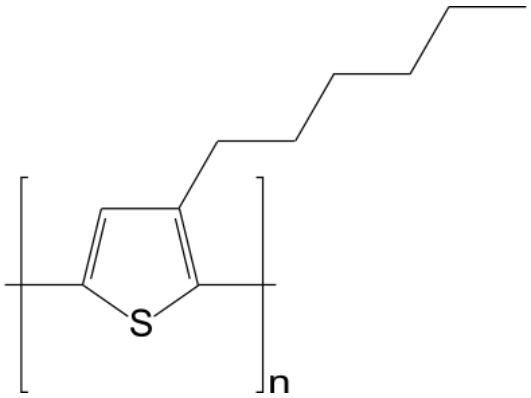

Fig. 3.2: Estructura química de P3HT

(2,5-Dioctyl-3,6-bis-(5″-*n*-hexyl-[2,2′,5′,2″]terthiophen-5-yl)-pyrrolo[3,4-*c*]pyrrole-1,4-dione) (SMDPPO)

SMDPPO es una molecula pequeña que puede ser utilizado como donador de electrones ya que tiene un especro de absorcion cercano al UV.

Fig. 3.3: Estructura química de SMDPPO

Bis-(dicianovinil-sexithiophene)-Bu(1,2,5,6)(DCV6T)DCV6T es una molecula pequeña que puede ser utilizado como donador de electrones ya que tiene un espectro de absorcion cercano al UV.

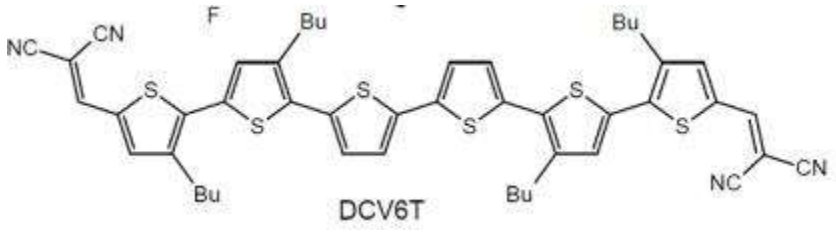

Fig. 3.4: Estructura química de DCV6T

[6,6]-fenil-C71-butírico (PC 61 BM)

Es un semiconductor orgánico de tipo n (aceptor de electrones). Junto con el polímero electrodonador se emplea para formar la capa activa en una celda solar.

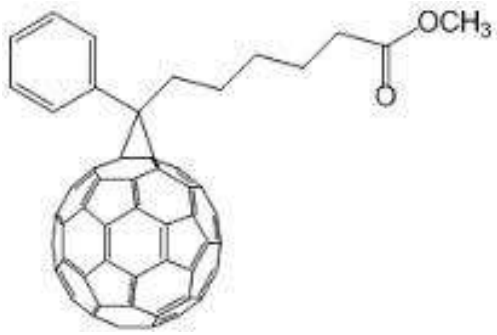

Figura 3.5: Estructura química del Fullereno $PC_{71}BM$

Molécula B1

Es una molécula aceptora de electrones diseñada y fabricada en el GPOM, que puede ser empleada junto con polímero electrodonador para formar la capa activa en una celda solar.

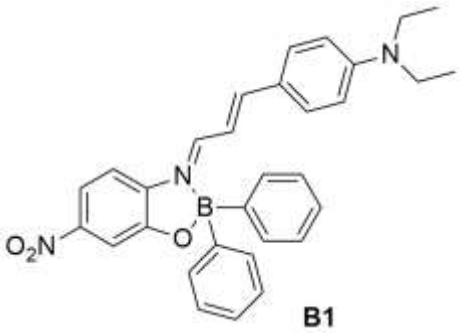

Figura 3.6: Estructura química de molécula B1

3.2 PROCESO EXPERIMENTAL

3.2.1 LIMPIEZA DEL SUSTRATO (VIDRIO)

Para poder fabricar celdas solares empleamos un sustrato que es vidrio cubierto con una película de ITO, el cual debe llevar un proceso de limpieza que es el siguiente.

- Lavar con agua y jabón, posteriormente colocarlo en un recipiente con acetona, sellarlo y depositarlo en un baño ultrasónico durante 20 minutos.
- Se sacan los sustratos se secan con aire y posteriormente al recipiente se le coloca etanol y se depositan nuevamente los sustratos para ponerlos en un baño ultrasónico de 20 minutos.
- Al salir de este baño ultrasónico se secan nuevamente y se depositan en agua destilada siguiendo el mismo proceso de baño ultrasónico durante 20 minutos.
- Al salir de este baño se hace el proceso anterior nuevamente para quedar limpios completamente por 20 minutos.
- Al terminar el baño se secan con aire y se secan en el horno a 120 °C durante 20 minutos.
- Se guardan los sustratos.

Para procesos experimentales se utilizan sustratos (sin ITO), los cuales llevan el mismo proceso de lavado.

Figura 3.7: Limpieza de los sustratos y la tina de baño ultrasónico utilizada en el lavado de sustratos.

3.2.2 PREPARACIÓN DE LA DISOLUCIÓN PARA DEPOSITO CAPA ORGÁNICA (MEH:PPV)

- Pesar 5mg de MEH:PPV (150000-25000 PM) colocándolo sobre papel para pesar dentro de la balanza analítica
- El polímero pesado se deposita dentro un vial limpio y se le agregan 2ml de clorobenceno anhidro anteriormente medidos con una pipeta.
- A la solución del vial se le coloca una barra de agitación magnética, se cierra en vial con parafil y se cubre todo el vial con aluminio.
- La solución se deja en una parrilla con agitación magnética por 12 horas a una temperatura de 90 °C.
- Posteriormente a la disolución anterior se le agregan 15 mg de fullereno $PC_{71}BM$ y se deja nuevamente en la parrilla con agitación magnética durante 2 horas.
- Al terminar la disolución está lista para utilizarse.

Para los compuestos SMDPPO Y DCV6T las cantidades son las mismas que el MEH:PPV sin embargo, en el caso del P3HT,las cantidades son de 6 mg de P3HT + 4.8 mg $PC_{71}BM$ +2 ml Clorobenceno.

Figura 3.8: Proceso de elaboración de la solución de MEH:PPV.

3.2.3 DEPÓSITO DE PELÍCULAS

Sobre un sustrato de vidrio cubierto con una película de ITO se depositaron películas activas orgánicas usando la técnica de centrifugación llamada spin-coating (ver fig.3.9). La solución se colocaba directamente sobre este sustrato en reposo y posteriormente se inicia la rotación.

Fig. 3.9: Dispositivo y técnica de spin-coating. Una porción de material orgánico en solución se coloca sobre el sustrato a recubrir y se rota para obtener una película delgada y uniforme.

3.3 EXPERIMENTOS REALIZADOS FABRICANDO OPVs A TEMPERATURA Y PRESIÓN NORMAL.

La fabricación de Celdas Solares Orgánicas consiste en colocar películas delgadas de diversos materiales, la capa activa de los dispositivos fabricados se ha depositado a partir de disoluciones en clorobenceno; para la realización de estos experimentos, se trabajó con dos polímeros fotoconductores MEH:PPV y P3HT depositando películas con un espesor de 80 a 100 nm, además del PEDOT:PSS utilizado como conductor de huecos con una capa de 25 a 30 nm, el fullereno PC_{71} BM como sensibilizador y una solución de TiOx-PC_{71}BM como transportador de electrones y protector de la capa activa y Fields Metal (aleación de bismuto, indio y estaño 32.5% Bi, 51% In, 16.5% Sn) cuyo punto de fusión es de 62-65 °C fue utilizado como electrodo.

Las condiciones para la elaboración de las celdas solares fueron a temperatura y presión normal.

3.3.1 PEDOT:PSS (ALDRICH) DILUIDO CON H2O

El PEDOT:PSS se utiliza como conductor de huecos en este caso el que utilizamos es de la compañía ALDRICH y para obtener películas homogéneas y tener una mejor eficiencia en ellas se realizaron pruebas atacándolos con diferentes soluciones.

Acetona (2ml) / H2O (0.5ml)
Acetona (2ml) / H2O (1ml)
Acetona (2ml) / H2O (2ml)

- Se coloca sobre un cristal limpio una película de PEDOT:PSS sobre el spiner a 5000 rpm (se repite este paso para las siguientes dos películas)
- Posteriormente las película hechas se depositan en el horno por 20 minutos a 120 °C

- Después de retirarlas del horno se coloca en el Spinner a 5000 rpm para ser atacados cada una con su respectiva solución.
- Se depositan nuevamente al horno por 20 minutos a 120 °C y al terminar se mide su grosor y la homogeneidad de las películas en el AFM.

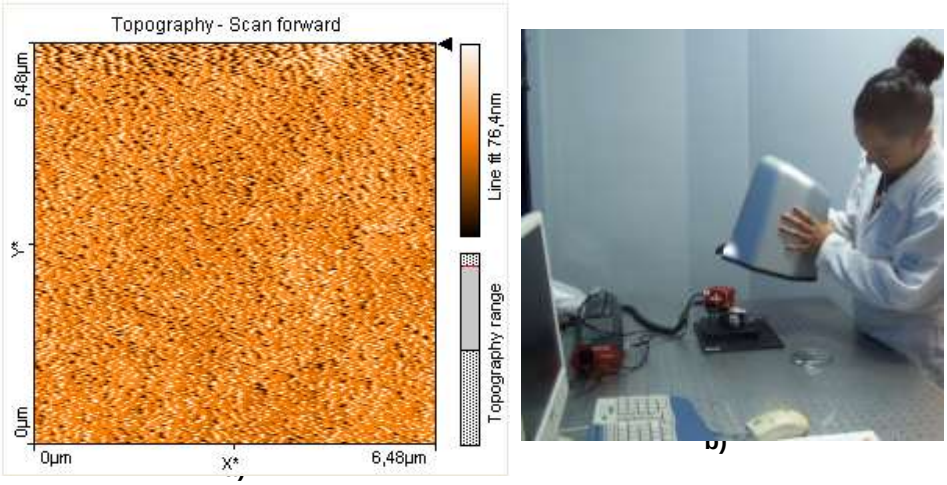

Fig. 3.10. a) Película de PEDOT:PSS/H_2O tomada por el AFM; b) Microscopio de fuerza atómica (AFM)

La concentración que mejor resultado tuvo fue 1:1 ya que la película fue más homogénea.

3.3.2 CELDA SOLAR A BASE DE MEH:PPV Y $PC_{71}BM$

Para la elaboración de esta celda solar se utilizaron películas delgadas con los siguientes compuestos: PEDOT:PSS y MEH-PPV + $PC_{71}BM$

Para depositar la capa activa en las celdas solares orgánicas se preparó una solución de $PC_{71}BM$ en combinación con MEH:PPV a una concentración de 1:5 (1 mg MEH:PPV-5 mg $PC_{71}BM$) Para la realización de las celdas se necesitan sustratos con ITO, previamente lavados.

1. Se aplica una película delgada de PEDOT:PSS (previamente filtrado utilizando una pipeta con algodón para evitar que pasen partículas

grandes de PEDOT:PSS), con ayuda de un Spinner, calibrado a 5000 rpm (velocidad a la que mejores resultados se ha obtenido).

2. Después de depositar la película de PEDOT:PSS los sustratos se colocan en el horno a 120 °C por 20 minutos para que la película quede completamente seca y se adhiera al sustrato.

3. Posteriormente la solución de $PC_{71}BM$ y MEH-PPV, previamente preparada es depositada al igual que el PEDOT:PSS con la ayuda de una Spinner, teniendo como diferencia las velocidades que son de 1200 rpm por 9 segundos y posteriormente 2500 rpm por 60 segundos para el secado.

4. Los sustratos con las dos películas vuelven al horno, para secarse completamente dejándolos 20 minutos a 120 °C.

5. Al salir del horno se colocaron mascarillas de cinta sobre las películas, esto para delimitar el área activa de la celda. Se buscó que el espacio en el que se depositará el Fields Metal no sea mayor a 3 mm de diámetro. En este caso se prepararon cuatro celdas por sustrato.

6. Una vez enmascarado el sustrato, se pone el Field Metal. Como se mencionó previamente el punto de fusión del metal es de aproximadamente de 65 °C, pero para depositarlo la parrilla debe estar entre 90 y 95° C. El procedimiento comienza fundiendo un pequeño trozo de metal en una charola de papel aluminio, posteriormente el sustrato se coloca también en la parrilla y la gota de metal fundido se deja caer sobre el sustrato y se mueve para cubrir toda el área activa. Una vez hecho esto el sustrato se retira de la parrilla para enfriarse.

7. Una vez hecho cada uno de estos pasos las celdas solares están listas para medirse. En la tabla 1 se muestra el resultado de la celda con mejor eficiencia.

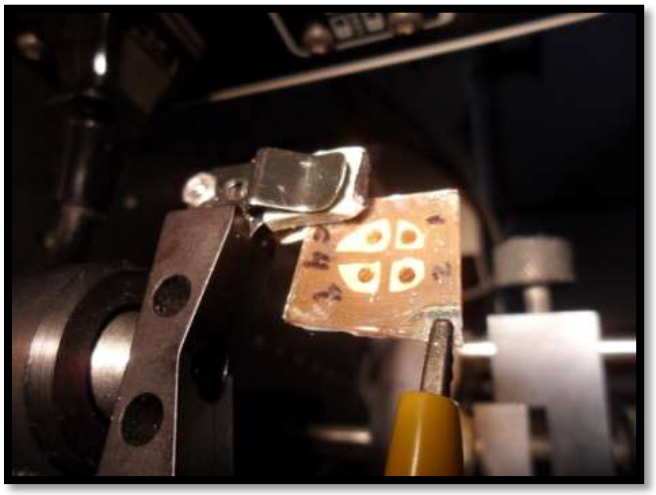

Fig. 3.11: Caracterización de celda solar

Tabla 1. Parámetros eléctrico-óptico para las primera Celda Solare Orgánica a base de MEH:PPV.

CELDA	V_{oc} (V)	J_{sc} (mA/cm^2)	FF	η %
SUSTRATO/ITO/PEDOT/ MEH:PPV- PC71BM /TiOx/ FM	**0.380**	**2.1**	**0.11**	**0.82**

3.3.3 MOLÉCULAS SMDPPO Y DCV6T

Se realizaron experimentos con las moléculas(2,5-Dioctyl-3,6-bis-(5″-*n*-hexyl-[2,2′,5′,2″]terthiophen-5-yl)-pyrrolo[3,4-*c*]pyrrole-1,4-dione) SMDPPO y bis-(dicianovinil-sexithiophene)-Bu (1,2,5,6) DCV6T, combinados con MEH:PPV y el fullereno PC61BM. Estas moléculas muestran espectros de absorción muy cercanas al infrarrojo (SMDPPO fig.3.12 y DCV6T fig.3.13), lo cual ayuda a una mayor absorción de la radiación solar. Los resultados de la celda con mejor eficiencia se muestran en la tabla 2.

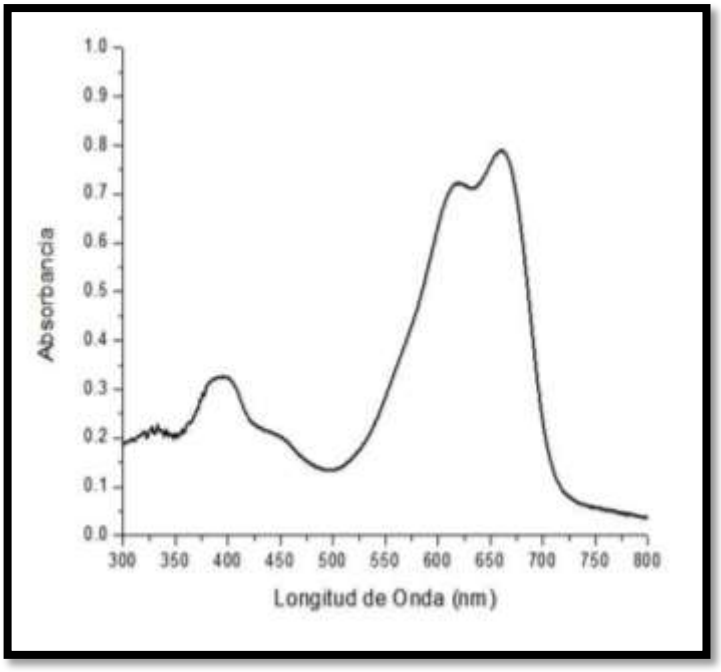

Figura 3.12: Espectro de absorción de SMDPPO en clorobenceno

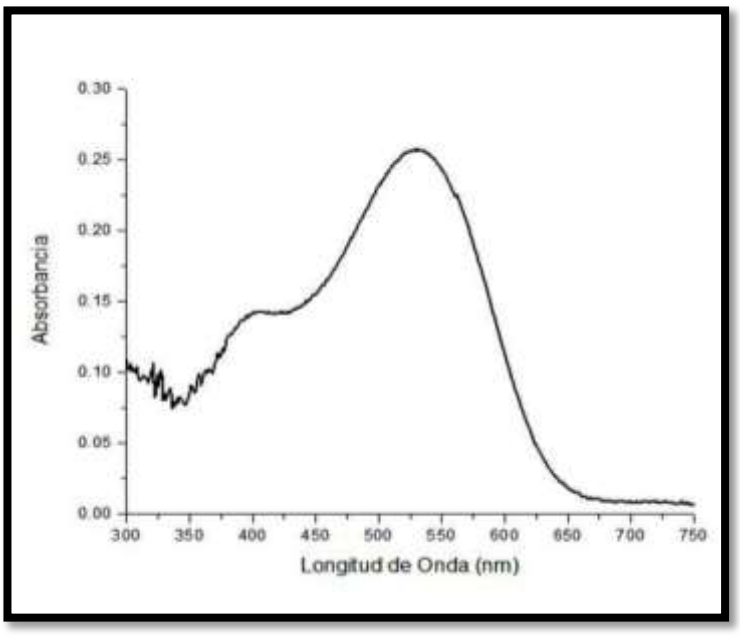

Fig.3.13: Espectro de absorción de DCV6T en clorobenceno

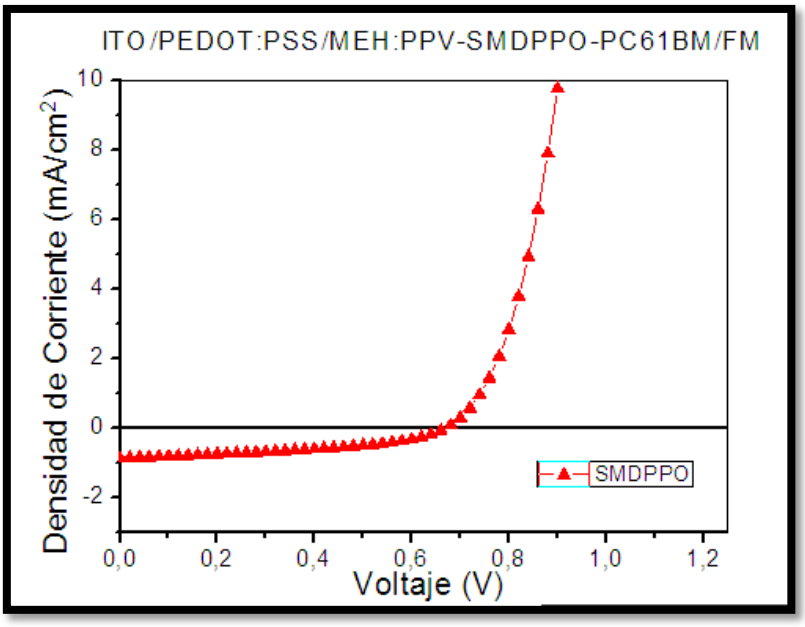

Fig3.14:. Curvas J-V de celda solar a base de MEH:PPV con SMDPPO

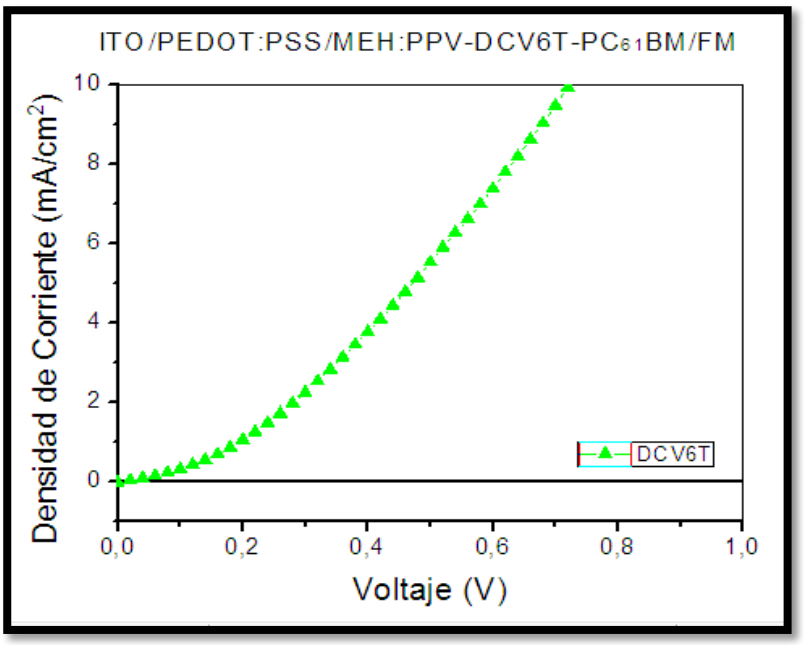

Fig.3.15: Curvas J-V de celda solar a base de MEH:PPV con DCV6T la eficiencia es básicamente cero.

Tabla 2. Parámetros eléctrico-ópticos para las Celdas Solares con moléculas SMDPPO y DCV6T.

CELDA	V_{oc} (V)	J_{sc} (mA/cm^2)	FF	η %
SMDPPO	0.68	0.03	6.63	0.15
DCV6T	0.62	0.02	5.32	0.09

3.3.4 MOLÉCULA B1

En este experimento se elaboraron celdas solares a base de MEH:PPV utilizando como material aceptor a la molécula B1, los resultados obtenidos se muestran en la tabla 3.

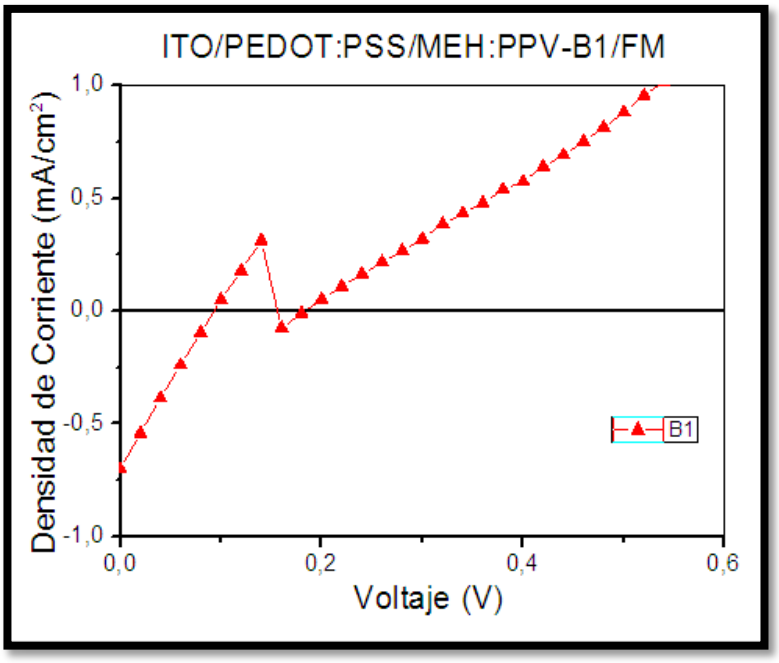

Fig.3.16: Curvas J-V de celda solar a base de MEH:PPV con B1

Tabla 3. Parámetros eléctrico-óptico para Celda Solar Orgánica a base de MEH:PPV con una capa de TiOx.

CELDA	V_{oc} (V)	J_{sc} (mA/cm^2)	FF	η %
SUSTRATO/ITO/PEDOT/ MEH:PPV-B1 /TiOx/ FM	**0.40**	**6.7**	**0.11**	**1.54**

3.3.5 CELDA SOLAR A BASE DE MEH:PPV Y PC71BM CON TIOX COMO CAPA TRASPORTADORA DE ELECTRONES

En la fig. 3.17 se muestra la arquitectura para realizar celdas a base de MEH:PPV a una concentración de concentración de 1:5 (1 mg MEH:PPV + 5 mg PC71BM) con una película de TiOx diluida en metanol (1:0.1). Esta película funciona como transportador de electrones y protector de la capa activa, a partir de este experimento se utilizó PEDOT:PSS de la compañía clevious ya que con él se han reportado mejores resultados.

Figura 3.17: Arquitectura empleada para las celdas con Óxido de Titanio

La fig.3.18 muestra las curvas J-V para las celdas OPVs en las que se depositó una película delgada de Óxido de Titanio.

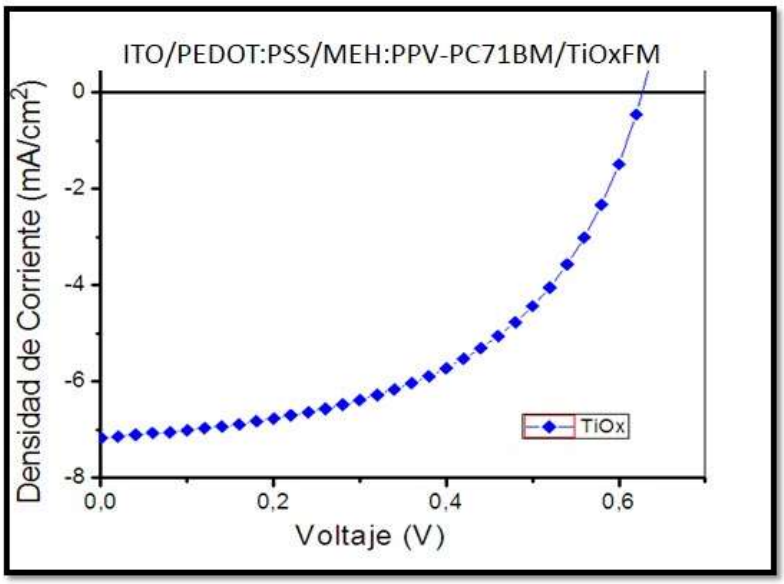

Fig.3.18: Curvas J-V de las Celdas Solares Orgánicas con Óxido de Titanio

Tabla 4. Parámetros eléctrico-óptico para las Celdas Solares Orgánicas a base de MEH:PPV con una película delgada de Óxido de Titanio.

CELDA	V_{oc} (V)	J_{sc} (mA/cm^2)	FF	η %
SUSTRATO/ITO/PEDOT/ MEH:PPV- PC71BM /TiOx/ FM	0.84	5.2	0.41	1.82

En la fig.3.19 muestra la arquitectura empleada para realizar las celdas con una película delgada de Óxido de Titanio dopada con $PC_{71}BM$.

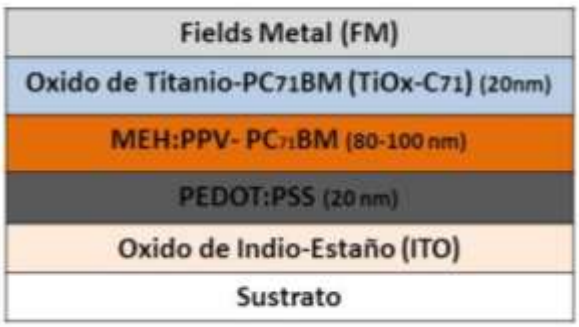

Figura 3.19: Arquitectura empleada para las celdas con Óxido de Titanio en combinación con $PC_{71}BM$

En este caso se hizo una solución de TiOx (1:10) y $PC_{71}BM$ (0.5 mg/ml) a una relación de 1:0.02. Esta película también funciona como transportadora de carga y protectora de la capa activa.

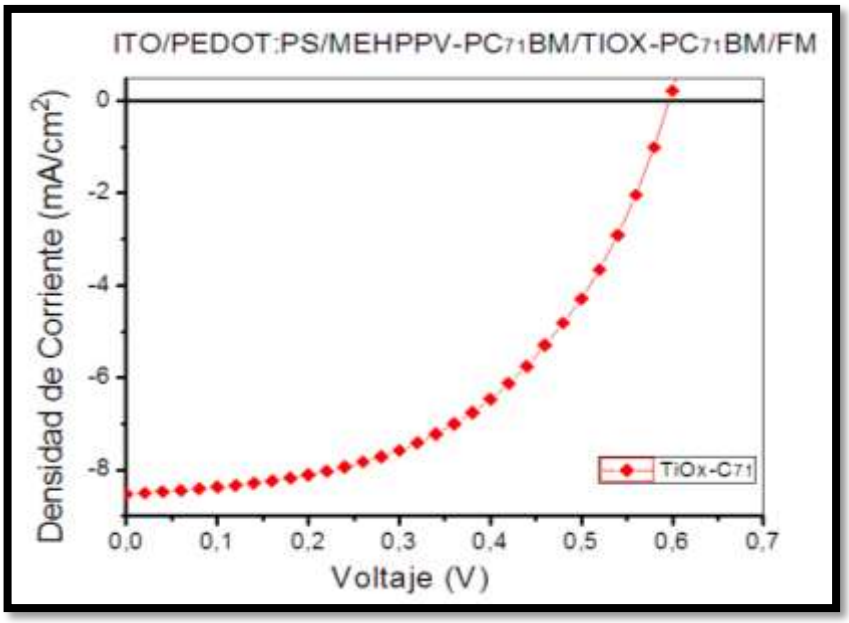

Fig.3.20: Curvas J-V de las Celdas Solares Orgánicas con Óxido de Titanio y C_{71}.

Tabla 5. Parámetros eléctrico-óptico para las Celdas Solares Orgánicas a base de MEH:PPV con una película delgada de Óxido de Titanio con $PC_{71}BM$.

CELDA	V_{oc} (V)	J_{sc} (mA/cm^2)	FF	η %
SUSTRATO/ITO/PEDOT/ MEH:PPV-PC71BM/TiOx-$PC_{71}BM$ /FM	**0.84**	**5.7**	**0.43**	**2.05**

3.3.6 CELDA SOLAR A BASE DE P3HT Y PC71BM CON TIOX COMO CAPA TRASPORTADORA DE ELECTRONES

En la fig. 3.21 se muestra la arquitectura para celdas a base de P3HT y PC71BM a una relación de 1:0.8 (1 mg P3HT- 4.8 mg $PC_{71}BM$).También se elaboraron celdas solares sin la capa de TiOx-$PC_{71}BM$ para poder compararlas.

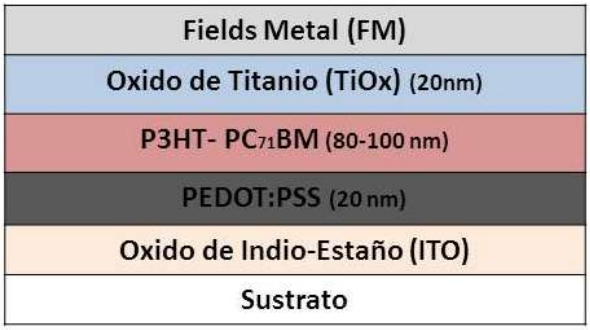

Figura 3.21: Arquitectura empleada para las celdas de P3HT con Óxido de Titanio

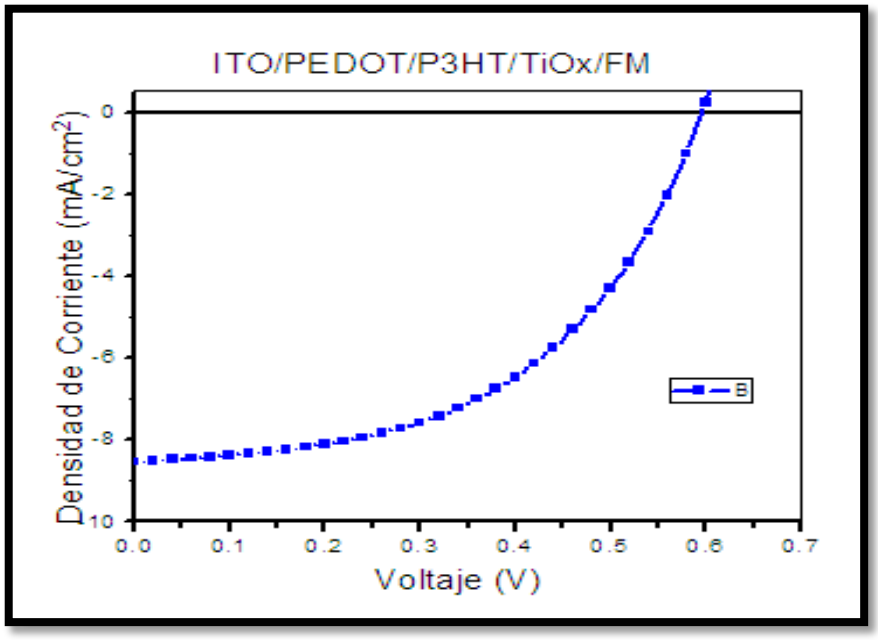

Fig.3.22: Curvas J-V de las Celdas Solares Orgánicas a base de P3HT con Óxido de Titanio

Tabla 6. Parámetros de conversión eléctrico-óptica y eficiencias de celdas a base de P3HT con óxido de Titanio

CELDA	V_{oc} (V)	J_{sc} (mA/cm^2)	FF	η %
SUSTRATO/ITO/PEDOT/ P3HT-$PC_{71}BM$/TiOx/FM	0.66	8.97	0.44	2.63

En la fig. 3.23 se muestra la arquitectura para realizar celdas a base de P3HT y PC71BM a una relación de 1:0.8 (1 mg P3HT- 4.8 mg $PC_{71}BM$)

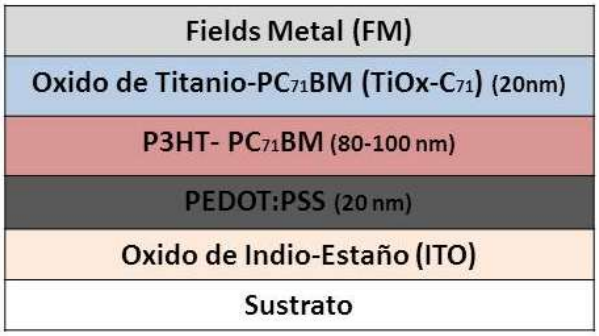

Figura 3.23: Arquitectura empleada para las celdas de P3HTcon Óxido de Titanio en combinación con $PC_{71}BM$

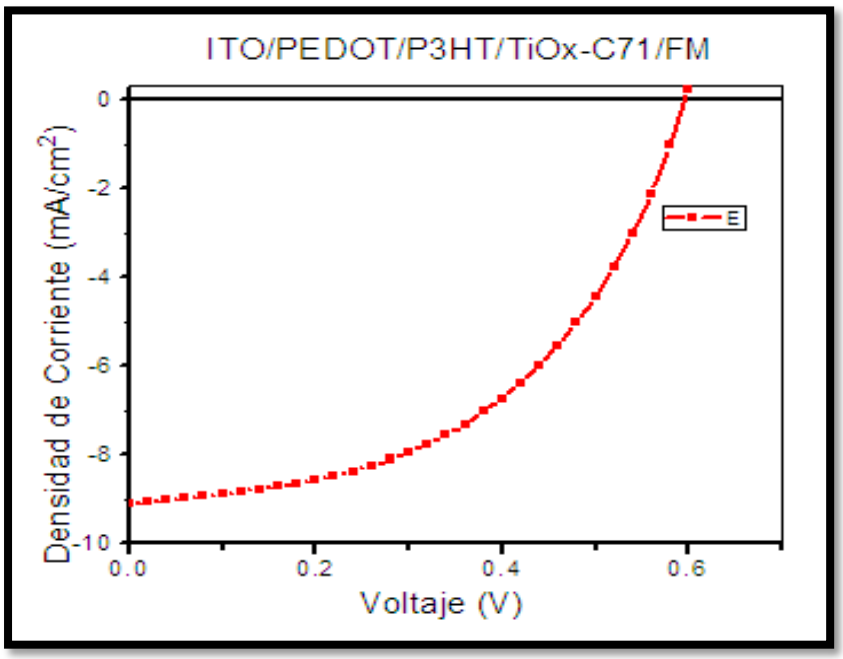

Fig.3.24: Curvas J-V de las Celdas Solares Orgánicas a base de P3HT con Óxido de Titanio y $PC_{71}BM$

Tabla 7. Parámetros de conversión eléctrico-óptica y eficiencias de celdas a base de P3HT con óxido de Titanio y $PC_{71}BM$

CELDA	V_{oc} (V)	J_{sc} (mA/cm^2)	FF	η %
SUSTRATO/ITO/PEDOT:PSS/P_3HT-C_{71}/TiOx-C_{71} /FM	0.60	9.08	0.49	2.68

3.4 ELABORACIÓN DE CELDAS SOLARES EN ATMOSFERA INERTE

Uno de los principales problemas a los que se enfrentan los materiales orgánicos es la exposición al medio ambiente ya que estos se oxidan fácilmente, lo que lleva a trabajar con ellos en un espacio controlados. El nitrógeno es un gas inerte el cual no afecta la estructura de los materiales orgánicos por lo que es uno de los métodos que hoy en día se emplea para elaborar celdas OPVs y OLEDs dentro de una atmosfera controlada.

El proceso de elaboración de las celdas solares orgánicas en atmósfera inerte es el mismo que las elaboradas en condiciones normales de laboratorio, con la única diferencia que desde el proceso de la elaboración de las soluciones hasta la aplicación del electrodo (Aluminio evaporado en lugar de Fields Metal) se hacen dentro de una caja de guantes llena de nitrógeno, esto con el fin de evitar el contacto con el aire y otros contaminantes, para así lograr mejores eficiencias en las celdas solares orgánicas.

Es importante mencionar que la deposición de las películas de PEDOT:PSS y TiOx se hacen fuera de la caja de guantes ya que sus solventes contienen H_2O.

Fig.3.26: Caja de guantes y evaporadora.

3.4.1 CELDAS SOLARES A BASE DE MEH:PPV

Se realizaron celdas solares a base de MEH:PPV, con la arquitectura previamente utilizada que se muestra en la fig.3.27.

Figura 3.27: Arquitectura empleada para las celdas de MEH:PPV elaborada en atmósfera controlada.

Los resultados obtenidos fueron mejores que los que presentaron las celdas elaboradas en condiciones normales de laboratorio. En la tabla 8 se muestran los parámetros eléctrico-ópticos obtenidos.

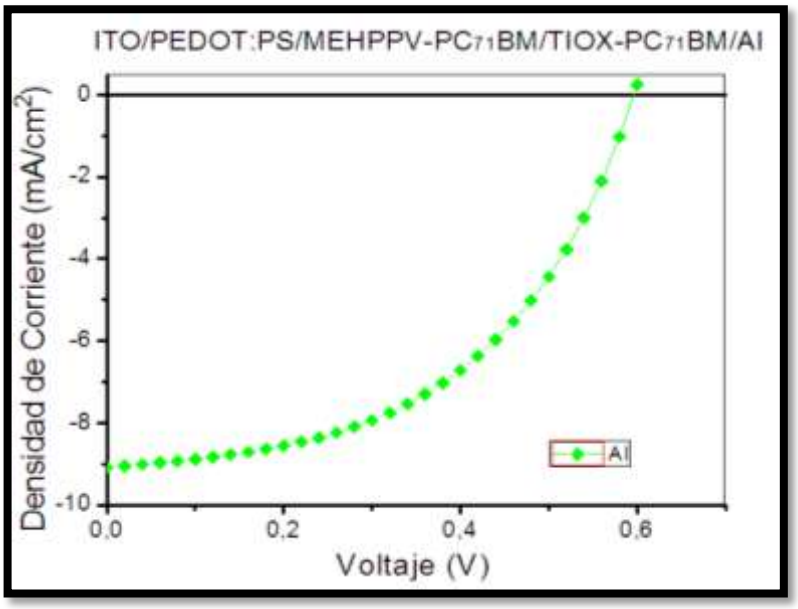

Fig.3.28: Curvas J-V de las Celdas Solares Orgánicas con Al como electrodo.

Tabla 8. Parámetros de conversión eléctrica-óptica y eficiencias de celda a base de MEH:PPV elaboradas en atmósfera inerte

CELDA	V_{oc} (V)	J_{sc} (mA/cm^2)	FF	η %
SUSTRATO/ITO/PEDOT/ MEH:PPV-PC71BM/TiOx-PC_{71}BM/ Al	**0.84**	**7.0**	**0.43**	**2.57**

3.4.2 ELABORACIÓN DE PANELES A BASE DE P3HT Y MEH:PPV

El proceso de elaboración de los paneles solares orgánicos se llevó a cabo en atmósfera inerte desde la preparación de la disolución hasta la evaporación del Al. Posteriormente los paneles fueron encapsulados con vidrio y pegamento epóxico dentro de la caja de guantes para que no tuviesen contacto con el medio ambiente; únicamente se dejaron libres dos pequeños extremos de Al para cubrirlo con Fields metal y así poder hacer contacto con el electrodo.

Cada panel cuenta con cuatro celdas de 1cm^2 cada una, utilizando la siguiente arquitectura:

1: SUSTRATO/ITO/PEDOT:PSS/P3HT-C_{71}/TiOx-C_{71} /Al

2: SUSTRATO/ITO/PEDOT:PSS/MEH-PPV-C_{71}/TiOx-C_{71} /Al

Fig.3.29: Panel de P3HT y MEH:PPV son celdas cuya capa activa contiene estos polímeros y el fullereno.

En la fig.3.30 se muestran las curva J-V de los paneles elaborados en atmósfera inerte así también en la tabla 9 se observan los resultados de eficiencia de cada uno de ellos, obteniendo un mejor resultado en base a corriente la celda de P3HT y respecto al voltaje es la celda elaborada con MEH:PPV.

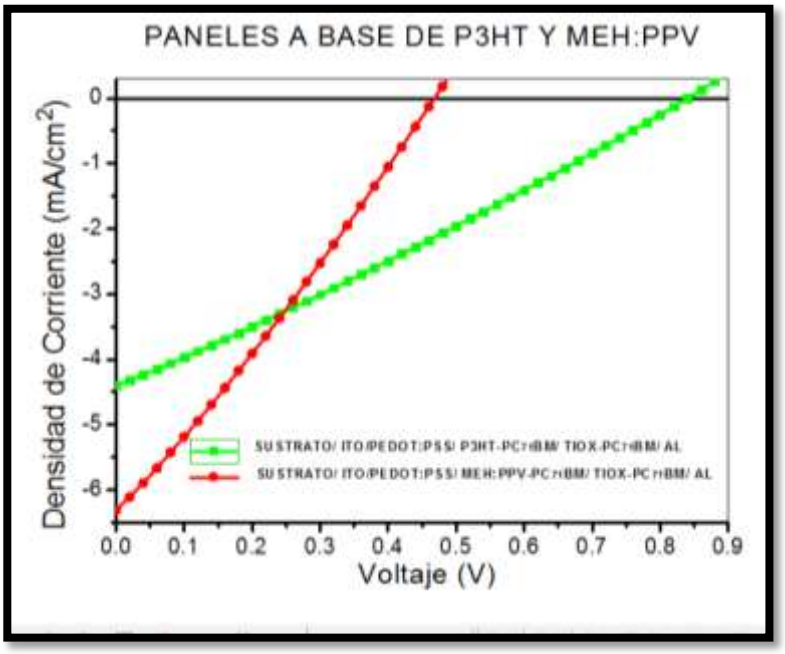

Fig.3.30: Curvas J-V celdas de MEH:PPV P3HT elaboradas en atmósfera controlada.

Tabla 9. Parámetros de conversión eléctrica-óptica y eficiencias de celdas a base de P3HT y MEH:PPV elaboradas en atmósfera inerte

CELDA	V_{oc} (V)	J_{sc} (mA/cm^2)	FF	η %
SUSTRATO/ITO/PEDOT:PSS/MEH:PPV-C_{71}/TiOx-C71 /Al	**0.86**	**4.4**	**0.26**	**1**
SUSTRATO/ITO/PEDOT:PSS/P3HT-C_{71}/TiOx-C_{71} /Al	**0.48**	**6.3**	**0.26**	**0.8**

Se elaboró un arreglo de celdas solares en serie y paralelo de los paneles para obtener 225 mA y 860 mV, utilizando solamente dos celdas de un panel se logró hacer funcionar un motor de DC.

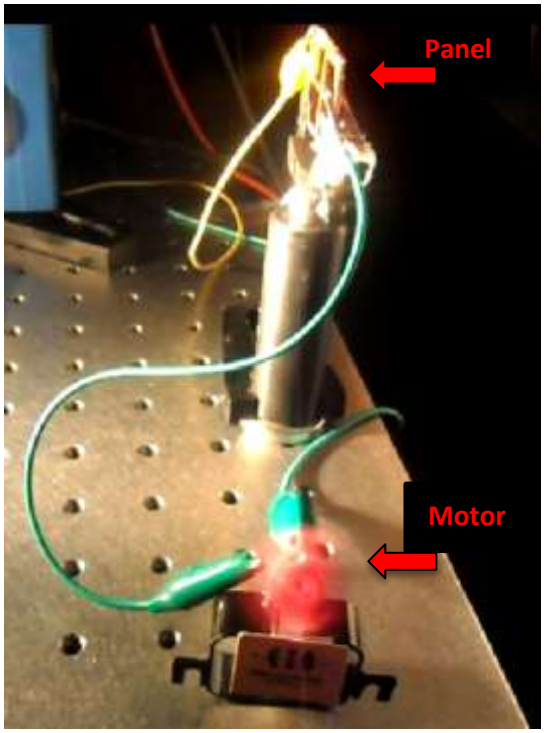

Fig.3.31: Motor de DC funcionando con el panel elaborado en atmósfera inerte el cual es iluminado por una lámpara que simula el sol.

CAPITULO 4: RESULTADOS

En la fig. 3.32 se muestran los resultados de las celdas solares hechas a base de MEH:PPV-$PC_{71}BM$ en condiciones normales de laboratorio y en atmósfera inerte respectivamente. La celda que fue elaborada en atmósfera inerte a la cual se le depositó de la capa de TiOx en combinación con $PC_{71}BM$ y Aluminio como electrodo, presentó mejores resultados ya que la capa de TiOx-$PC_{71}BM$ sirve como transportador de carga y protector de la capa activa y la elaboración de la celda dentro de la caja de guantes evita el contacto con el medio ambiente y con contaminantes que puedan afectar; los cuales se pueden observar en la tabla 10.

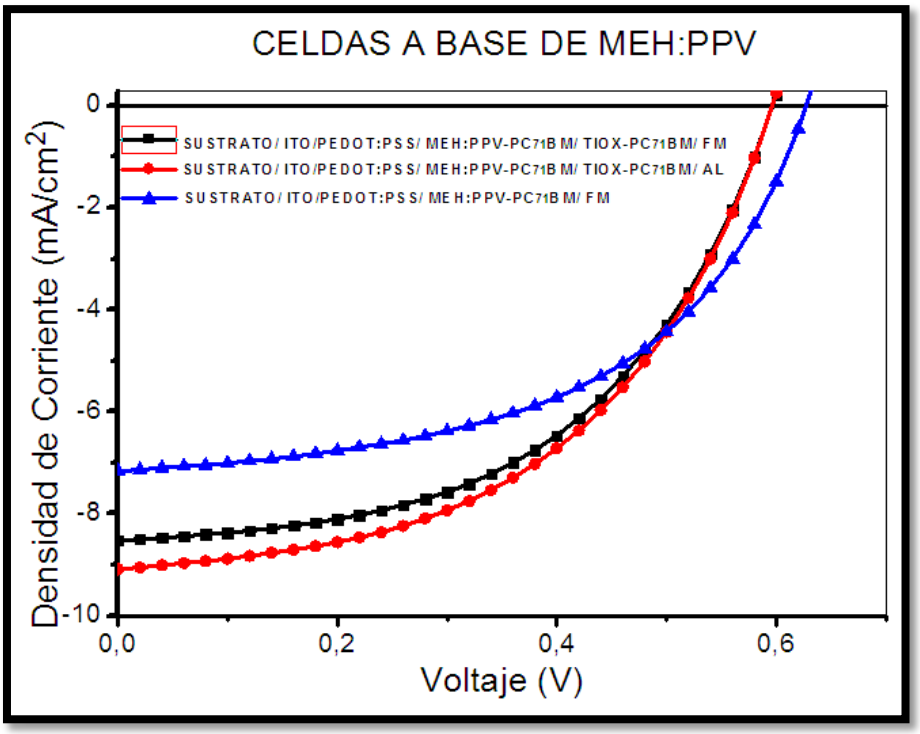

Fig.3.32: Curvas J-V celdas de MEH:PPV elaboradas en atmósfera controlada (●) y no controlada (▲).

Tabla 10. Parámetros de conversión eléctrico-óptica y eficiencias de celdas a base de MEH:PPV elaboradas en atmósfera no controlada

CELDA	V_{oc} (V)	J_{sc} (mA/cm^2)	FF	η %
SUSTRATO/ITO/PEDOT/ MEH:PPV-PC71BM/TiOx-PC_{71}BM /FM	0.84	5.2	0.41	1.82
SUSTRATO/ITO/PEDOT/ MEH:PPV-PC71BM/TiOx-PC_{71}BM/FM	0.84	5.7	0.43	2.05
SUSTRATO/ITO/PEDOT/ MEH:PPV-PC71BM/TiOx-PC_{71}BM/ Al	0.84	7.0	0.43	2.57

En las celdas solares elaboradas a base de P3HT-PC_{71}BM (capa activa) y TiOx (capa colectora de electrones) a temperatura y presión normal, pudieron observarse el comportamiento de cada una de ellas (fig. 3.33) y comparar los parámetros eléctrico-óptico de cada una de ellas (tabla 11).

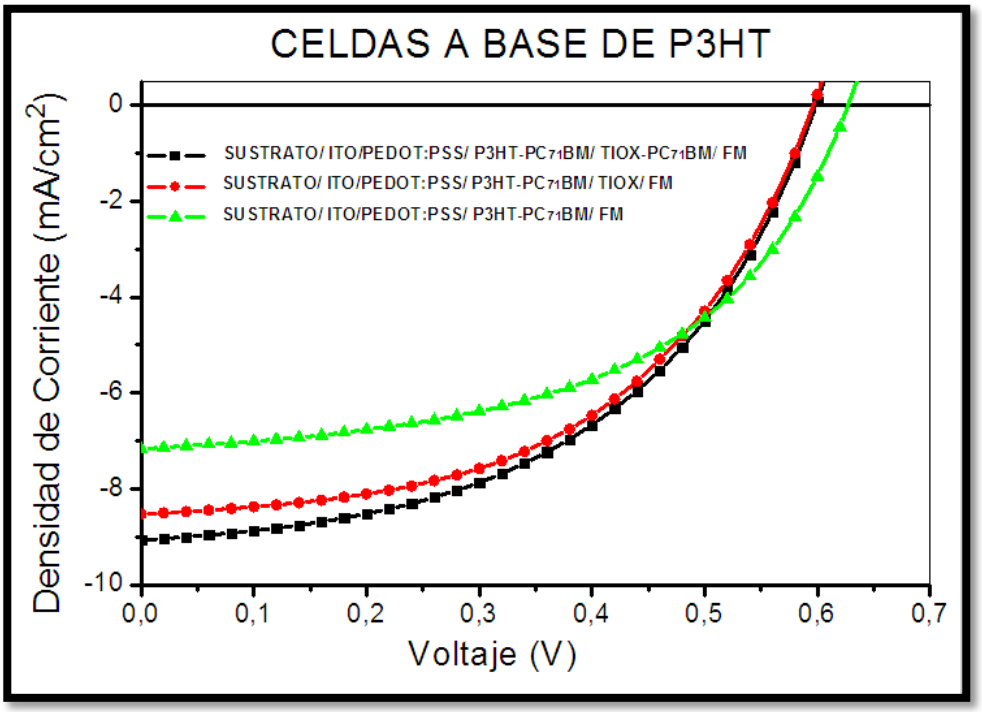

Fig. 3.33: Curvas J-V celdas de P3HT elaboradas con presión y temperatura normales.

Tabla 11. Parámetros de conversión eléctrico-óptica y eficiencias de celdas a base de P3HT elaboradas en atmósfera no controlada

CELDA	V_{oc} (V)	J_{sc} (mA/cm^2)	FF	η %
SUSTRATO/ITO/PEDOT:PSS/P_3HT-C_{71}/ /FM	**0.60**	**8.03**	**0.44**	**2.48**
SUSTRATO/ITO/PEDOT:PSS/P_3HT-C_{71}/TiOx /FM	**0.66**	**8.97**	**0.44**	**2.63**
SUSTRATO/ITO/PEDOT:PSS/P_3HT-C_{71}/TiOx-C_{71} /FM	**0.60**	**9.08**	**0.49**	**2.68**

En la tabla 12 y 13 se pueden observar los resultados obtenidos en la elaboración de celdas solares orgánicas a base de MEH:PPV y P3HT donde se pueden comparar los resultados de las celdas solares elaboradas anteriormente en el GPOM (tabla 12) y las elaboradas en este proyecto (tabla 13).

Tabla 12. Parámetros de conversión eléctrico-óptica y eficiencias de celdas a base de MEH:PPV y P3HT elaboradas anteriormente en el GPOM.

Components (weight ratio)	ETL	V_{oc} (mV)	J_{sc} (mA/cm^2)	FF	η (%)
MEH-PPV:PC_{71}BM (1:3)	None	809	4.35	0.31	1.12
MEH-PPV:PC_{71}BM (1:3)	TiO_x	837	4.50	0.41	1.55
MEH-PPV:PC_{71}BM (1:3)	TiO_x:PC_{71}BM[a]	846	5.77	0.41	2.07
P3HT:PC_{71}BM (1:0.8)	None	507	7.76	0.39	1.48
P3HT:PC_{71}BM (1:0.8)	TiO_x	532	7.86	0.51	2.12
P3HT:PC_{71}BM (1:0.8)	TiO_x:PC_{71}BM[a]	555	7.77	0.47	2.02

Tabla 13. Parámetros de conversión eléctrico-óptica y eficiencias de celdas a base de MEH:PPV y P3HT elaboradas en este proyecto.

COMPONENTE (razón de peso)	CTE	V_{oc} (V)	J_{sc} (mA/cm^2)	FF	η %
MEH.PPV:$PC_{71}BM$ (1:3)	**-**	**810**	**4.5**	**0.41**	**1.12**
MEH.PPV:$PC_{71}BM$ (1:3)	**TiOx**	**840**	**5.2**	**0.43**	**1.82**
MEH.PPV:$PC_{71}BM$ (1:3)	**TiOx:$PC_{71}BM$**	**840**	**5.2**	**0.43**	**2.05**
P3HT:$PC_{71}BM$(1:0.8)	**-**	**600**	**8.03**	**0.44**	**2.48**
P3HT:$PC_{71}BM$(1:0.8)	**TiOx**	**660**	**8.97**	**0.44**	**2.63**
P3HT:$PC_{71}BM$(1:0.8)	**TiOx:$PC_{71}BM$**	**600**	**9.08**	**0.49**	**2.68**

CONCLUSIONES

En este trabajo se diseñaron, fabricaron y caracterizaron celdas fotovoltaicas orgánicas (OPVs) con un sistema de polímero fullereno donde se utilizaron los polímeros semiconductores MEH-PPV Y P3HT como materiales donadores de electrones y al fullereno $PC_{71}BM$ como aceptor de electrones, PEDOT:PSS como conductor de huecos y TiOx como capa colectora de electrones. También se utilizaron las moléculas SMDPPO y DCV6T (ya que su espectro de absorción es cercano al infrarrojo) en combinación con el polímero MEH:PPV, los resultados no fueron favorables debido a que las moléculas no se disuelven completamente con el disolvente (clorobenceno).

La manufactura de las celdas fabricadas se realizó en condiciones normales de laboratorio así como en atmósfera controlada, ejemplo de ello fueron la celda a base de MEH:PPV y los paneles solares los cuales pueden mostrar diversas aplicaciones.

Es importante mencionar que se notaron resultados favorables en la utilización de la evaporadora lo cual se vio reflejado en las celdas fabricadas a base de MEH:PPV al obtener eficiencias del 2.5 %. Además los paneles elaborados en atmósfera inerte fueron encapsulados con vidrio y pegamento epóxico para evitar su oxidación al exponerlo al medio ambiente, con los cuales se hicieron arreglos en serie y paralelo para poder hacer funcionar un motor DC quedando evidencias en videos.

Se tenía reportado una eficiencia de 2.07% de con el compuesto MEH:PPV la cual fue superada al obtener celdas con eficiencias de 2.57% (en atmósfera controlada). Con el compuesto P3HT se tenían resultados de 2.2%, en este caso se utilizó el mismo compuesto modificando su depósito a una temperatura de aproximadamente 80°C y también al aplicar una capa de TiOx-$PC_{71}BM$ después de la capa activa, logrando resultados favorables de 2.68 % de eficiencia.

Para los compuestos MEH:PPV y P3HT las eficiencias reportadas son el limite a las que pueden llegar por lo cual se recomienda utilizar compuestos como PTB7 en combinación con $PC_{71}BM$ ya que se han reportado eficiencias de 9.21% y así se logrará alcanzar el 6 % que se requiere para este proyecto.

REFERENCIAS

- [1] N Wang, J Yu, Y Zang, J Huang, Y Jiang (2010). Organic Solar Cells Performances Improvement Induced by Interface Buffer Layers- Solar Energy Materials and Solar , Science Direct.

- [2] Sun, S.-S. and Sariciftci, N. S. (eds.) (2005). Organic Photovoltaics, Mechanisms, Materials, and Devices.CRC Press Taylor and Francis Group. USA.

- [3] Oracio Barbosa-García, José Luis Maldonado, Gabriel Ramos-Ortiz, Mario Rodríguez, Enrique Pérez Gutiérrez, Marco A. Meneses-Nava, Juan Luis Pichardo, Nancy Ornelas, Pedro Luis López de Alba. Celdas solares orgánicas como fuente de energía sustentable. Acta Universiratia 2012, Vol. 22, p. 36-48.

- [4] Park, S. H., Roy, A., Beaupré, S., Cho, S., Coates, N., Moon, J. S., Moses, D., Leclerc, M., Lee, K. and Heeger, A. J. (2009). Bulk heterojunction solar cell with internal quantum efficiency approaching 100%. *Nature Photonics* 3: pp. 297-302.

- [5] Tracey M. Clarke y James R. Durrant, “Charge Photogeneration in Organic Solar Cells”, Chem. Rev. 2010, vol. 110, p. 6736-6767.

- [6] Aaron L. Wadell y Stephen R. Forrest, “High Power Organic Solar Cells from E_cient Utilization of Near-Infrared Solar Energy”, Green Power Magazine.

- [7] J. Francisco Salinas, “Fabricación y estudio de celdas fotovoltaicas basadas en polímeros y moléculas orgánicas”, Tesis de Maestría (Óptica), CIO, León Gto., Septiembre 2009.

- [8] Vishal Shrotriya, “Organic Photovoltaics Polymer Power”, Nature Photonics. Thecnology Focus: Organic Photovoltaics, August 2009, vol. 3, p. 447-449.

- [9] Harald Hoppe y N. Serdar Sariciftci, “Polymer Solar Cellsi, 2008, vol.214, p. 1-86.

- [10] María Cristina Salto Alegre, “Elaboración y caracterización electro óptica de celdas fotovoltaicas orgánicas basadas en materiales conjugados”, Tesis de licenciatura (CIO) León Gto. Abril 2011.

- [11] David Douglas, “Report: Organic photovoltaic cells”, The Department of Chemistry at University of Illinois at Urban 2005, http://chemistry.illinois.edu/research/organic/seminar_extracts/2005_2006/Davis_douglas.pdf

- [12] Maldonado, J. L., Ramos-Ortiz, G., Miranda, M. L., Vázquez-Córdova, S., Meneses-Nava, M. A., Barbosa-García, O. and Ortiz-Gutiérrez, M. (2008). Two examples of organic opto-electronic devices: Light emitting diodes and solar cells. *Am. J. Phys.* 76: pp. 1130-1136.

- [13] José Francisco Salinas, José Luis Maldonado, Gabriel Ramos Ortíz, Mario Rodríguez, Marco-Antonio Meneses Nava, Oracio Barbosa García, Rosa Santillan, Norberto Farfán. On the use of Woods metal for fabricating and testing polymeric organic solar cells: An easy and fast method. Solar Energy Materials and Solar Cells, 2011, vol. 95 Pages 595–60.