



Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez

Memoria de Residencia

Centro de Investigación en Óptica A.C.

*Elaboración de celdas solares basadas
en materiales orgánicos, arreglo electro-óptico
con celdas en serie y paralelo*

Asesor: Licenciado Lester Acosta Maza

Sergio Alejandro Naude Citalán



1. Introducción

1.1 Antecedentes

Hoy en día debido al aumento en el precio de los combustibles fósiles y a la reducción de estos, es un reto el buscar fuentes de energías limpias, de bajo costo y renovables. Ya que estas son inagotables y se pueden aprovechar en el mismo lugar donde se producen.

Si bien el sol arroja sobre la tierra más energía de la que consumimos (en varios países la equivalencia de esta energía es de 1500 kilovatios-hora por m².) es por eso que las tecnologías basadas en energías renovables y particularmente la solar tendrán un papel muy importante, ya que la forma más adecuada para aprovechar el sol es la conversión directa de la energía solar en corriente eléctrica.

Las búsquedas de nuevas tecnologías han permitido la evolución de los dispositivos, en la actualidad contamos mayormente con materiales inorgánicos que funcionan como semiconductores. Sin embargo en la búsqueda de una alternativa se dio el descubrimiento de algunos materiales orgánicos

Los materiales orgánicos que podían generar corriente eléctrica, de ahí se inició la investigación y la síntesis de polímeros orgánicos que hoy en día se están empleando en las fabricaciones de dispositivos fotovoltaicos (OPVs). Aunque ya existen comercialmente algunos polímeros y fullerenos se sigue investigando para poder obtener una mayor eficiencia

1.2 Estado del arte

Fue el físico francés Edmond Becquerel el descubridor del llamado efecto fotovoltaico en 1839, aunque este importante descubrimiento se mantuvo inexplorado en el olvido por los siguientes 75 años. A la edad de sólo 19 años Becquerel descubrió que algunos materiales generaban pequeñas cantidades de corriente eléctrica cuando se exponían a la luz.

Después fue Heinrich Hertz quien estudió el efecto en los sólidos en 1870, fabricando celdas fotovoltaicas que transformaban la luz en electricidad con una eficiencia de 1% al 2%.

Las celdas de Selenio son utilizadas como elementos medidores de luz en fotografía. Estas celdas tuvieron sus primeras aplicaciones en el área militar a finales del siglo XIX, cuando aún no se investigaban las comunicaciones inalámbricas por radio, ya que se utilizaban sistemas de comunicaciones que usaban reflectores de luz y la clave Morse para comunicarse.

Edmund Bacquerel. En 1839 el físico Edmund Bacquerel, descubre el efecto fotovoltaico en una celda electrolítica compuesta de 2 electrodos metálicos sumergidos en una solución conductora, la generación de energía aumentaba al exponer la solución a la luz.



Albert Einstein. En 1905 el mismo año que descubrió su teoría de la relatividad especial, Albert propuso una descripción matemática de este fenómeno que parecía funcionar correctamente y en la que la emisión de electrones era producida por la absorción de cuantos de luz que más tarde serían llamados fotones.

En un artículo titulado "Un punto de vista heurístico sobre la producción y transformación de la luz" mostró como la idea de partículas discretas de luz podía explicar el efecto fotoeléctrico y la presencia de una frecuencia característica para cada material por debajo de la cual no se producía ningún efecto.

El trabajo de Einstein predecía que la energía con la que los electrones escapaban del material aumentaba linealmente con la frecuencia de la luz incidente. Sorprendentemente este aspecto no había sido observado en experiencias anteriores sobre el efecto fotoeléctrico.

Laboratorios Bell (Murray Hill, NJ). En el año 1954 los investigadores de los D.M. Chapin, C.S. Fuller, y G.L. Pearson pertenecientes a los Laboratorios Bell publican los resultados de su descubrimiento celdas solares de silicio con una eficiencia del 4,5%.

C. S. Kuo, F. G. Wakim, S. K. Sengupta, and S. K. Tripathy. En 1993 publican el artículo de "Schottky diodes using poly(3hexylthiophene)" el cual aborda el tema de los efectos que tiene el dopado realizado con FeCl_3 para la fabricación de diodos Schottky

1.3 Justificación

Las celdas solares inorgánicas en su mayoría son construidas con silicio, ya que es el segundo elemento más abundante en la corteza terrestre (27.7% en peso), después del oxígeno. Se presenta en forma amorfa y cristalizada, para hacerlo un semiconductor requiere de un dopamiento de impurezas

Un dopamiento de impurezas consiste por ejemplo para un semiconductor del tipo N se obtiene llevando a cabo un proceso de dopado añadiendo un cierto tipo de átomos al semiconductor para poder aumentar el número de portadores de carga libres (en este caso negativos o electrones).

Cuando se añade el material dopante aporta sus electrones más débilmente vinculados a los átomos del semiconductor. Este tipo de agente dopante es también conocido como material donante. Para realizar este proceso se requiere de un elevado costo.

Si bien existen celdas solares inorgánicas hechas a base de silicio, estas son de grandes dimensiones, rígidas y de gran peso. Por otro lado las celdas solares orgánicas han resaltado en los últimos años. Usando materiales orgánicos como capa activa para generar carga.

Los materiales utilizados son polímeros orgánicos semiconductores que en conjunto con el fullereno se encargan de la fotogeneración de corriente eléctrica. Esta tecnología permite que los dispositivos OPVs sean de menor tamaño, flexibles, fácil portabilidad, menor costo, fácil fabricación ya que se puede realizar en un laboratorio común sin requerir de equipos de elevado costo.

1.4- Objetivo general.

Fabricar celdas solares con polímeros orgánicos y diseñar un arreglo optoelectrónico para encender un diodo LED.

1.5 Metodología

Comienza el proceso de lavar los sustratos de vidrio que contienen Oxido de Indio Estaño (ITO), para después poder depositarle Poly 3,4-ethylenedioxythiophene poly styrenesulfonate (PEDOT:PSS), después se deposita la capa activa, la cual consta y depende de la solución que se haya realizado (pueden variar los compuestos), completado ese proceso se le deposita el cátodo, el cual es un metal (pueden ser de varios tipos, ver Anexo A), una vez listas se procede a medirlas (puede ser de dos maneras, ver Anexo C), después se seleccionan las mejores celdas para realizar un arreglo

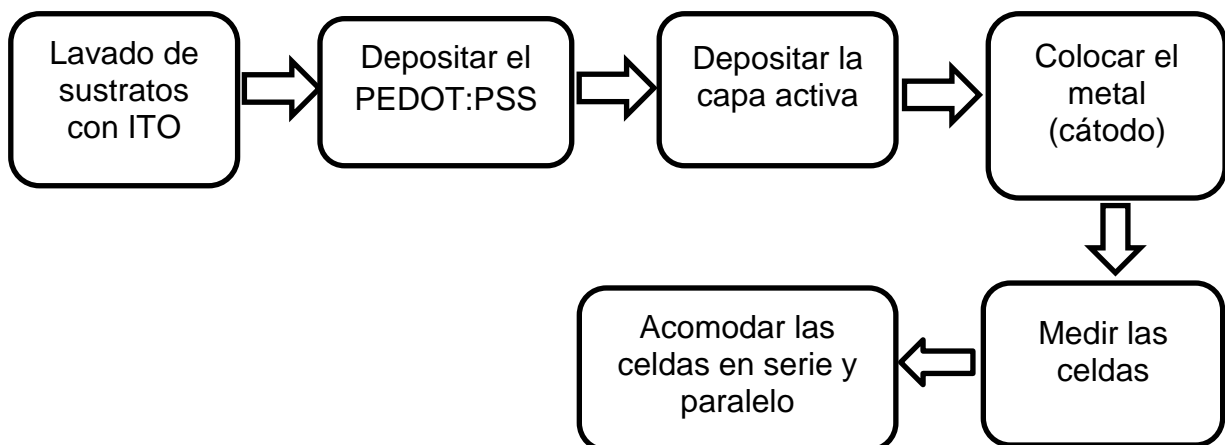


Diagrama 1.1. Diagrama a bloques del objetivo general

Para la deposición de la capa activa y formar la película se tiene que encender el spin coating (aparato que a partir del vacío que le ayuda a generar la bomba que tiene, logra mantener el sustrato mientras da vueltas a ciertas revoluciones), después se coloca el sustrato de prueba, dicho sustrato ayudara a la calibración, se calibra a partir de que el spin coating nos indica las revoluciones a las que gira el sustrato debido a las revoluciones deseadas, listo este proceso se procede a colocar el sustrato en el que se colocara la película

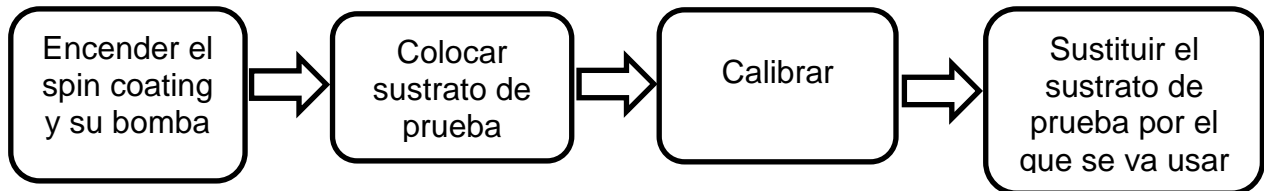


Diagrama 1.2. Diagrama a bloques del proceso de depositar la capa activa

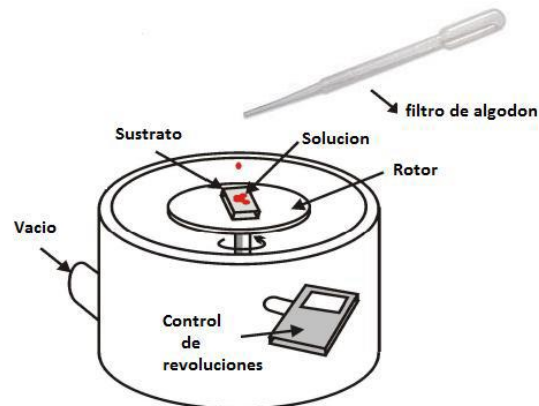


Imagen 1.1. Spin coating (es un dispositivo el cual se utiliza para colocar el sustrato, colocarle la solución y se forme una capa a partir de las revoluciones que dará el sustrato la cual será llamada película)



Imagen 1.2. Spin coating utilizado en el laboratorio de materiales (se puede ajustar revoluciones a las cual puede hacer girar el sustrato con solución)

Para el proceso de la obtención de las curvas de corriente-voltaje se utiliza el equipo del laboratorio, el cual consta de una lámpara de xenón, módulo de adquisición de datos así como un programa de labview.

El proceso comienza por encender la computadora y abrir el programa de labview, después colocar en el programa los parámetros de medición, una vez listo eso, se procede a encender el módulo de adquisición de datos, se conectan las terminales al sustrato y se enciende la lámpara de Xenon (la cual esta calibrada para darnos un sol de potencia, magnitud a la que se debe medir una celda fotovoltaica), después el programa ya nos arroja la curva de corriente-voltaje

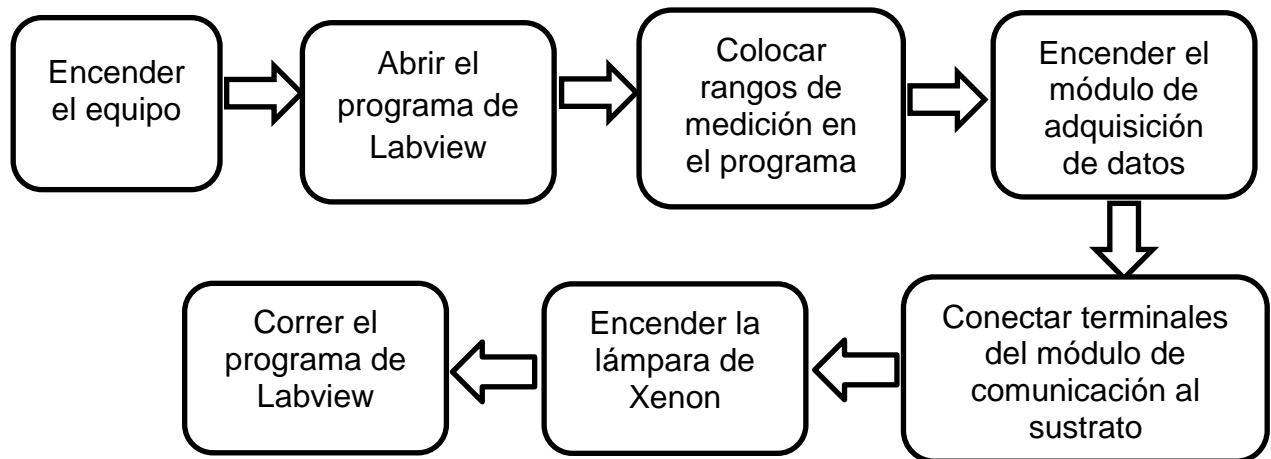


Diagrama 1.2. Diagrama a bloques del proceso de medición de curvas corriente-voltaje

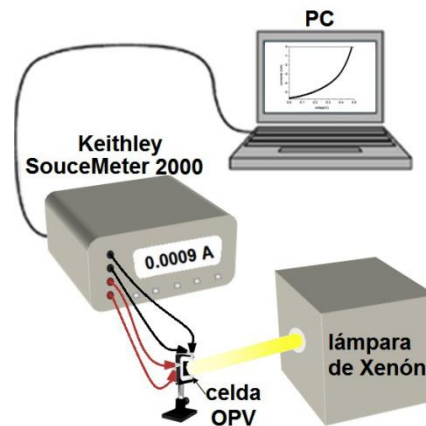


Imagen 1.3. Aparatos utilizados para adquisición de curvas de corriente-voltaje

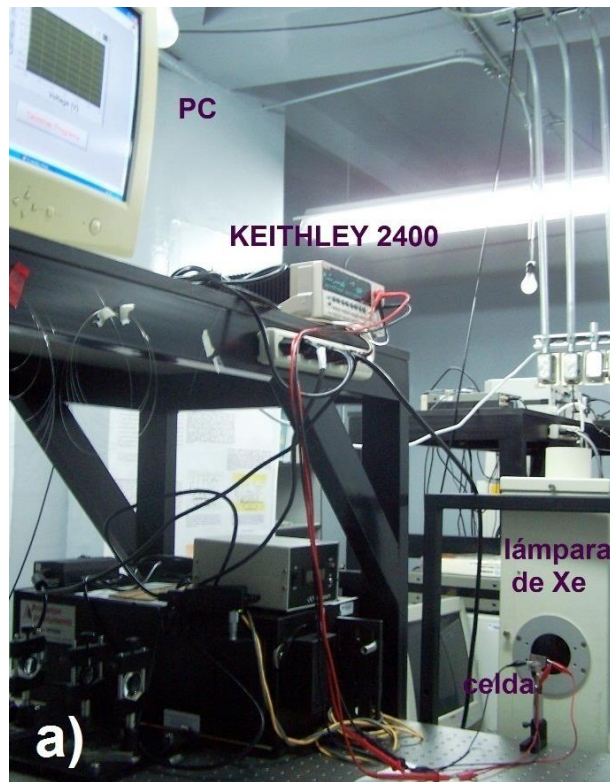


Imagen 1.4. Instrumentos utilizados en el laboratorio de espectroscopia para la adquisición de curvas J-V

1.6 Caracterización del área en que participo.

El Centro de Investigaciones en Óptica A.C. (CIO), ubicada en lomas del bosque número 115, colonia lomas del campestre, se define como 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

Teniendo como misión además 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 Grupo de Propiedades Ópticas de la Materia (GPOM) del Centro de Investigaciones en Óptica A.C. (CIO), es un grupo de investigadores y estudiantes que trabajan en conjunto en la realización de proyectos de investigaciones de diversas índoles con el fin de lograr un progreso tanto colectivo como en la realización del proyecto



Los proyectos son de áreas tales como: Nanopartículas orientadas a la localización de enfermedades como el cáncer, Generación de supercontinuo en fibra de cristal fotónico, síntesis y caracterización de moléculas, Espectroscopia Raman,

Holografía dinámica reversible, entre otros además tiene aprobado el proyecto CONACYT-SENER 153094 (2011): “Diseño y desarrollo de celdas solares orgánicas (OPVs) eficientes para la generación de energía eléctrica limpia”. Con lo que están trabajando en el aumento de la eficiencia de conversión la cual esperan mayo al 6%.

El laboratorio de materiales, donde se fabrican las celdas solares orgánicas, síntesis de nuevos materiales para la aplicación en celdas solares orgánicas, por mencionar algunos. De los proyectos que se mencionaron anteriormente, la mayoría se trabaja en el laboratorio de materiales, en conjunto con el laboratorio de espectroscopia.

1.7.- Alcances y limitaciones.

En el CIO se está trabajando con polímeros y fullerenos comerciales, así como materiales de bajo peso molecular para la elaboración de celdas solares orgánicas. Así como politiofenos o compuestos nuevos que son enviados por grupos colaboradores para encontrar compuestos más eficientes

En el presente trabajo se usaron dos polímeros que son: el MEH-PPV (poli[2-metoxi-5-(2-etilhexiloxi)-1,4-fenileno-2,5-diyl]), y el P3HT (poly(3-hexilthiopene-2,5-diyl)). Como fullerenos se emplearon tres, dos fullerenos de la compañía SES Research que son el PC₆₁BM y el PC₇₁BM, el último es el PC₇₁BM de la compañía ALDRICH.

Se utilizaron disolventes como cloroformo (de diferentes compañías), diclorobenceno y diclorometano para poder disolver los polímeros. Con estos polímeros y fullerenos se analizarán los datos obtenidos y calcularán las eficiencias de conversión que estas presenten.

2.-Fundamento teórico

2.1.-Energía solar

La energía solar es de las más investigadas en la actualidad, debido a que es una fuente energética gratuita, limpia e inagotable y podría liberarnos de la dependencia del petróleo, de alternativas poco seguras, contaminantes o, simplemente agotables.

La radiación electromagnética es una combinación de campos eléctricos y magnéticos oscilantes, que se propagan a través del espacio transportando energía de un lugar a otro. La radiación electromagnética se puede manifestar de diversas maneras como calor radiado, luz visible, rayos x o rayos gamma.



Los rayos solares están compuestos por fotones de diferentes cantidades de energía, corresponden a las longitudes de onda del espectro solar, el cual incluye luz ultravioleta (UV), el espectro visible (colores: violeta, índigo, azul, verde, amarillo, naranja y rojo) y el espectro infrarrojo (IR) que forman la irradiación solar –AM 1.5 (región del espectro solar aprovechable en celdas solares).

La distribución de fotones en las regiones UV, visible e IR es de 3%, 45% y 52% respectivamente. A medida que la radiación atraviesa la atmósfera terrestre sufre atenuación por los procesos de absorción, reflexión y esparcimiento. Tales procesos ocurren cuando los rayos de luz chocan con las nubes o con el vapor de agua existentes en la atmósfera.

La energía de la radiación solar que se recibe en una superficie determinada en un instante dado se le conoce como irradiancia y se mide en unidades de watts por metro cuadrado (W/m^2). La irradiancia es un valor distinto para cada instante, es decir, se espera que en un día despejado la irradiancia a las 10:00 a.m. sea diferente y menor a la que se obtiene las 1:00 p.m.

La irradiancia varía debido al movimiento de rotación de la tierra (movimiento sobre su propio eje). Cuando es de noche, se tiene una irradiancia de $0 W/m^2$, debido a que en ese momento el sol no ve esa parte de la tierra, razón por la cual no está arrojando fotones.

Un término de gran importancia es la condición de iluminación Air Mass 1.5 (AM 1.5) que es el estándar de la iluminación solar ($800-1000 W/m^2$). Propiamente la condición AM 1.5 se define como la razón del camino óptico a través de la atmósfera de un haz de luz solar entre el camino óptico recorrido cuando el sol se encuentra en el cenit ($\sim 48^\circ$), todo a nivel del mar.

La energía solar se puede aprovechar si se recolecta adecuadamente la radiación solar y se puede obtener calor y electricidad. El calor se logra mediante los colectores térmicos, y la electricidad, a través de las celdas o paneles solares o fotovoltaicos.

Los procesos anteriormente mencionados nada tienen que ver entre sí, ni en cuanto a su tecnología ni a su aplicación. El calor recogido en los captadores puede destinarse a satisfacer numerosas necesidades. Por ejemplo, se puede obtener agua caliente para consumo doméstico o industrial, o bien para dar calefacción a los hogares, hoteles, escuelas, fábricas, etc.

Por otro lado están las celdas o paneles solares o fotovoltaicos esta es la forma de aprovechar la energía solar ya que es la conversión directa de los rayos del sol en energía eléctrica por medio del efecto fotovoltaico, aunque varía el porcentaje de conversión que se pueda lograr para cada caso

Una celda solar es un dispositivo capaz de convertir la luz solar en corriente eléctrica. De manera general las celdas solares constan de dos terminales y una capa activa la que se encarga de la fotogeneración de cargas y separación de las mismas para producir corriente eléctrica, en la figura (2,1) podemos observar estas partes.

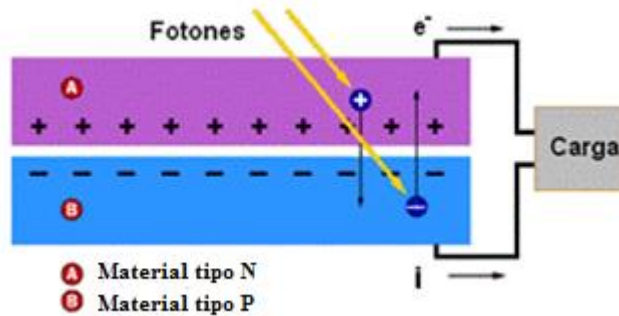


Figura 2,1 Esquema de una celda solar.

En las celdas solares orgánicas, la generación de corriente eléctrica se da a través de la capa activa que esta hecha de un material semiconductor orgánico, esto es debido a la fotogeneración de cargas que se forman al llegar un haz de luz. Cuando el haz llega a la capa activa se genera un par de electrón-hueco. La luz es absorbida por el material orgánico dentro de la capa fotoactiva.

Mediante la absorción, los fotones contribuyen con la suficiente energía para que un electrón salte del estado base al estado excitado, dejando un hueco en su lugar (en el estado base), esto produce un par de electrón-hueco fuertemente unido por atracción coulombiana, llamada excitón (figura 2).

El excitón se desplaza entre las moléculas donde ocurre la disociación de este (separación de los huecos y electrones); estos huecos y electrones libres migran a sus respectivos electrodos produciendo una corriente y un voltaje. La arquitectura de una celda solar orgánica (OPVs) se aprecia en la figura 2 el cual muestra como esta hecha una celda solar OPVs.

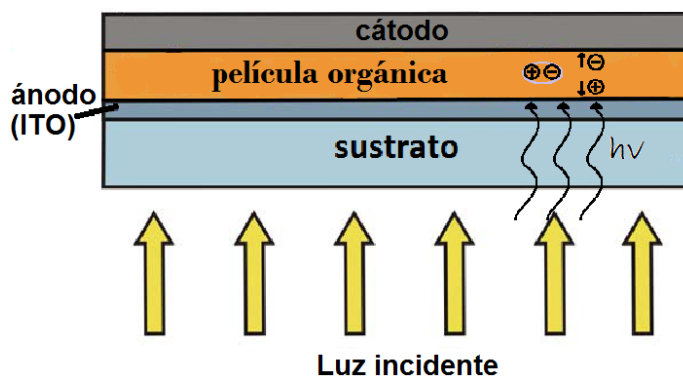


Figura 2,2 Esquema de general de una OPVs, el material orgánico se encuentra entre las terminales.



El excitón cuenta con un tiempo de vida pequeño que permite recorrer una distancia limitada conocida como “longitud de difusión del excitón” que se encuentra alrededor de veinte nanómetros para materiales orgánicos (consideración importante para el diseño de arquitecturas de capa activa).

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). Si bien lo típico es que las cargas se recombinen, la naturaleza del medio en que los excitones se forman pueden conducir a una separación definitiva de las cargas en el excitón

Para lograr la recombinación una celda solar polimérica debe poseer un medio que absorba la mayor parte de la radiación incidente para formar excitones y, en donde las características estructurales de la celda promuevan que una buena parte de estos excitones se separen, permitiendo aprovechar las cargas para la alimentación de un circuito externo.

La eficacia de los dispositivos está limitada por el requisito de la difusión del excitón a una interfaz donde pueda ser separado por medio de un campo eléctrico ahí presente. Esto generalmente requiere espesores de películas activas menores o iguales que su alcance de absorción óptica para garantizar una buena absorción de la luz y la producción de fotocorriente

2.2.-Fotogeneracion de carga

El transporte de cargas se define como la movilidad de electrones y huecos, es decir, la velocidad de las cargas por unidad de campo eléctrico. En general, los materiales orgánicos transportan preferencialmente uno u otro tipo de carga, es decir, huecos o electrones con movilidades típicas entre 10^{-3} y 10^{-9} $\text{cm}^2 /(\text{Vs})$ respectivamente.

Cuando un voltaje es aplicado a una muestra de material orgánico entre dos electrodos, los portadores de carga (huecos y electrones) son transportados bajo la influencia del campo eléctrico generado. La velocidad de los portadores de carga es proporcional a la intensidad del campo eléctrico aplicado y se expresa como:

$$v=\mu E \quad (2.1)$$

Donde v es la velocidad de los portadores de carga, E es la intensidad del campo eléctrico y la constante proporcional μ es la movilidad de arrastre de la carga transportada (distancia a la que portadores de carga son transportados por segundo por unidad del campo eléctrico). Cabe señalar que μ depende del campo eléctrico de los sistemas orgánicos desordenados.



Las movilidades de carga de los materiales orgánicos varían mucho dependiendo del tipo de portadores de carga, es decir, si son huecos o electrones, estructuras moleculares y a la morfología de los materiales. El transporte eficiente de la carga requiere que las cargas puedan moverse de molécula a molécula y no sean atrapadas o dispersadas

El transporte eficiente depende de varios factores como lo son: la arquitectura, el espesor y la morfología de la película activa, el sistema de materiales utilizado para la fabricación de las celdas, el proceso de deposición, la purificación química de los materiales, etc.

La movilidad de carga en los materiales orgánicos puede ser obtenida a través de varios métodos entre los cuales se encuentra el tiempo de vuelo. En este método una película orgánica de unas cuantas micras es colocada entre dos electrodos.

El material primero es irradiado por un láser pulsado en las cercanías de uno de los electrodos para generar cargas. Los huecos o electrones fotogenerados migran a través del material hacia el segundo electrodo. La corriente en ese electrodo se registra como una función del tiempo.

Es importante mencionar que la movilidad de portadores de carga en los semiconductores orgánicos es generalmente mucho más baja que en sus contrapartes inorgánicos. Esta desventaja es en parte compensada por los altos coeficientes de absorción y la larga vida de los portadores de carga,

Además las recientes movilidades de portadores de carga obtenidas en películas de polímeros y fullerenos, están cerca incluso son más grandes que las obtenidas en película de silicio amorfo, dando así una interesante alternativa para por ejemplo, un arreglo de transistores de películas delgadas (Thin Film Transistor, TFT) como se utilizan en cristal líquido (liquid crystal display, LCD) o las pantallas orgánicas de diodos (Organic Light-Emitting Diode, OLED.)

Los polímeros semiconductores orgánicos más usados hoy en día en la tecnología fotovoltaica utilizan solamente la porción del espectro solar debajo de 650 nm (~ mayores a 2 eV). Sus coeficientes de absorción son comparativamente altos ($\sim 10^5 \text{ cm}^{-1}$) y permiten la absorción eficiente en capas activas muy delgadas.

2.3.- Arquitecturas de capas orgánicas activas

La arquitectura de una celda es de gran importancia ya que es la que se encarga de la separación y transporte de los portadores de carga, para las celdas poliméricas existen cuatro tipos de arquitecturas que son: la capa simple, la heterounión de bicapa, las celdas multijuntura y la heterounión de bulbo.

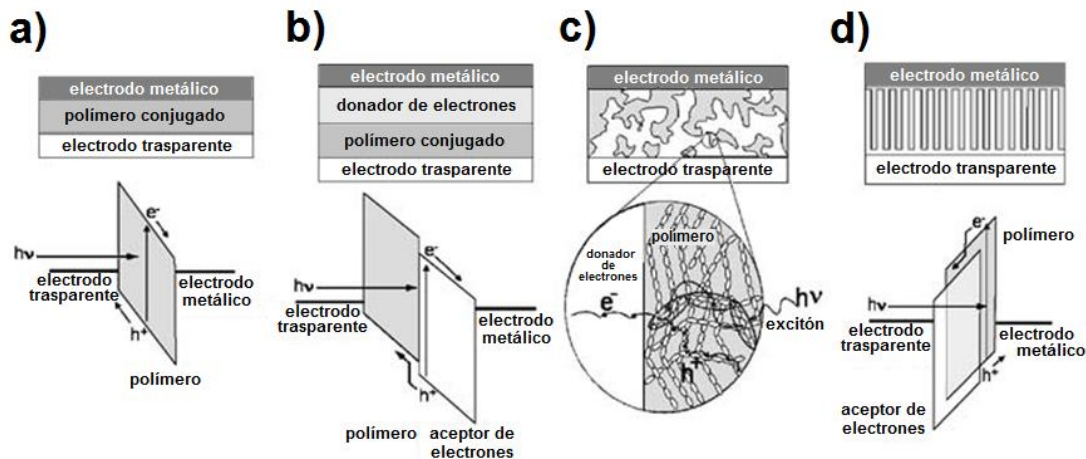


Fig.2.3 Arquitecturas de la capa activa y diagramas de energía correspondientes, usadas en el diseño de celdas solares orgánicas.

a) Dispositivo de capa simple, b) heterounión de bicapa, c) heterounión de bulto y d) heterounión de bulto ordenada representa la configuración ideal, donde las trayectorias a seguir por las capas son rectas y bien definidas para optimizar el transporte y minimizar la recombinación.

Arquitectura de capa simple La capa simple fue la primera arquitectura desarrollada para el diseño de celdas orgánicas. Estos dispositivos constan de una capa de material orgánico entre un electrodo transparente generalmente ITO (Oxido de Indio Estaño) y un electrodo metálico como se muestra en la figura 4.

Este tipo de celda funciona mediante la formación de una barrera de Schottky (barrera producida por la unión de un metal y un semiconductor) entre el electrodo y un material orgánico donador de electrones, que produce un campo eléctrico en la región cercana al electrodo donde ocurre la disociación de excitones. Tiene la desventaja que una pequeña zona contribuye a la generación de fotocorriente,

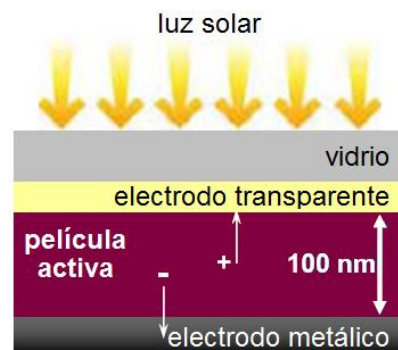


Figura 2,4 Celda de capa simple. Se forma un campo eléctrico debido a una barrera de Schottky en la interfaz electrodo metálico y material orgánico que permite la separación de excitones en electrones y huecos libres.

Arquitectura de heterounión de bicapa La heterounión de bicapa consiste en la unión de dos películas semiconductoras orgánicas una de las cuales tiene la propiedad de donar electrones, mientras que la otra, tiene la tendencia a aceptarlos (figura 5).

En este tipo de dispositivos ocurre la separación de los excitones en portadores de carga libres a través del campo eléctrico formando en la interfaz donador-aceptor. Las cargas separadas son conducidas al electrodo correspondiente generándose así una corriente eléctrica.

Debido a que la separación de electrones y huecos solo ocurre en una interfaz, se minimiza la posibilidad de recombinación de las cargas durante el traslado a los electrodos, pero al igual que la arquitectura de capa simple, tiene la desventaja de que los excitones que son separados exitosamente deben haberse originado necesariamente en un región cercana a una interfaz,

El tiempo de vida del excitón solo permite recorrer una distancia limitada (~ 20 nm) antes de recombinarse. Así la mayor parte de la película orgánica activa no contribuye en forma real a la generación de corriente puesto que los excitones originados más allá de la longitud de difusión se recombinan antes de alcanzar los electrodos.

Las eficiencias de conversión eléctrica de los dispositivos bicapa son mayores que los dispositivos de una sola capa, pero no superan a las celdas diseñadas con la arquitectura de heterounión de bulto. De hecho el desarrollo de esta técnica permitió continuar incrementando la eficiencia de foto-conversión actualmente se observan eficiencias de conversión eléctrica entre 5-10%.

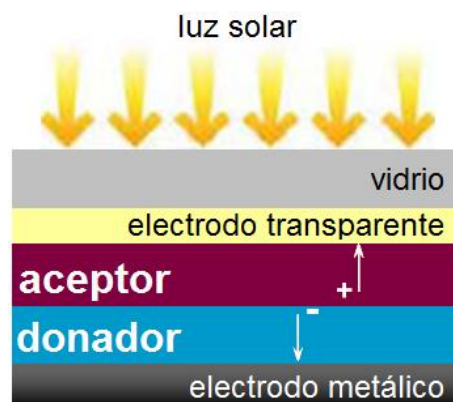


Figura 2,5. Celdas bicapa. Se forma un campo eléctrico en la interfaz de las capas donador y aceptor que permite la separación de excitones en electrones y huecos libres.

Las celdas multijuntura o celdas tándem son diseñadas con más de dos capas y consisten en una serie de celdas de una sola juntura apiladas de forma tal que cada capa absorbe en una región distinta del espectro, proporcionando una mejor cobertura de la radiación solar.

Estas celdas tienen la desventaja de que la absorción de fotones es muy pobre, ya que la luz solar no alcanza a penetrar las capas contenidas en el dispositivo, generando con esto una baja densidad de corriente; además de las complicaciones en su fabricación.

Arquitectura de heterounión de bulto El concepto de heterounión de bulto surgió de buscar la manera de tener una mayor área activa de las celdas. Siguiendo este concepto, el material aceptor y donador están íntimamente mezclados formando solo una capa.

La película orgánica se encuentra formada por fases donadoras mezcladas con fases aceptoras de electrones, esto crea una superficie de interface mucho mayor a las que tienen capas separadas como en las otras arquitecturas, debido a que la interface se encuentra a todo lo largo y ancho de la película orgánica

Con esta arquitectura se logra que las distancias que tienen que viajar los excitones para alcanzar una de las interfaces sea del orden de lo que su longitud de difusión les permite alcanzar, por lo que la separación de cargas se incrementa considerablemente.

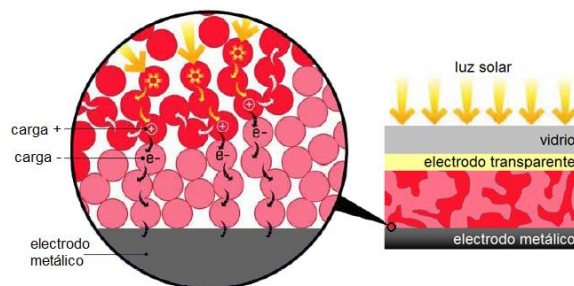


Figura 2,6. Celda diseñada con la arquitectura heterounión de bulto. La interfaz donador aceptor se encuentra en toda la película orgánica,

Debido a que la mezcla donador-aceptor es amorfa, no hay una dirección preferente para los campos eléctricos internos generados de las separaciones de carga, es decir, los electrones y huecos creados en el interior de la capa activa no tienen una dirección resultante neta para donde deban moverse.



Para un buen transporte de cargas es necesario que las fases donadora y aceptora formen una red que permita que los electrones alcancen el cátodo y que los huecos alcancen el ánodo sin la necesidad de tener que cambiar de fase ya que el salto de un electrón hacia una fase de huecos o de un hueco hacia una fase de electrones produce una recombinación y la pérdida de las cargas libres.

En este sentido la heterounión de bulto es muy sensible a la morfología a escala nanoscópica de la mezcla donadora-aceptora. Si bien aún es necesario trabajar bastante para lograr optimizar la interpretación de las fases, las eficiencias logradas a la fecha con la tecnología de heterounión de bulto son mayores a las logradas por medio de la heterounión de bicapa

2.4.- Materiales de las celdas

Las características semiconductoras de los materiales orgánicos e inorgánicos han sido y siguen siendo la propiedad más explotada en este ámbito. Cabe mencionar que el desarrollo de celdas solares orgánicas fue una de las primeras aplicaciones propuesta tras el descubrimiento de los primeros polímeros semiconductores.

La habilidad de los semiconductores orgánicos para transportar carga y absorción de radiación luminosa en la región del espectro electromagnético correspondiente a la parte visible a ultravioleta se debe gracias a la hibridación de los átomos de carbono.

Para el funcionamiento de las celdas solares se utilizaron como polímeros el MEH-PPV (poli[2-metoxi-5-(2-etilhexiloxi)-1,4-fenileno]vinileno), y el P3HT (poly(3-hexilthiopene-2,5-diyl)) en la figura 7 se muestran las estructuras químicas de estos polímeros y del fullereno PC61BM así como el PC71BM de las dos compañías.

Otro material que se utiliza es el PEDOT:PSS (Poly(3,4-ethylenedioxythiophene) poly(styrenesulfonate)) que nos sirve para la homogenización del Oxido de Indio Estaño (ITO), además que es un filtro de huecos. Este último es de gran ayuda ya que hace que las celdas tengan una mejor fotogeneración de cargas y así aumentan la eficiencia de conversión.

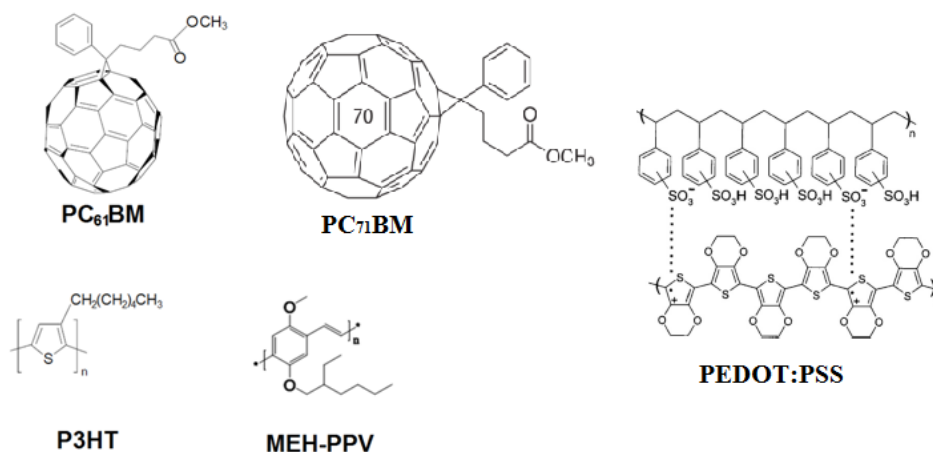


Figura 2,7. Estructuras químicas de los materiales para las celdas OPVs.

3. Desarrollo

3.1. Fabricación y caracterización de celdas solares con polímeros comerciales

Para la fabricación de las celdas solares se requieren de ciertos procesos como son: la limpieza de los sustratos, la preparación de las disoluciones o soluciones, deposición del PEDOT:PSS, la deposición de las películas activas, la colocación de las máscaras y la colocación del cátodo.

Para hacer los procesos anteriormente mencionados se requiere que se hagan de forma adecuada para que las celdas no sean afectadas por otros factores ajenos que pudieran intervenir ya sea en la topografía de la celda o en la preparación de las disoluciones.

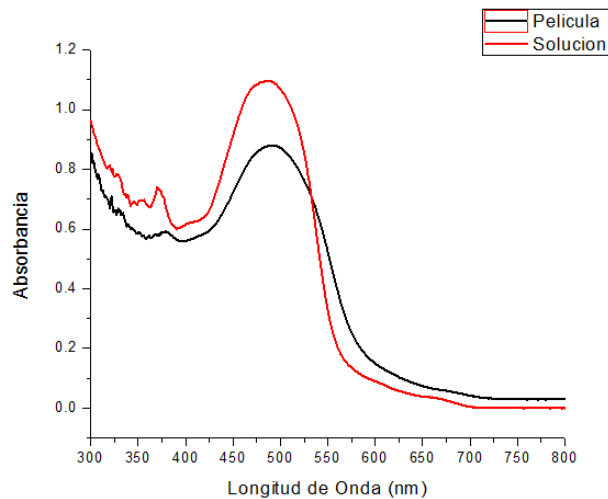
Fabricación de Celdas Solares Orgánicas de MEH-PPV con PC₆₁BM La realización de las primeras celdas orgánicas se hizo, con el fin de practicar y encontrar puntos débiles para poder mejorarlos en un futuro, para lo cual se siguió un proceso, el cual se describe a continuación:

Las celdas se realizaron bajo el procedimiento general descrito en el anexo B. Para realizar la solución la cual necesito de 5 mg de PC₆₁BM y 5 mg de MEH-PPV en 1 ml de disolvente, el cual fue cloroformo de la marca SEARES y la solución se dejó preparando durante 24 horas.

Tabla 3.1 Parámetros eléctricos destacados de las primeras celdas realizadas

Celda	Voc (mV)	Isc (mA)	Jsc (mA/cm ²)
1	468	0.007	0.175
2	0.3	0.0009	0.0225
3	26	0.0012	0.03

Celdas Solares a base de MEHPPV-C₇₁ Esta realización de celdas tenía como objetivo la caracterización de las celdas, en sus propiedades electrónicas y las referentes con las de su espectro de absorción tomado con un espectrofotómetro, esto ayudara a comprender que zona del espectro electromagnético es absorbido por la capa activa véase en la gráfica 3.1



Gráfica 3.1 Espectros de Absorción de la mezcla MEHPPV-C₇₁

Se observa que el espectro de Absorción para la solución tanto como para la película depositada en el sustrato es prácticamente el mismo, lo que indica que el sustrato que se usó para la prueba, no modificó dicho espectro en relación a la solución.

Al comparar la gráfica de absorción con el espectro electromagnético (véase imagen 3.1), se puede observar que la celda solar tiene un pico de absorción alrededor de los 490 nm lo que nos indica que la celda absorbe mayor cantidad de energía solar entre en el azul y el verde.

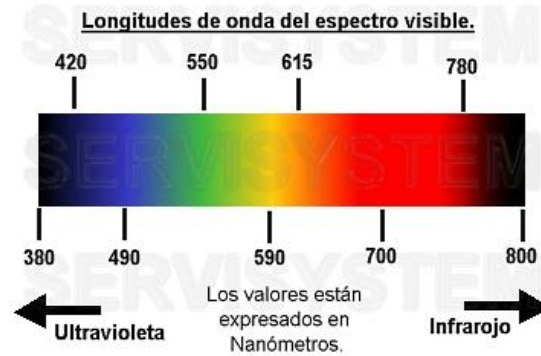


Imagen 3.1 Espectro de Luz Visible (380 nm – 800 nm)

Se pudo visualizar que mientras más amplio sea el espectro y más cercano este al infrarrojo mejor será la absorción solar, este factor es muy importante debido a que esto nos indica que existe una mayor generación de electrones por radiación solar absorbida

Celdas Solares con P3HT como polímero con PC₇₁BM Se comenzó a experimentar con el polímero P3HT (polímero con el cual se han obtenido mejores resultados que con MEHPPV a nivel mundial) para realizar las soluciones con las que se llevan a cabo los dispositivos

Para la realización de la solución de la película de capa activa que se deposita para la realización de celdas, se utilizó 5 mg de P3HT como polímero, con 5 mg de C₇₁ utilizando 1 ml de disolvente el cual fue cloroformo de la marca Aldrich, dicha solución se dejó en agitación toda la noche para lograr que se disolviera de la mejor manera, los resultados obtenidos se muestran en la tabla 3.2

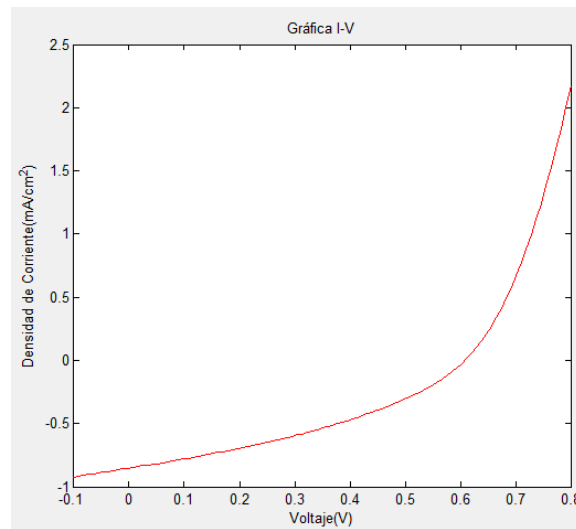
Tabla 3.2 Muestra los valores de las celdas destacadas

Sustrato/Celda	Voc (mV)	Isc (mA)	Jsc (mA/cm ²)
1-1	17.4	0.070	1.75
1-2	545	0.075	1.875
2-3	230	0.180	3.0

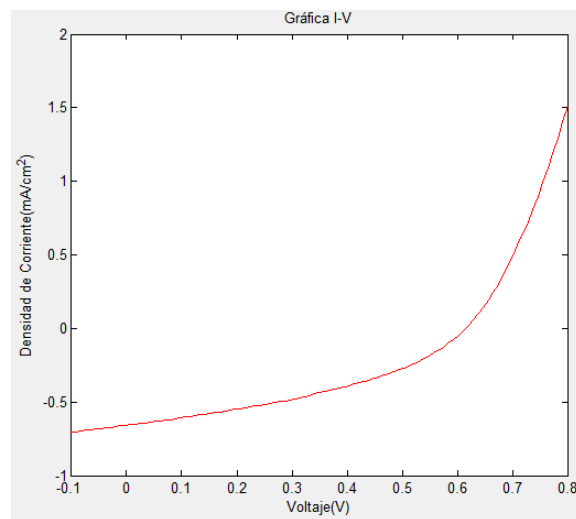
El P3HT muestra un aumento considerable en la densidad de corriente en comparación con el MEH-PPV, sin embargo el voltaje que se obtuvo fue menor al compararlo con anteriores. Esto se debe a que el P3HT tiene una mayor movilidad de portadores de carga, el cual tiene una diferencia mayor entre sus niveles HOMO-LUMO, dicha diferencia energética está relacionada con el valor del V_{oc}.

Una vez observados los resultados de la tabla se decidió probar con otra concentración de la solución, dicho cambio sería aumentando la concentración de PC₇₁BM en la solución para alcanzar una relación 1:2 (P₃HT:PC₇₁M) se espera encontrar mejores valores de voltaje con esta nueva concentración.

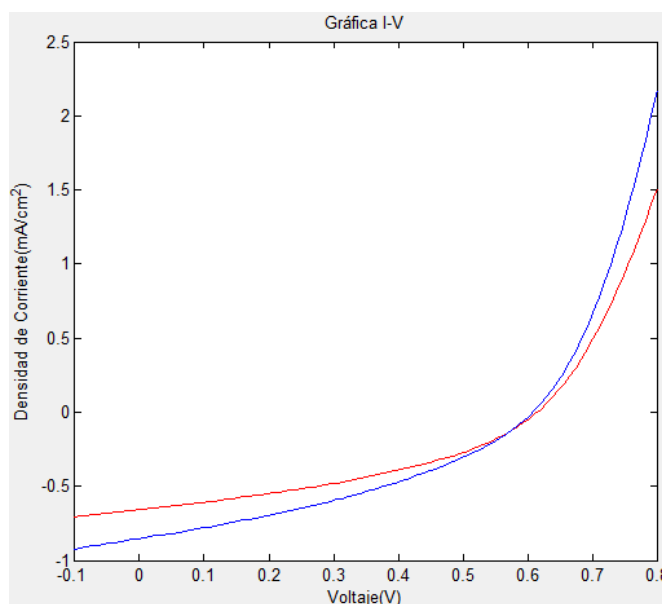
Los resultados obtenidos en esta ocasión, fueron procesados por matlab, debido a que se realizaron por medio de iluminación estándar (uso de lámpara véase anexo C) la medición en la lámpara nos arroja los archivos con los datos en formato de texto y por cuestiones de comodidad se decidió utilizar este software véase las gráficas de voltaje-corriente 3.2 y 3.3, la comparativa de ellas en la 3.4



Gráfica 3.2 Celda 2 de P₃HT:C₇₁ relación 1:2



Gráfica 3.3 Celda 5 de P₃HT:C₇₁ relación 1:2



Gráfica 3.4. Comparación de las celdas utilizando P3HT (celda 2 de color rojo y la celda 5 de color azul)

Tabla 3.3 Resultados obtenido utilizando P3HT:PC71BM proporción 1:2

Sustrato/Celda	Voc (mV)	Jsc (mA/cm ²)	Fill Factor	% Eficiencia
1-3	611	0.84753	0.364584	0.188797
1-5	620	0.654883	0.385858	0.156669

Los resultados en el Voltaje mejoraron sin embargo la corriente volvió a bajar en comparación con la prueba anterior. Este resultado no se esperaba razón por la cual se considera necesario una repetición de dicho experimento, para hallar la razón de dichos resultados bajo las mismas condiciones

Al aumentar la concentración de PC₇₁BM en la solución se espera alcanzar una relación 1:2 (P₃HT:PC₇₁BM), para encontrar mejores valores de voltaje con esta nueva concentración cuidando más el procedimiento de fabricación de los dispositivos y tomando muestras así como mediciones de su topografía y espesor.

Los resultados fueron más extensos, debido a que se buscaba la razón por la cual las celdas de la práctica pasada salieron deficientes. La tabla 3.4 muestra las mediciones a lo largo del escalón, para sacar un promedio y determinar el espesor de la película así como la figura 3.2 muestra la topografía de la película, en la imagen 3.3 se muestra el perfil de la topografía

Tabla 3.4 Mediciones del escalón

MEDICION	LA PELICULA
1	345 nm
2	352 nm
3	334 nm
4	364 nm
5	370 nm
6	360 nm

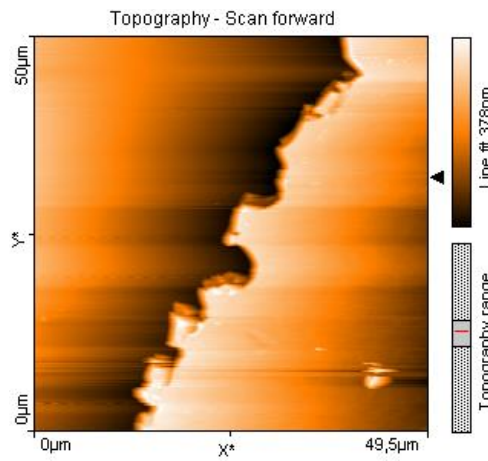


Imagen 3.2 muestra la topografía de la película

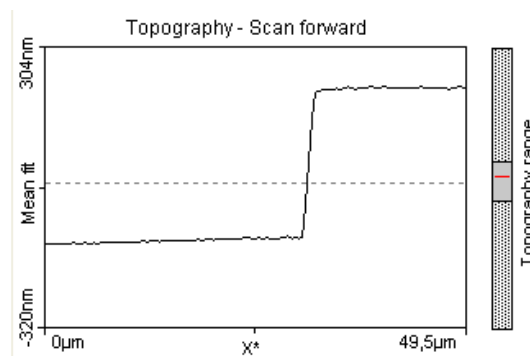
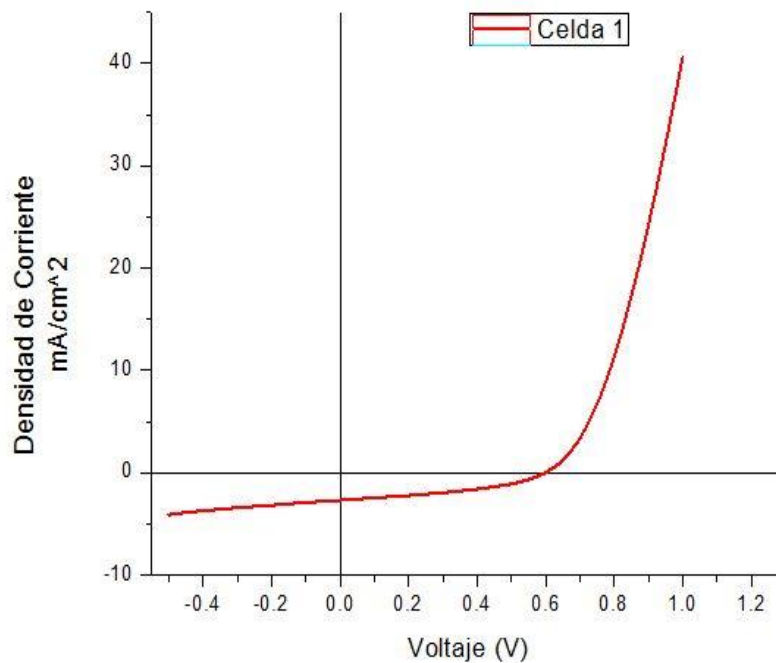


Figura 3.3 Imagen del escalón en dos dimensiones

Una vez obtenidos los parámetros de la película como son su espesor y topografía se procedió a graficar los valores obtenidos por medio de la iluminación estándar. La gráfica 5 muestra la curva I-V de la mejor celda obtenida con P₃HT-PC₇₁BM así como la tabla 3.5 muestra los parámetros eléctricos de dicha celda.

Tabla 3.5 Parámetros eléctricos

Sustrato Celda	1 #1
Área	0.035
Densidad de corriente	2.65
Voc	0.61
Fill Factor	0.395
% de eficiencia	0.639



Grafica 3.5 Celda destacada

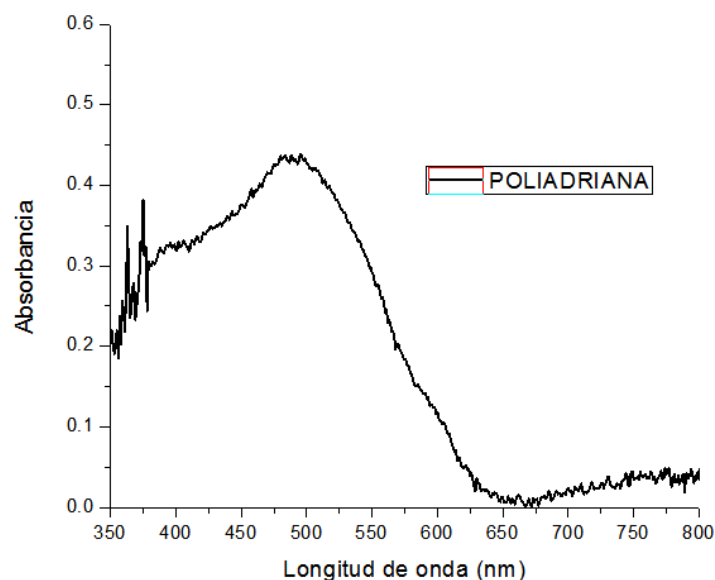
Se observan mejoras considerables, los resultados obtenidos son satisfactorios y comparables con la mayoría de los experimentos realizados en el Grupo de Propiedades Ópticas de la Materia. Asumiéndole al error humano la diferencia entre estas celdas y las anteriores, siendo que se hicieron bajo las mismas condiciones.

3.2 Pruebas, fabricación y caracterización de celdas con politiofenos (Poliadriana)

Se comenzó a experimentar con un politiofeno recibido de un grupo colaborador con el GPOM, dicho politiofeno no es comercial, razón por la cual se comenzara a realizar pruebas para conocer su solubilidad, espectro de absorción así como sus valores en la realización de celdas con él, para visualizar resultados

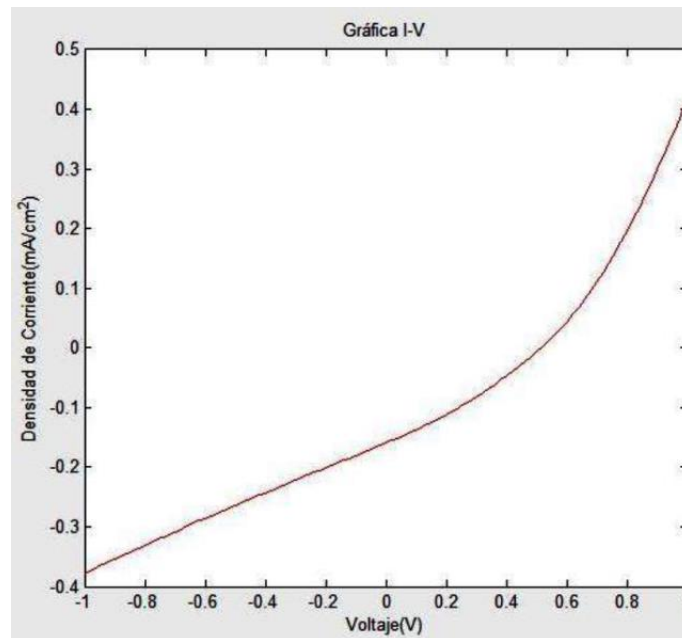
Se hizo la solución con las siguientes especificaciones, la cual serviría para tomar su espectro de absorción 5 mg de Poliadriana en 0.5 ml de Cloroformo de Aldrich y 5 mg de Poliadriana con 5 mg de C₇₁ en 0.5 ml de Cloroformo de Aldrich

La primer solución que solo consta de Poliadriana en cloroformo, sirve para obtener su espectro de absorción, razón por la cual se midió el en el espectrofotómetro localizado en el laboratorio de materiales para poder darse una idea de la utilidad que podría tener este politiofeno véase en la gráfica 3.6

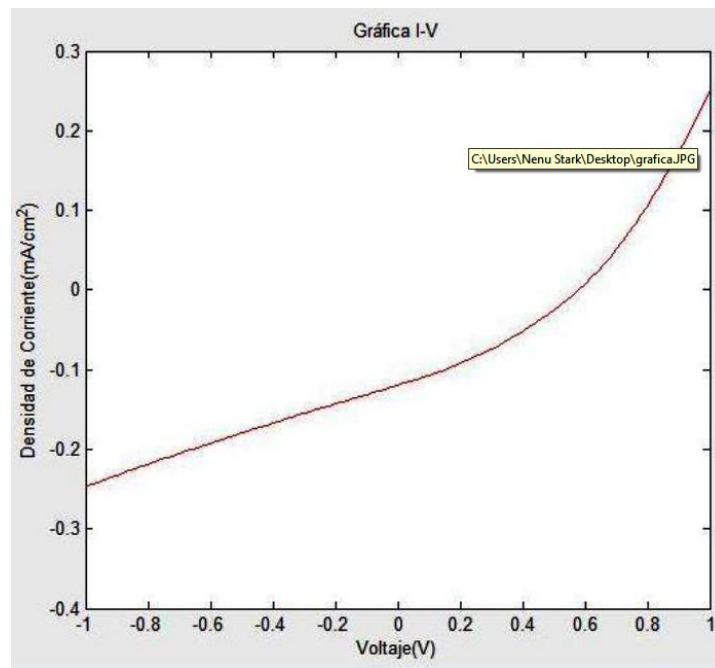


Gráfica 3.6. Espectro de absorción de politiofeno (Poliadriana)

La segunda solución, que consta de Poliadriana y PC₇₁BM sirvió para realizar las primeras pruebas para la fabricación de celdas, las celdas fueron medidas con iluminación estándar por medio de la lámpara que se cuenta en espectroscopia, así como en el sol, véase las gráficas 3.7 y 3.8 para visualizar las curvas de las celdas destacadas, y la tabla 3.6 para ver los parámetros eléctricos de las celdas



Gráfica 3.7 Celda destacada de poliadriana



Gráfica 3.8 Celda destacada con poliadriana

Tabla 3.6 Valores de las celdas realizadas con Poliadrina: PC₇₁BM

CELDA	AREA (cm ²)	FF	% DE EFICIENCIA	Voc (V)	Jsc (mA/ cm ²)
1	0.03	0.282	0.020	0.485	0.153
2	0.03	0.298	0.024	0.528	0.160
3	0.03	0.323	0.022	0.587	0.120
4	0.03	0.289	0.016	0.509	0.113
5	0.03	0.300	0.023	0.547	0.140
6	0.03	0.290	0.019	0.688	0.098

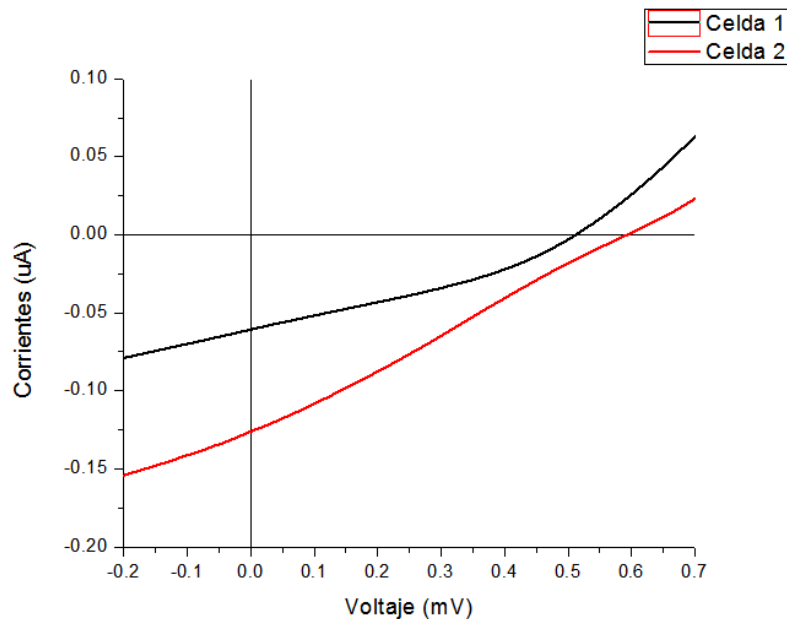
Resultado que es un compuesto que se puede utilizar para celdas debido a que hace películas y es mucho más barato que otros, su espectro de absorción esta algo lejano al infrarrojo pero dentro de lo comercial y puede ser una de las razones por las que las celdas hayan salido tan bajas

Celdas con Poliadrina y PC₆₁BM Se procedió a realizar más celdas con el politiofeno nuevo llamado “Poliadrina” por medio del proceso general (explicado en el anexo B). La solución se realizo con 5 mg de Poliadrina y 5 mg de C61 en 0.5 ml de Cloroformo de Aldrich

Los resultados se obtuvieron a partir de las mediciones realizadas en el sol tanto como por medio de iluminación estándar por medio de la lámpara del laboratorio donde se obtuvieron sus gráficas y se calcularon los valores de las celdas más destacadas. Véase la tabla 3.7 para ver los parámetros eléctricos, la gráfica 3.9 muestra la comparativa de las curvas pertenecientes a las 2 celdas destacadas

Tabla 3.7 Valores de celdas destacadas de Poliadrina y PC61BM relación 1:1

	Voc	Jsc	FF	n
Celda 3	550	0.5	0.3	0.28
Celda 5	530	0.4	0.25	0.22

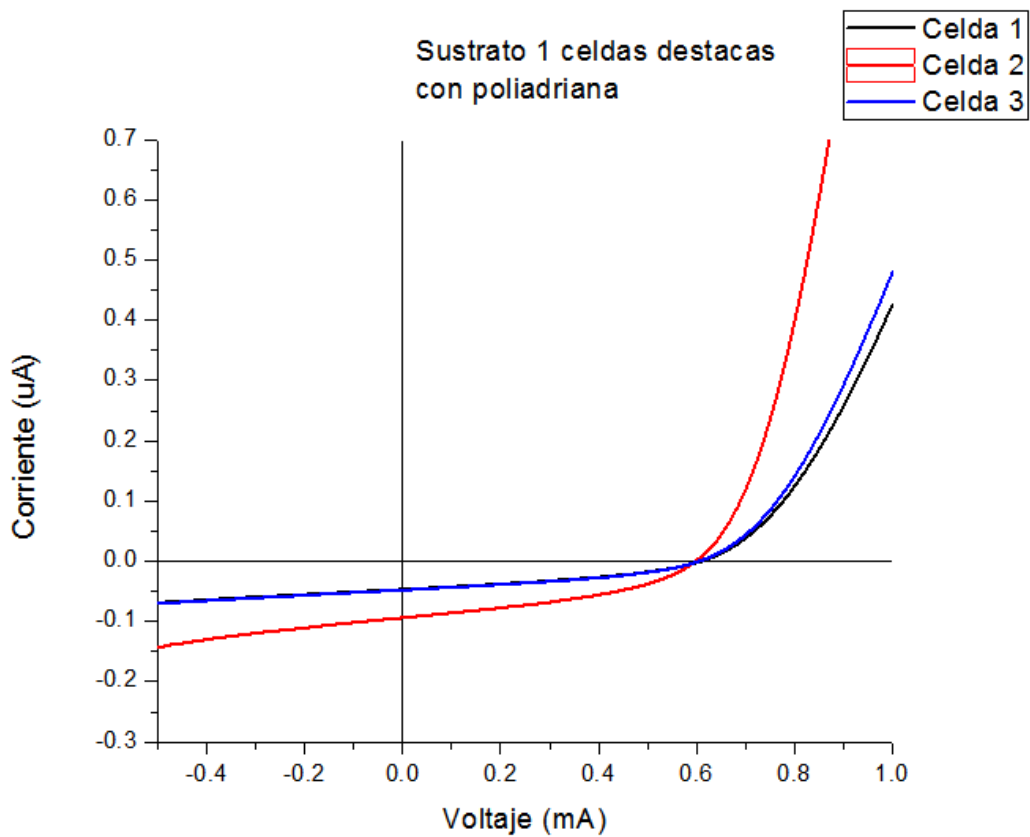


Gráfica 3.9. Muestra comparativa de las 2 celdas más destacadas

Se puede visualizar que los voltajes están en un rango aceptable aunque las corrientes son muy bajas, debido a falta de recombinación de huecos y electrones, en un futuro se tratara de modificar esto con fines de obtener mejores valores en la densidad de corriente

Celdas con Poliadrina y PC₇₁BM Se continuó haciendo celdas con el politofeno “poliadrina” para encontrar mejores valores, esta vez se hizo la solución usando PC₇₁BM en lugar del PC₆₁BM realizándolas por el método general en el que se realizan las celdas en el GPOM (Anexo B)

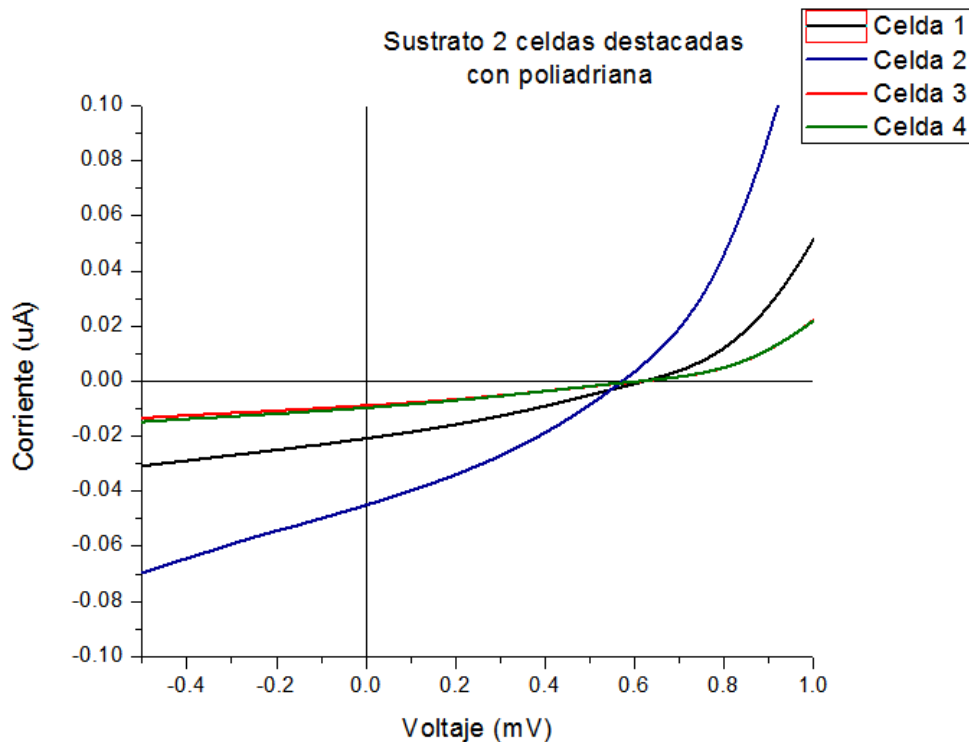
En esta ocasión la solución con la que se realizaría la capa activa fue bajo las siguientes especificaciones: trabajando con una concentración 1:1 se utilizó 5 mg de Poliadrina y 5 mg de C₇₁ en 0.5 ml de Cloroformo de Aldrich. Los resultados de las celdas destacadas por sustrato se encuentran en las siguientes graficas 3.10, 3.11, así como en las tablas 3.8 y 3.9 se muestran sus parámetros eléctricos



Gráfica 3.10. Comparativa de celdas destacadas del sustrato 1 con Poliadriana

Tabla 3.8 Valores de celdas destacadas de Poliadriana y $PC_{71}BM$ relación 1:1

Sustrato 1	Voc	Corriente (uA)	Jsc	F.F
Celda 1	615	7	0.23	0.2
Celda 2	600	15	0.5	0.3
Celda 3	630	8	0.24	0.2



Gráfica 3.11. Comparativa de celdas destacadas del sustrato 2 con Poliadriana

Tabla 3.9 Valores de celdas destacadas de Poliadriana y $PC_{71}BM$ relación 1:1

Sustrato 2	Voc	Corriente (uA)	Jsc	F.F
Celda 1	650	3	0.1	0.1
Celda 2	590	7	0.24	0.2
Celda 3	640	2	0.1	0.1
Celda 4	635	2	0.1	0.1

Se puede visualizar que los voltajes están en un rango aceptable aunque las corrientes son muy bajas, debido a falta de recombinación de huecos y electrones, en un futuro se tratara de modificar esto con fines de obtener mejores valores

3.3 Pruebas de nuevos compuestos (smdppo y dcvgt-bu)

Se adquirieron compuestos chinos, los cuales necesitaban realizarse unas pruebas, las cuales consistían en lograr conocer su espectro de absorción, solubilidad y poder observar si hacen película para la realización de celdas, todo esto bajo los procedimientos generales, ya conocidos

Se realizaron las soluciones con diferentes disolventes la primera fue 1 mg de SMDPPO en 1 ml de Cloroformo de Aldrich, la segunda contenía 1 mg de DCVGT-BU en 1 ml de Cloroformo de Aldrich, la tercera tenía 1 mg de SMDPPO en 1 ml de Diclorobenceno de Aldrich la cuarta fue realizada con 1 mg de DCVGT-BU en 1 ml de Diclorobenceno de Aldrich en la imagen 3.3 se ven las soluciones

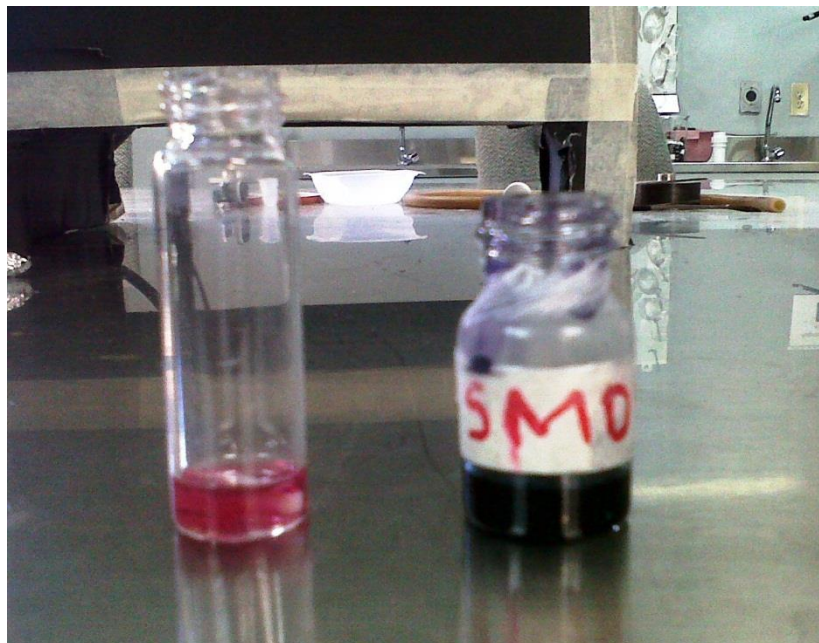
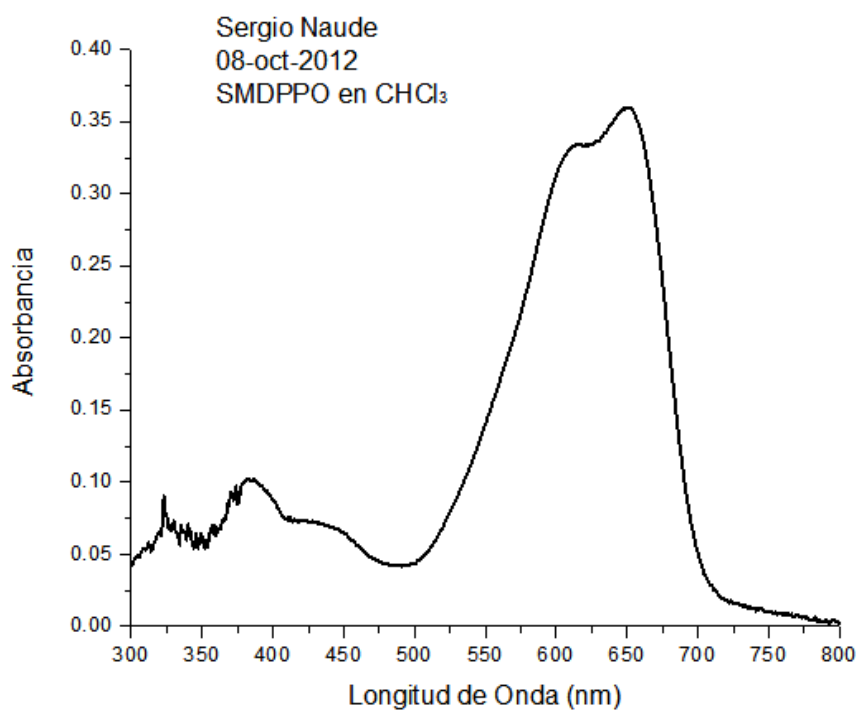
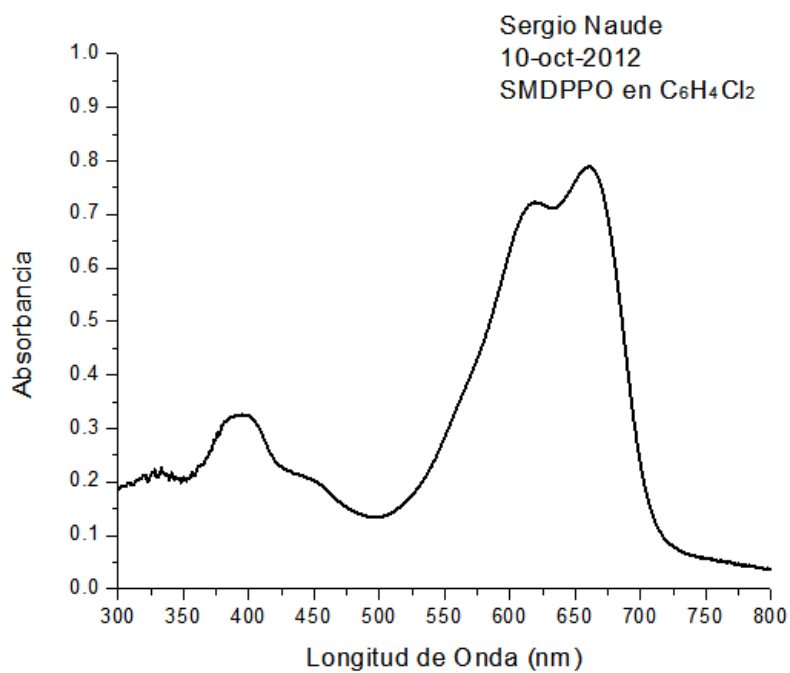


Imagen 3.3 Soluciones con los compuestos en cloroformo

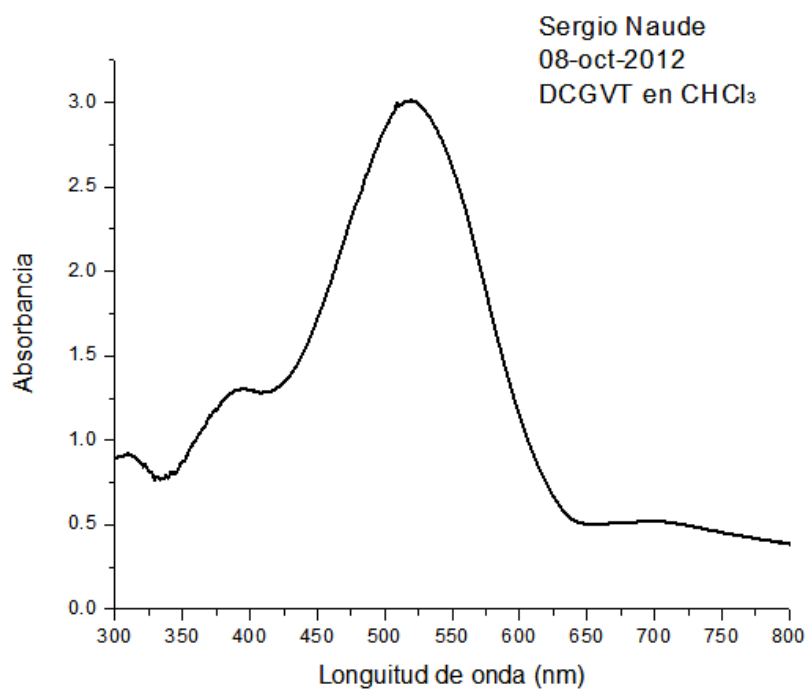
Se realizó la medición de los espectros de absorción con el espectrofotómetro localizado en el laboratorio de materiales, el cual fue ajustado para obtener la gráfica en un rango de 300-800 nm, siendo esta longitud la que abarca el espectro visible véase las gráficas 3.12, 3.13, 3.14 y 3.15 para ver el espectro de cada solución



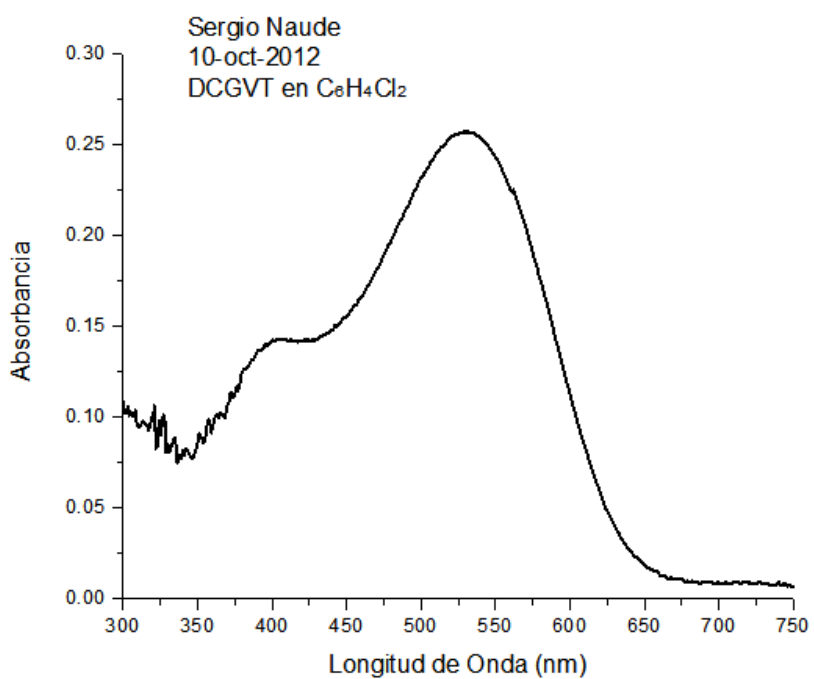
Grafica 3.12 Espectro de SMDPPO en cloroformo



Gráfica 3.131 Espectro de SMDPPO en diclorobenceno



Gráfica 3.14 Espectro de DCGVT en cloroformo



Gráfica 3.15 Espectro de DCGVT en diclorobenceno

Una vez obtenidos los espectros de absorción, se procedió a depositar las soluciones en sustratos de vidrio y ponerlas en el Spincast o spin coating para poder visualizar si hacían película, este paso es de vital importancia, debido a que si llegasen a crear película se podrían utilizar para la realización de celdas, las imágenes 3.4, 3.5 y 3.6 muestran los vidrios con la solución depositada



Imagen3.4 Sustrato con DCGVT



Imagen 3.5 Sustrato con SMDPPO



Imagen 3.6 Comparativa de sustratos con los compuestos

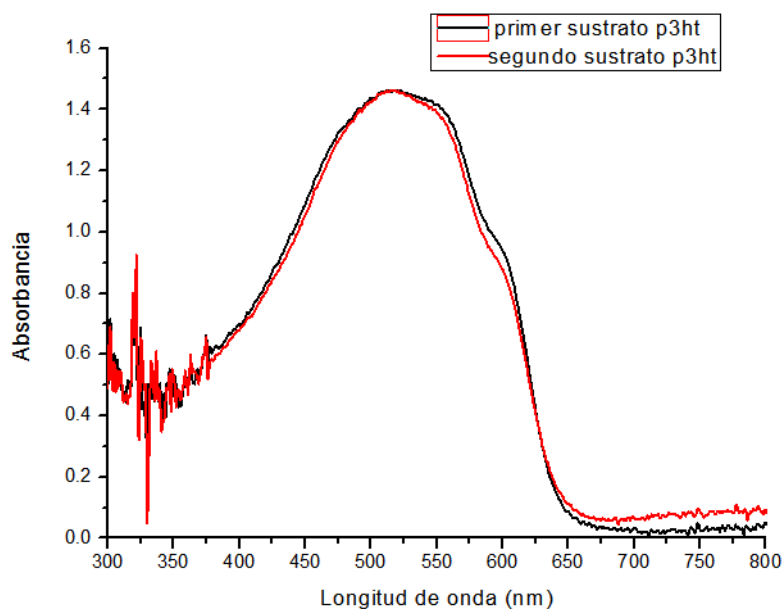
Se pudo concluir que estos compuestos son muy buenas para absorber, debido a que sus espectros de absorción muestran muy cercanas al infrarrojo, lo cual ayuda a la absorción de la radiación solar, razón por la cual se procedió a la deposición de las soluciones en los sustratos y se visualizó que no hacen película, por la cual estos compuestos no nos serán útiles en realización de celdas

3.4 Dopado de materiales con Cloruro Férrico (FeCl_3) para la modificación de su espectro de absorción y realización de Celdas Orgánicas con ellos

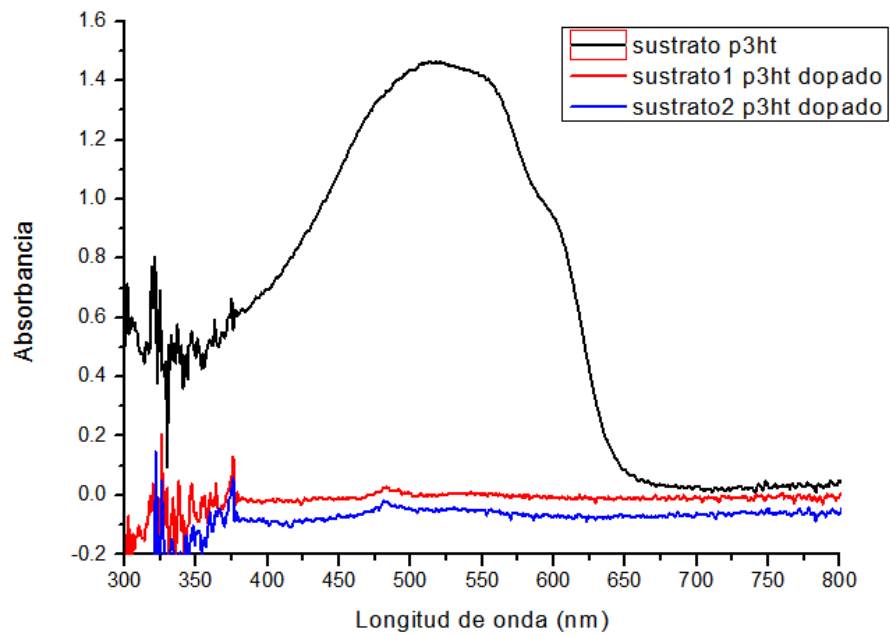
Modificación del espectro de absorción de P₃HT y Poliadriana dopadas con FeCl_3 Después de las primeras pruebas con el poliofeno Poliadriana se decidió experimentar con un nuevo método para poder mejorar sus resultados el cual consistía en modificar el espectro de absorción de los compuestos de P₃HT y Poliadriana para obtener los picos en un rango más cercano al rojo

En esta ocasión el procedimiento general para realizar las celdas se vio afectado por el proceso de dopado el cual se explica en el anexo C, dicho proceso se realiza después de colocar la capa activa y antes de enmascarar los sustratos. Se realizaron las soluciones para la capa activa con 5 mg de Poliadriana en 0.5 ml de Cloroformo de Aldrich y 5 mg de P₃HT en 0.5 ml de Cloroformo de Aldrich

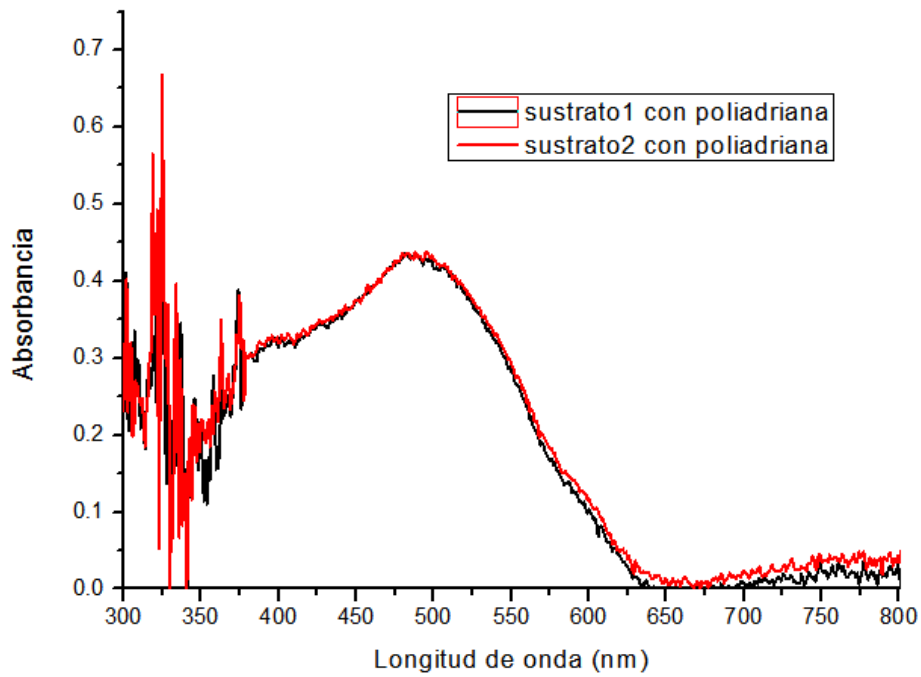
Se realizó la medición de los espectros de absorción de las películas para hacer una comparativa entre los sustratos dopados y no dopados tanto de Poliadriana como de P₃HT y poder elegir cual era más conveniente así como visualizar que era lo que sucedía para cada caso el tiempo de dopado fue de 20 segundos por 15 de lavado, los espectros se muestran en las gráficas 3.16, 3.17, 3.18 y 3.19



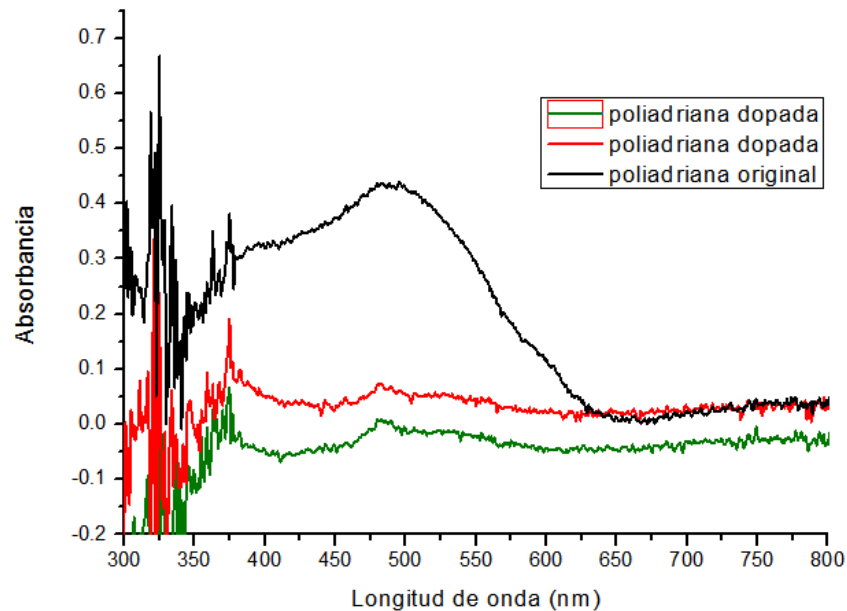
Gráfica 3.16. Espectro de absorción del P₃HT



Gráfica 3.17. Comparativa de los espectros de absorción del P3HT



Gráfica 3.18. Espectros de absorción de Poliadrina

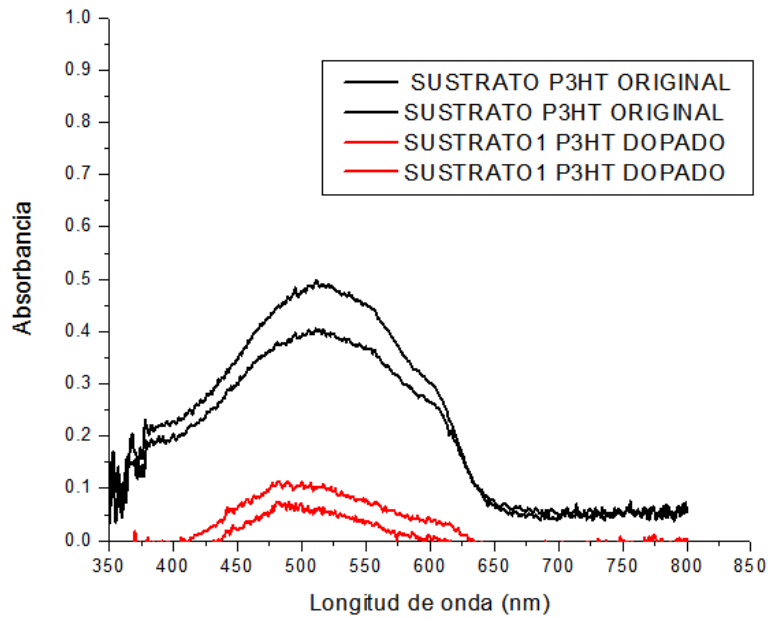


Gráfica 3.19. Comparativa de los espectros de absorción de Poliadrina

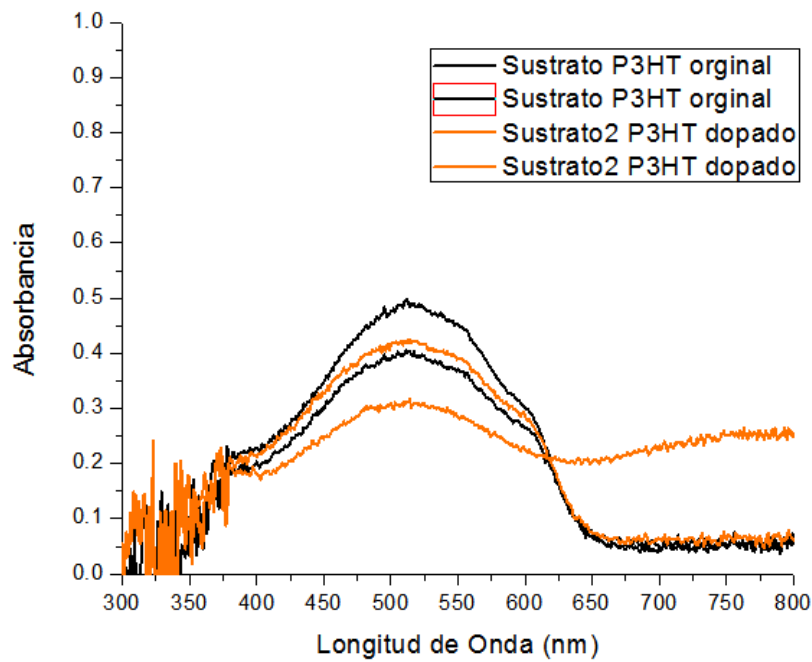
Se encontraron variaciones en la absorción de los sustratos dopados, pero en esta ocasión todas fueron de forma negativa, se cree que el tiempo de lavado pudo haber afectado ya que como es el mismo disolvente que con el que se dopa, se vuelve a llevar el dopado y parte de la película, razón por la cual la absorción disminuye

Después de realizar las primeras pruebas se decidió realizar el dopado de otra manera para poder ver si se observaba un cambio positivo para obtener los picos del espectro de absorción en un rango cercano al rojo, el procedimiento fue el mismo al del experimento pasado con la única variación de los tiempos de dopado y lavado para los cuales fueron 15 segundos de dopado y 8 de lavado

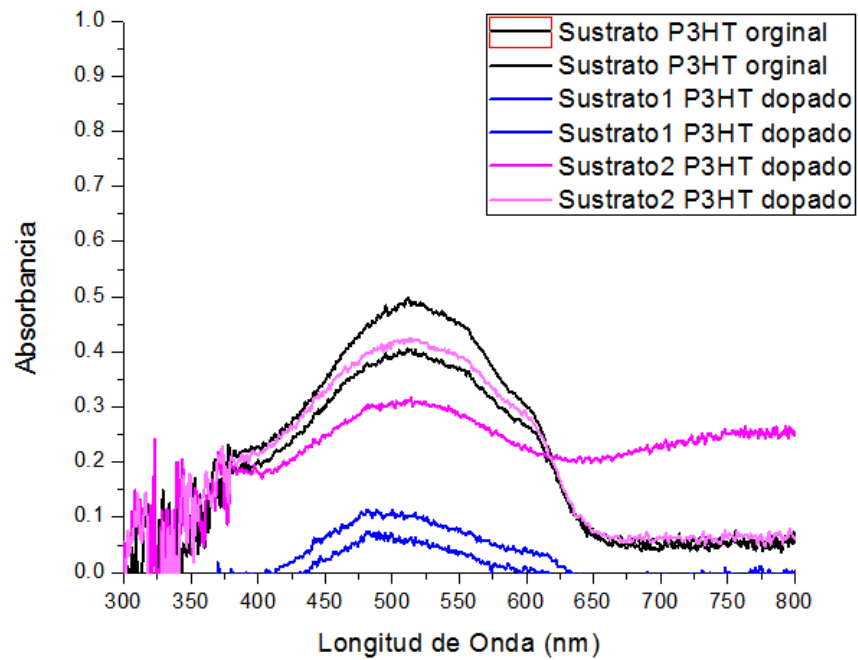
Se procedió a realizar las soluciones con las especificaciones dadas la primera fue con 10 mg de Poliadrina, la segunda 10 mg de P3HT ambas en 1 ml de Cloroformo de Aldrich cabe mencionar que se dejaron en agitación durante una noche, los resultados de los espectros de absorción se ven en las gráficas 3.20, 3.21, 3.22, 3.23, 3.24, 3.25 y 3.26



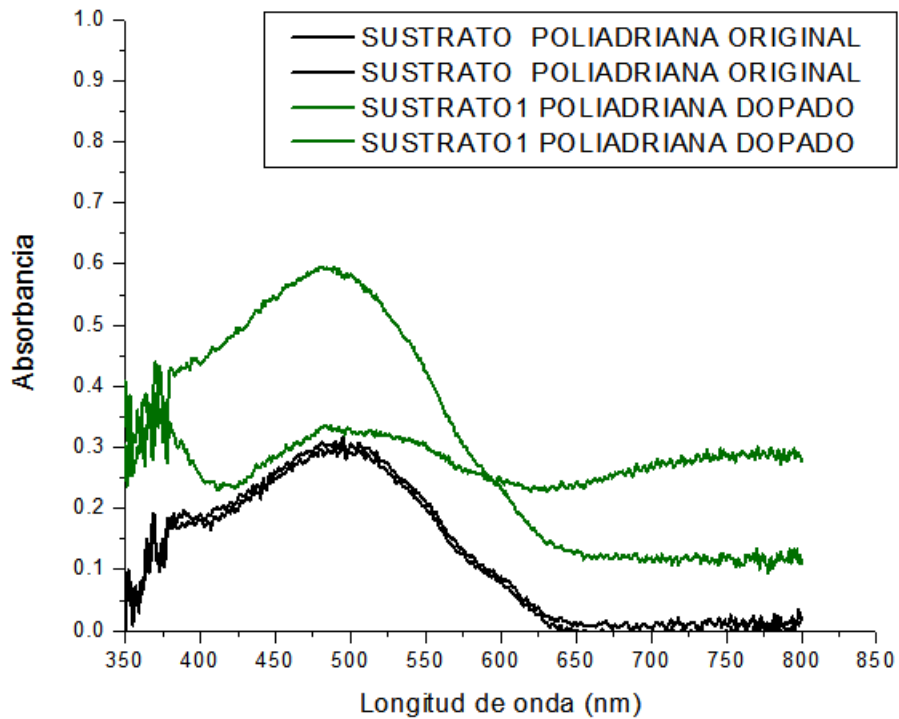
Gráfica 3.20. Comparativa de los espectros de absorción de P3HT



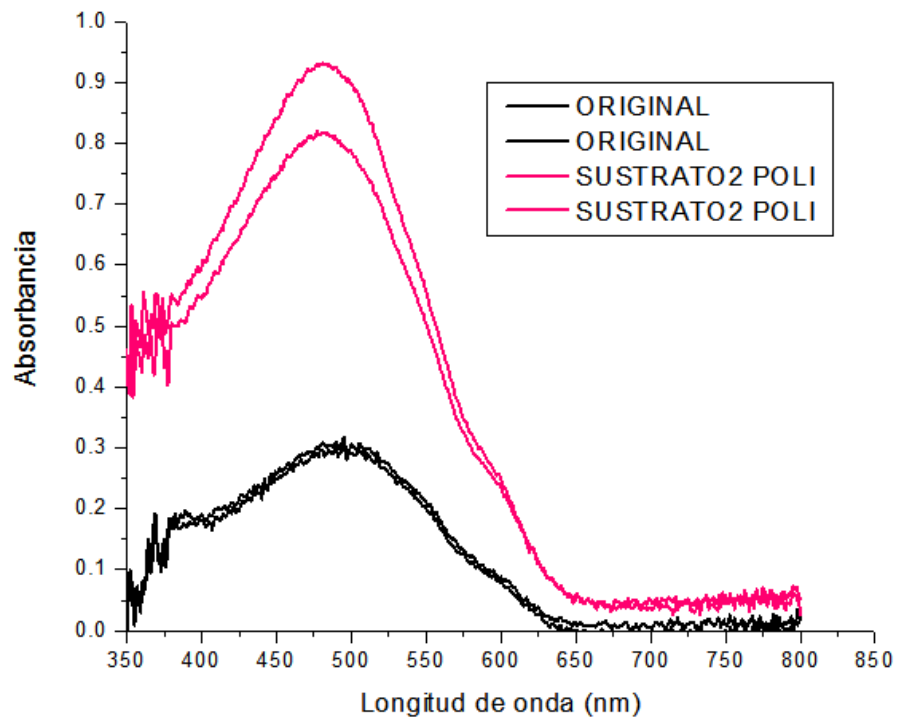
Gráfica 3.21. Comparativa de los espectros de absorción de P3HT



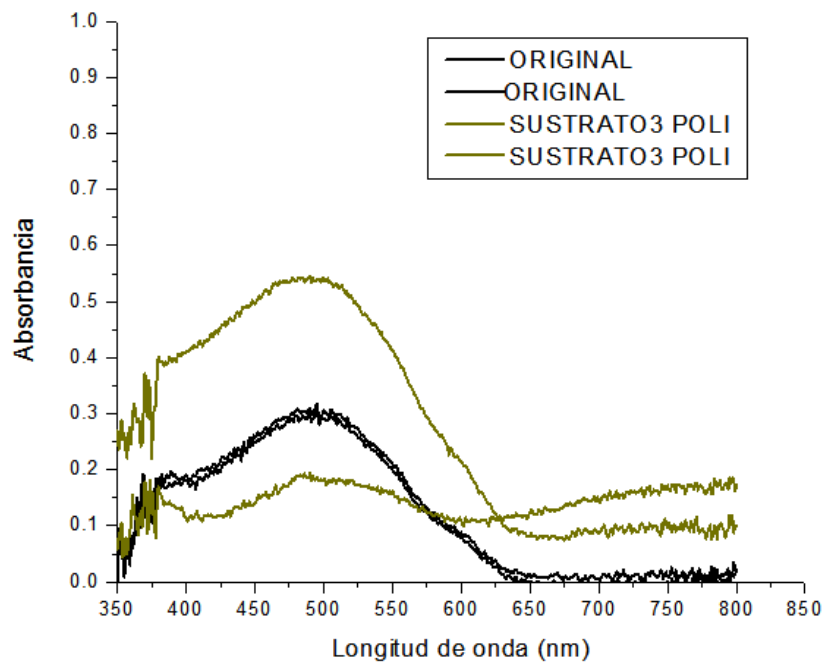
Gráfica 3.22. Comparativa de los espectros de absorción de P3HT



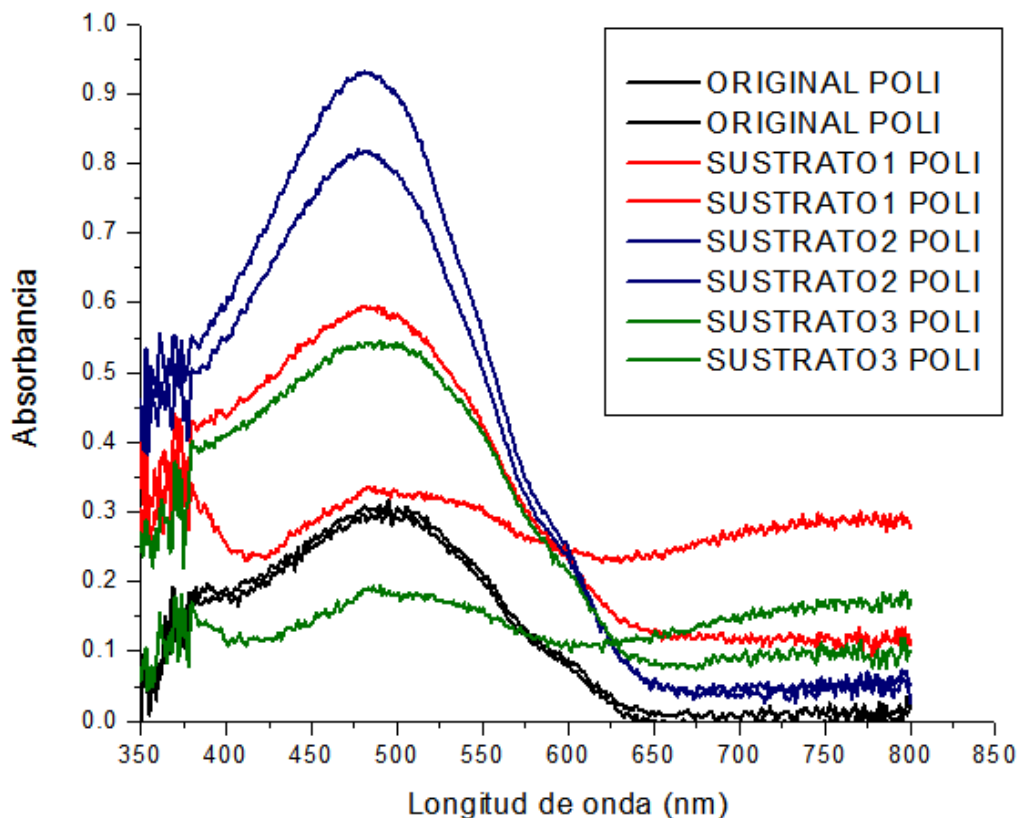
Gráfica 3.23. Comparativa de los espectros de absorción de Poliadrina



Gráfica 3.24. Comparativa de los espectros de absorción de Poliadrina



Gráfica 3.25. Comparativa de los espectros de absorción de Poliadrina



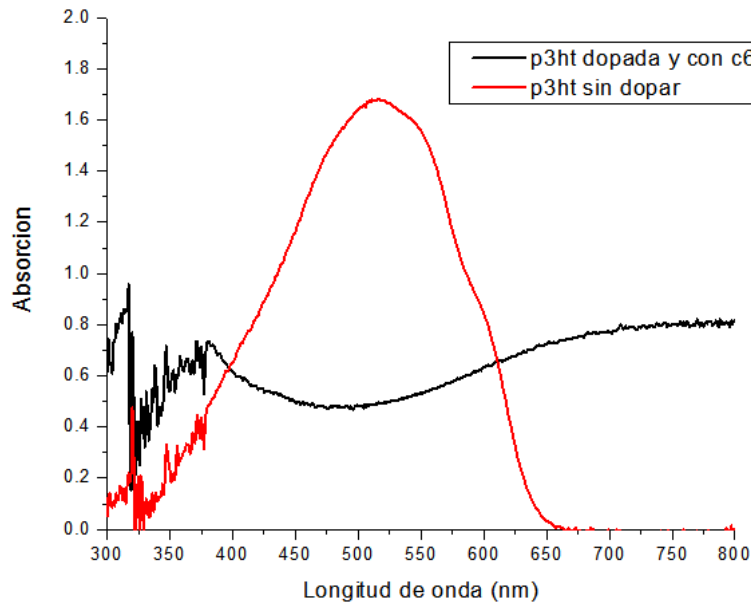
Gráfica 3.26. Comparativa de los espectros de absorción de todos los sustratos con Poliadrina

Claramente el dopado modifica las características de las películas, tanto las de P₃HT como las de Poliadrina, se encontraron variaciones en el color de la película y modificaciones en el espectro de absorción, solo que este último varío de diferentes formas ya que para algunos sustratos se encontraron mejorías y para otros no

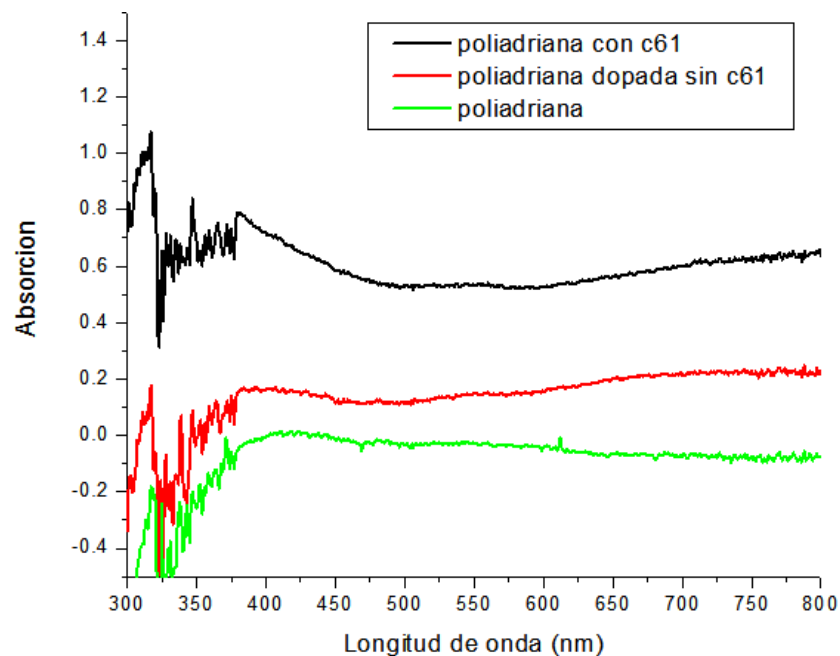
Una vez analizados los resultados se concluyó que si se podrá modificar el rango de absorción de los compuestos hacia el punto deseado, solo que en las siguientes pruebas se buscara encontrar las mejores condiciones para dopar y obtener los resultados deseados en todos los sustratos

Dopado de P₃HT Y Poliadrina con FeCl₃ y PC₆₁BM Con los resultados obtenidos se piensa crear una bicapa, para la formación de celdas en un futuro a través del dopado, razón por la cual se agregara PC₆₁BM a las películas después del dopado, con el fin de obtener un mejoras en el espectro de absorción y en un futuro poder realizar celdas por medio de una bicapa

Las soluciones se realizaron bajo las siguientes concentraciones: 1 mg de Poliadrina , 1 mg de P₃HT y 1 mg de C₆₁, todas las soluciones disueltas en 1 ml de Cloroformo de Aldrich, siendo la de C₆₁ esta la que se depositaria después del dopado a 4500 rpm, el tiempo de dopado fue de 30 segundos mientras que el de lavado vario de 6 a 8 Los resultados se visualizan en las gráficas 3.27 y 3.28



Gráfica 3.27 Comparativa de espectros de absorción de P₃HT con y sin PC₆₁BM

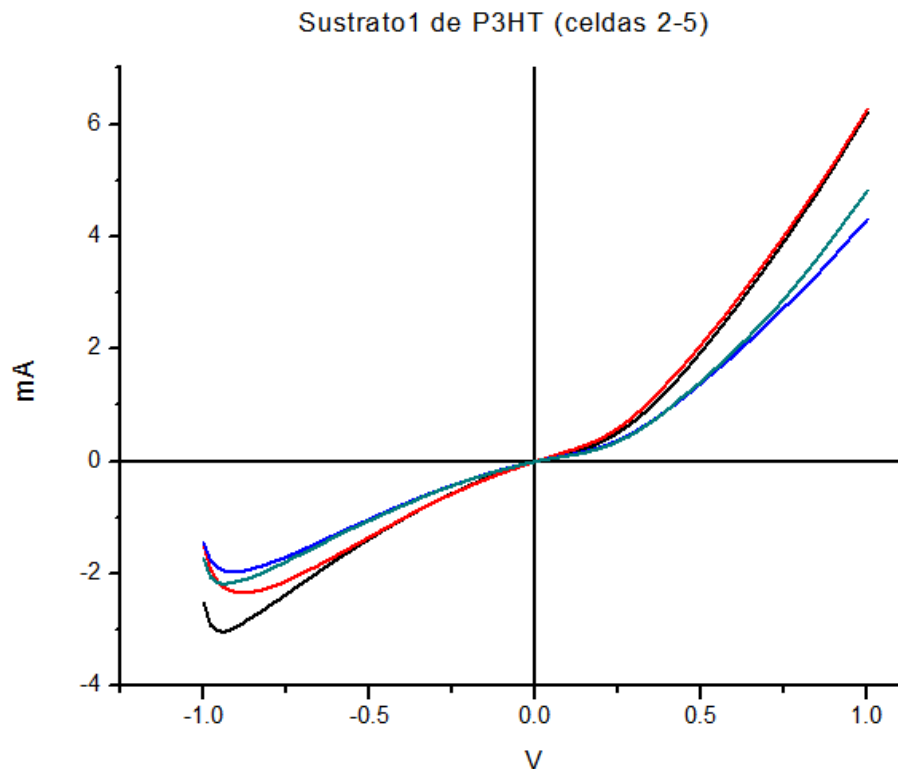


Gráfica 3.28. Comparativa de espectros de absorción de Poliadrina con y sin PC₆₁BM

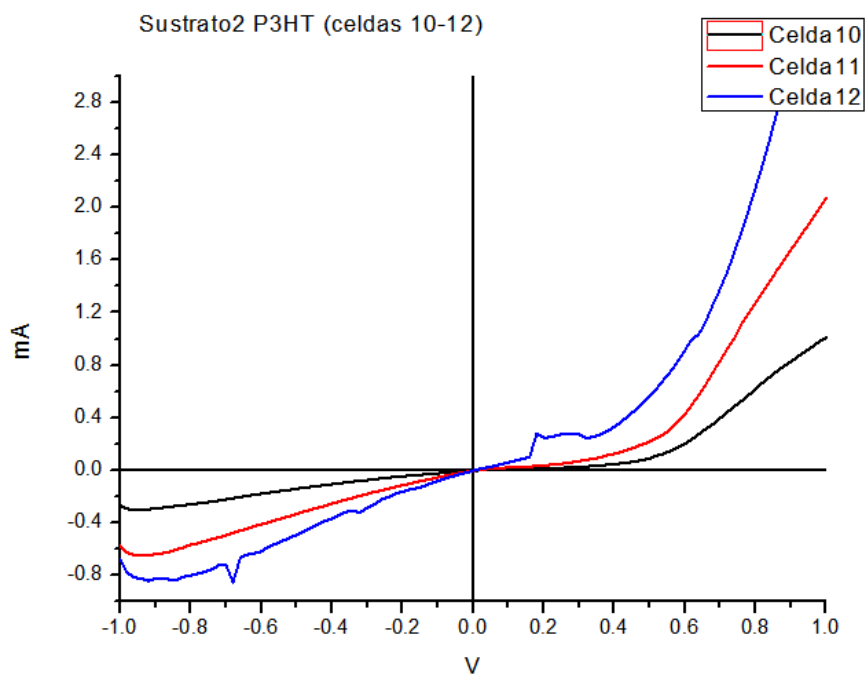
Realizando se logró modificar el espectro de absorción en ambas películas realizadas, debido a la bicapa, para el sustrato con P₃HT se recorrió el pico y cambio totalmente el espectro mientras que con Poliadrina la curva no cambia, pero si se ve una ganancia en dicho espectro por lo cual, se pudo concluir que el C₇₁ ayuda de buena manera a que el espectro de las películas tenga una mejora

Realización de las celdas de P3HT y Poliadrina dopadas con FeCl₃ A partir de los resultados obtenidos de los experimentos hechos, se concluyó que en estos momentos sería de gran relevancia poder experimentar y realizar celdas a partir de sustratos dopados con FeCl₃ para visualizar el efecto de este en OPV's

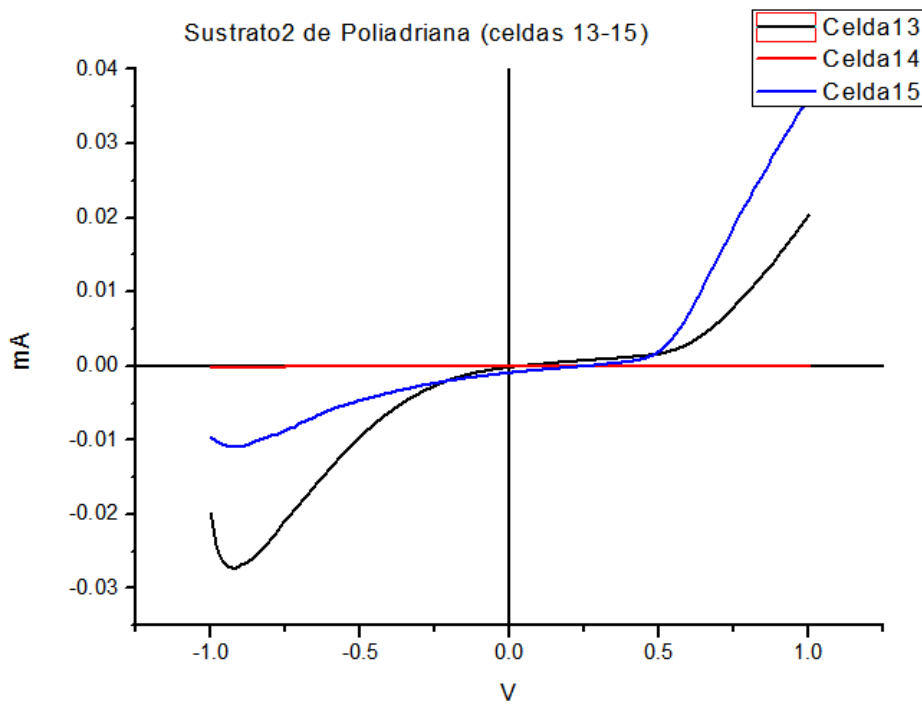
Se procedió a realizar las soluciones con: 5 mg de Poliadrina en 0.5 ml de Cloroformo de Aldrich, 5 mg de P3HT en 0.5 ml de Cloroformo de Aldrich y 5 mg de C₆₁ en 0.5 ml de Cloroformo de Aldrich, el tiempo de dopado fue de 30 segundos mientras el de lavado consistió de 6 a 8 segundos, las curvas de las celdas se observan en las gráficas 3.29, 3.30, 3.31 y 3.32



Gráfica 3.29. Gráfica de corriente-voltaje de las celdas realizadas con P3HT dopado (bicapa)

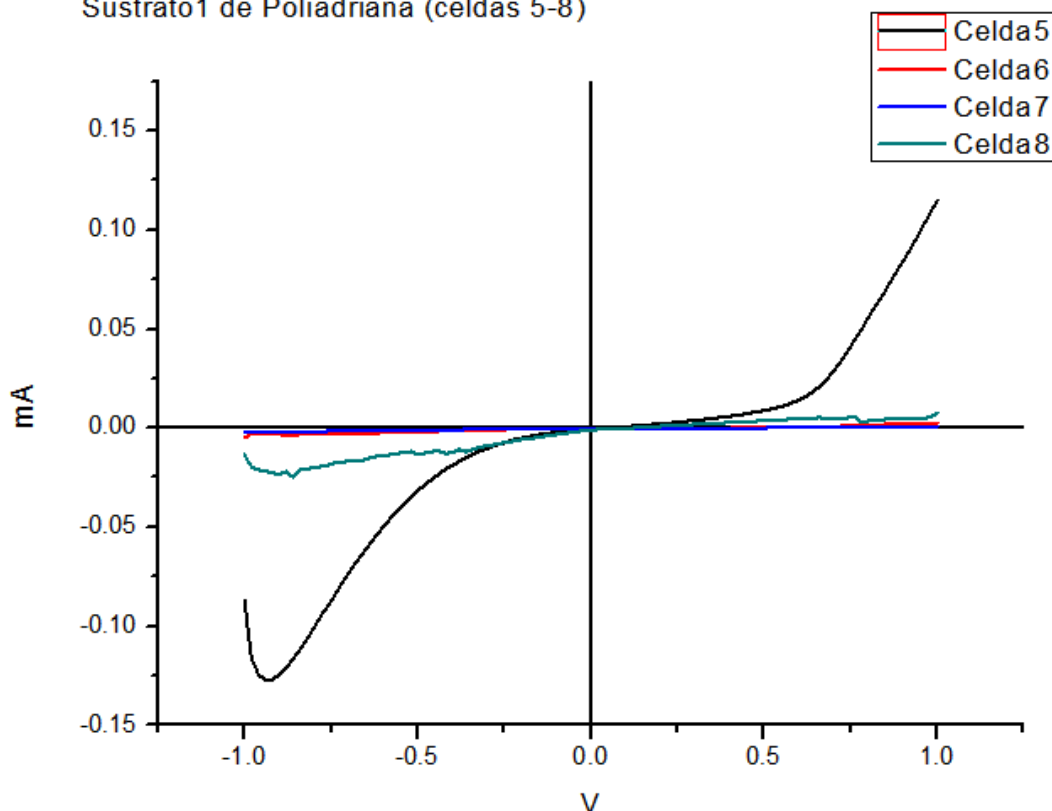


Gráfica 3.30. Gráfica de corriente-voltaje de las celdas realizadas con P3HT dopado (bicapa)



Gráfica 3.31. Gráfica de corriente-voltaje de las celdas realizadas con Poliadrina dopado (bicapa)

Sustrato1 de Poliadrina (celdas 5-8)



Gráfica 3.32. Gráfica de corriente-voltaje de las celdas realizadas con Poliadrina dopado (bicapa)

Se puede visualizar que las celdas realizadas, adquieren propiedades rectificadoras similares a las de un diodo, esto puede ser debido al dopado con FeCl_3 , también se puede ver que disminuyen sus propiedades fotovoltaicas en ambos casos las corrientes fueron casi nulas, razón por la cual se tendrá que seguir experimentando métodos y concentraciones del dopado

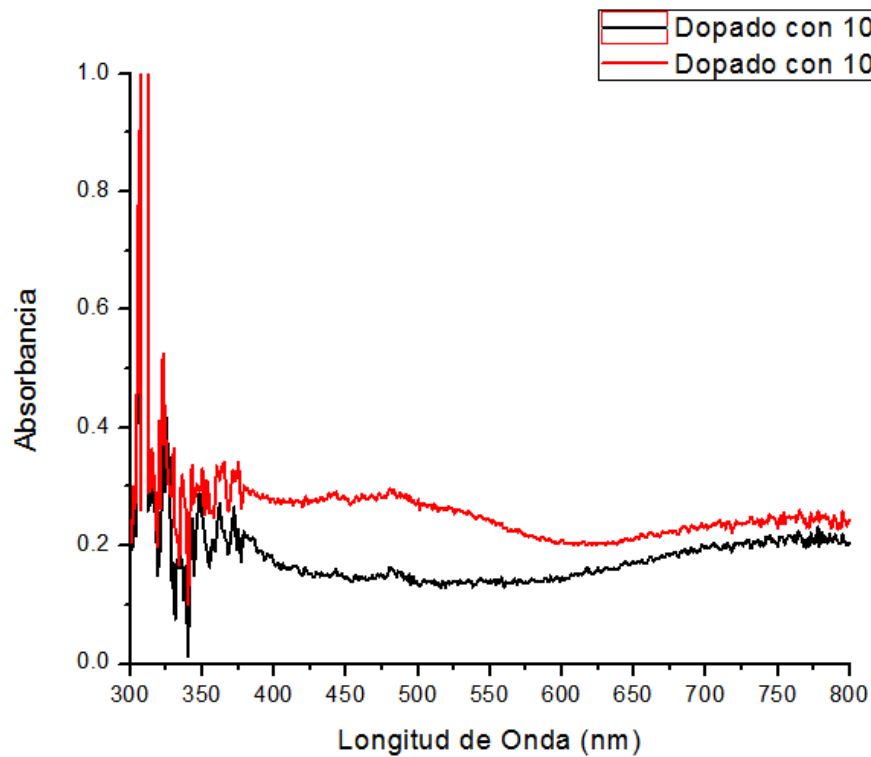
Dopado de Poliadrina a diferentes concentraciones de FeCl_3 . En base a los experimentos recientes se buscara encontrar la concentración adecuada para realizar el dopado, en esta ocasión se experimentara solamente con poliadrina, siendo fue con el que se obtuvieron mejores valores que al dopar el P_3HT

Se realizó la solución con: Poliadrina en cloroformo de Aldrich a una concentración de 10 mg/ml la cual se iba a dopar a diferentes concentraciones de FeCl_3 , las cuales fueron 10 mg de Cloruro Férrico en 1 ml de Nitrometano, 16 mg de Cloruro Férrico en 1 ml de Nitrometano, 32 mg de Cloruro Férrico en 1 ml de Nitrometano véase los sustratos con poliadrina en la imagen 3.7

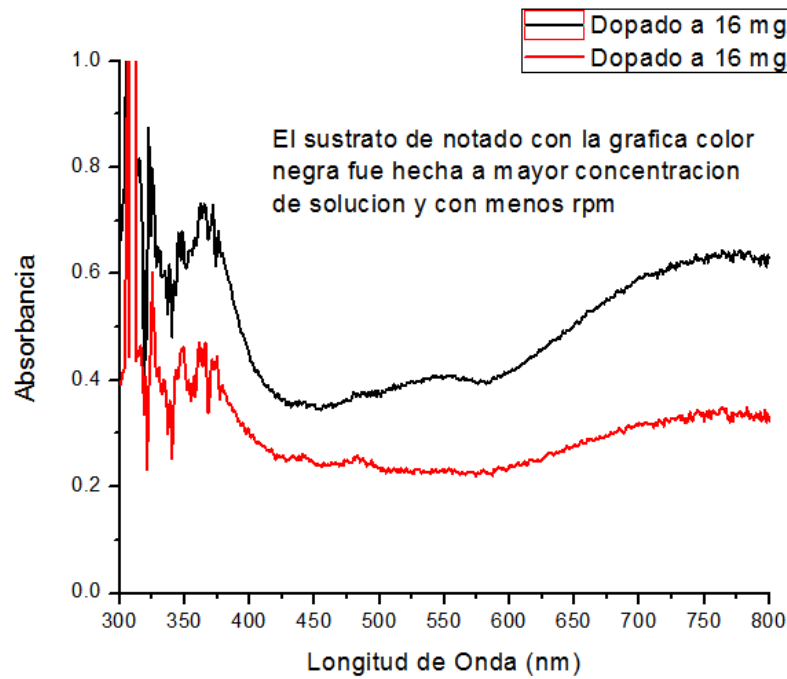


Imagen 3.7 Sustratos con poliadriana

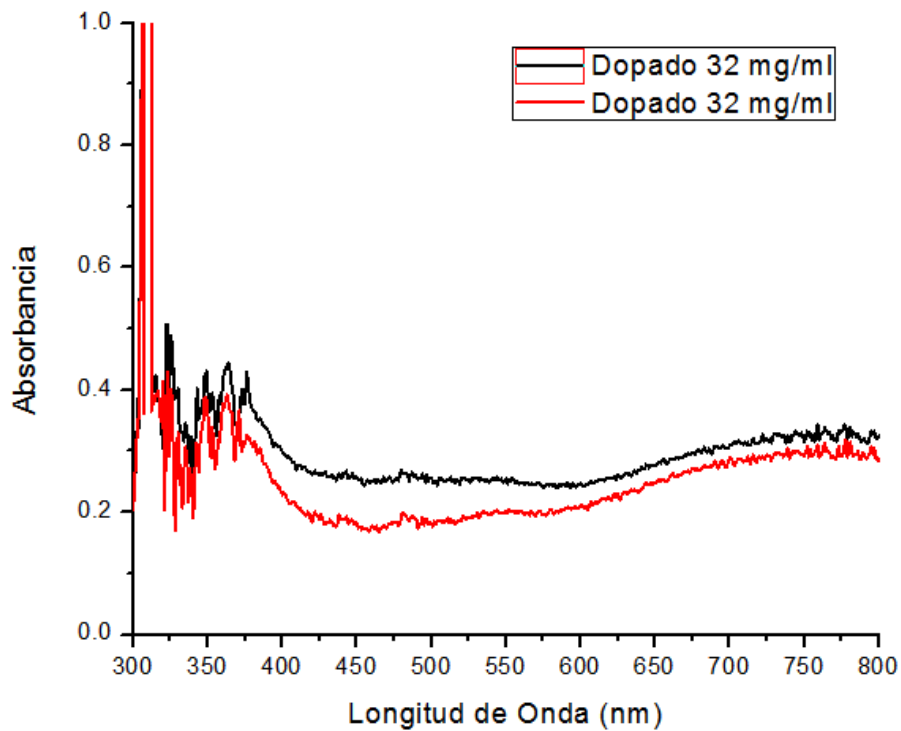
Se midieron los espectros obtenidos de las diferentes concentraciones a las que se realizó el dopado en el espectrofotómetro con el que se cuenta en el laboratorio de materiales, calibrándolo en el rango de 300-800 nm. Los resultados de la toma de los espectros se pueden ver en la gráfica 3.33, 3.34, 3.35 y 3.36



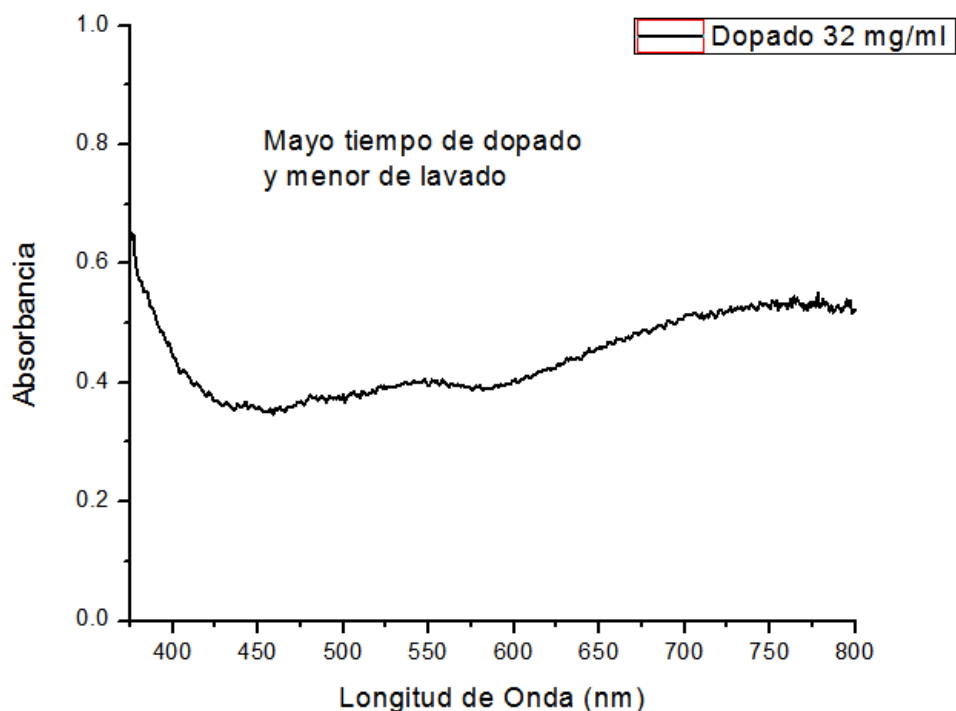
Gráfica 3.33. Espectro de absorción de la película dopada con 10 mg/ml



Gráfica 3.34. Espectro de absorción de la película dopada con 16 mg/ml



Gráfica 3.35. Espectro de absorción de la película dopada con 32 mg/ml



Gráfica 3.36. Espectro de absorción de la película dopada con 32 mg/ml a menor tiempo de lavado

Se encontró que el valor por conveniencia más adecuado para lograr un dopado más uniforme y consistente, es a partir de nuestra relación de 16 mg/ml, así como también se halló que el tiempo de lavado al ser menor cada vez, nos permite que conserve absorción en otras partes del espectro, razón por la cual se seguirá probando para encontrar mejores resultados

Dopado a diferentes concentraciones de Poliadrina Con esto se busca modificar el espectro de absorción del compuesto de Poliadrina de una manera considerable, ya que se conocen algunos factores que ayudan como la concentración y el tiempo para obtener los picos en un rango más cercano al infrarrojo, razón por la cual se realizó la siguiente prueba a través de este proceso:

Se realizó la solución con las especificaciones dadas: 20 mg de Poliadrina en 1 ml de Cloroformo de Aldrich, 30 mg de Poliadrina en 1 ml de Cloroformo de Aldrich, cabe mencionar que en esta ocasión se depositó a diferentes revoluciones, las cuales fueron: 800 rpm, 1000 rpm, 1300 rpm y 1700 rpm

El dopado realizado se hizo a una concentración de 16 mg de Cloruro Férrico durante un tiempo de 30 segundos de dopado y 3 segundos de lavado, en la imagen 3.8 se muestran los sustratos con Poliadrina, mientras en las gráficas 3.36 y 3.37 se muestran los espectros de absorción a diferentes revoluciones

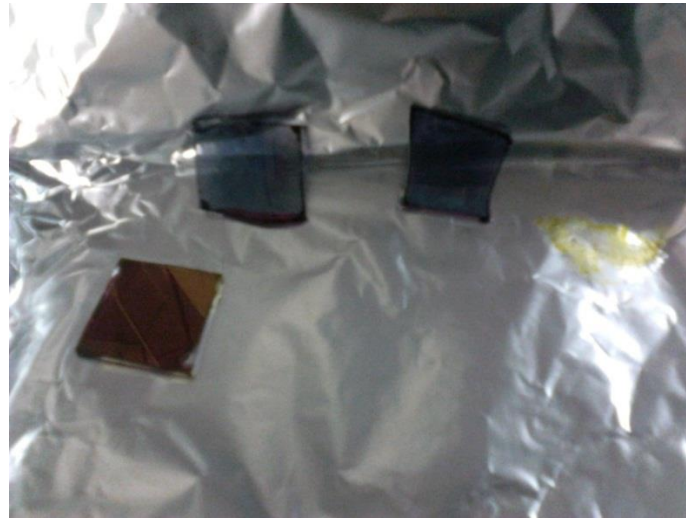
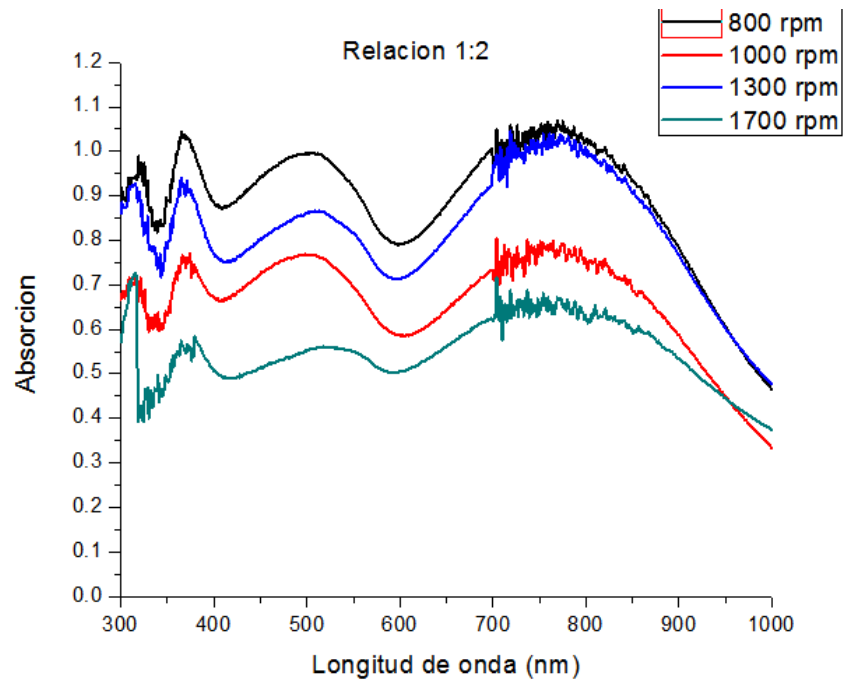
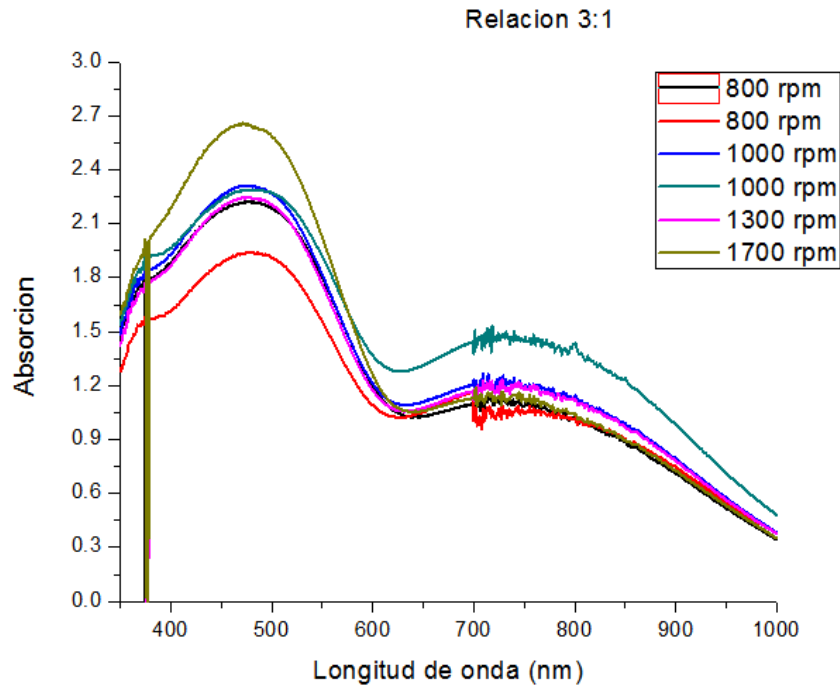


Imagen 3.8.- Muestra 2 películas dopadas y una sin dopar para poder ver la diferencia física que existe después de realizar el dopado



Grafica 3.36. Muestra el espectro de absorción de la película de Poliadriana de 20 mg/ml depositada a diferentes revoluciones y después de haber sido dopada



Grafica 3.37 Muestra el espectro de absorción de la película de Poliadriana de 20 mg/ml depositada a diferentes revoluciones y después de haber sido dopada

Con esto se logró modificar el espectro de absorción satisfactoriamente debido a que se encontró todas las relaciones y factores para obtener las modificaciones deseadas, así como también se encontró que la relación de Poliadriana 2:1 en cloroformo es una de las mejores ya que mejora el espectro de gran manera

4. Resultados y Conclusiones

Durante este trabajo se realizaron diferentes tipos de soluciones con distintos fines, variando el disolvente, la proporción y los componentes, la mayoría de ellas fueron realizadas para fabricar celdas solares organicas, asi como otras para pruebas o dopado según sea el caso. La tabla 4.1 muestra el contenido de las soluciones.

Tabla 4.1 Disoluciones preparadas para la fabricación de celdas solares orgánicas OPVs.

Solución No.	Disolvente	Componentes	Proporción en peso
1	Cloroformo	MEH-PPV:PC ₆₁ BM	(1:1)
2	Cloroformo anhidro	P ₃ HT:PC ₆₁ BM	(1:1)
3	Cloroformo anhidro	P ₃ HT:PC ₇₁ BM de la compañía SES	(1:1)
4	Cloroformo anhidro	P ₃ HT:PC ₇₁ BM de la Compañía ALDRICH	(1:1)
5	Cloroformo anhidro	P ₃ HT:PC ₇₁ BM de la Compañía ALDRICH	(1:2)
6	Cloroformo anhidro	Polidariana:PC ₇₁ BM de la compañía ALDRICH	(1:1)
7	Cloroformo anhidro	Poliadriana:FeCl ₃ :PC ₇₁ BM de la compañía ALDRICH	(1:16:1)
8	Diclorometano	ClFe ₃	(16:1)
9	Diclorometano	ClFe ₃	(32:1)

Las celdas elaboradas con las soluciones de MEH-PPV:PC₆₁BM, Poliadriana:PC₇₁BM y Poliadriana:FeCl₃:PC₇₁BM en sus proporciones mostraron densidades de corrientes bajas y por lo tanto eficiencias bajas. En comparación con las celdas elaboradas con P₃HT:PC₇₁BM las soluciones 2, 3, 4, y 5 de las cuales se logró obtener una eficiencia de 0.79 %.

Se realizó un estudio topográfico de la solución P₃HT:PC₇₁BM de la compañía SEARES donde se muestran las diferentes topografías y se puede distinguir que no son completamente homogénea esto es debido a la interacción del disolvente con el polímero y el fullereno, el cual se muestra en la imagen 4.1

Cada disolvente presenta distintas topografías, cabe resaltar que en las celdas dieron buenos resultados al exponerlo a la radiación solar, sin embargo muestran un acomodo lineal el cual hace pensar que son las líneas por donde se transportan los pares de electrón-hueco, se alcanza a apreciar las partículas del polímero con el fullereno es por eso que se ve corrugado.

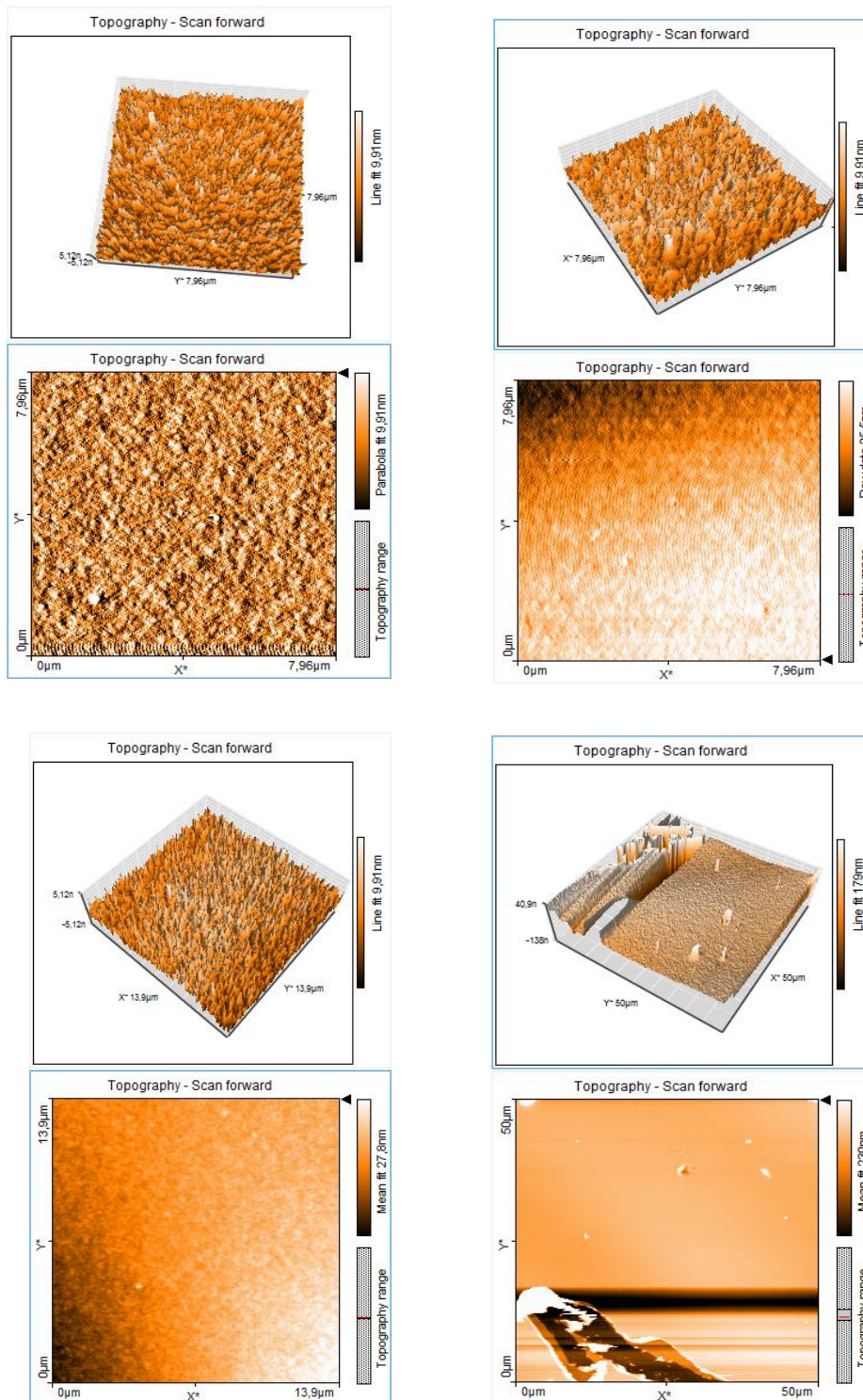


Imagen 4.1 Estudio topográfico de las celdas OPVs sobre su capa activa.

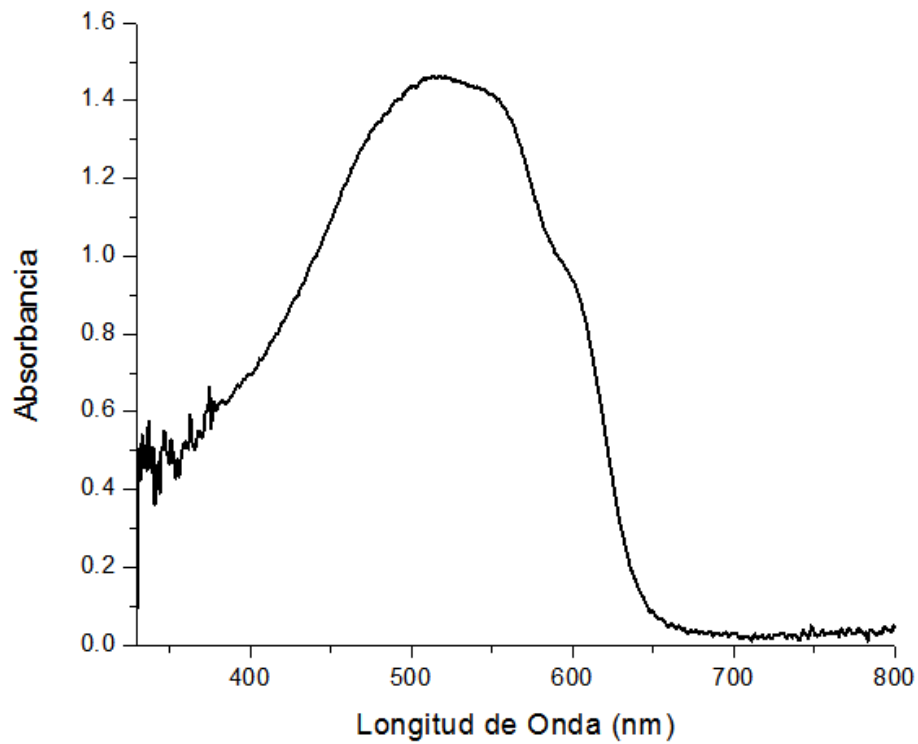
Se realizó una caracterización bajo iluminación estándar así como también bajo radiación solar de las celdas que mostraron las topografías anteriores, los resultados así como la composición de las soluciones se muestran en la siguiente tabla 4.2

Tabla 4.2 Muestra parámetros eléctricos así como los materiales con los que se realizó la solución

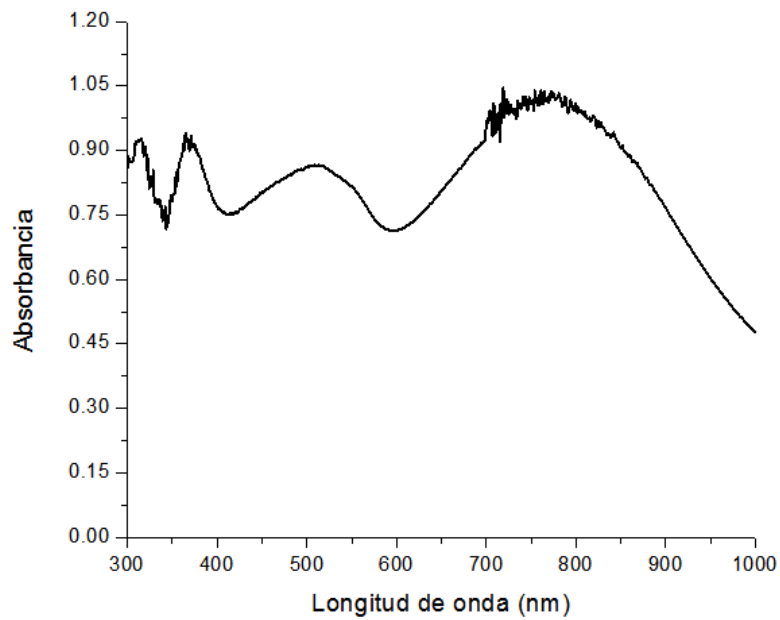
Materiales (proporción en peso)	Disolvente	Compañía fullereno	Voc (mV)	Jsc (mA/cm²)
MEH-PPV:PC ₆₁ BM (1:1)	Cloroformo	SES research	43	1.37
P3HT:PC ₆₁ BM (1:1)	Cloroformo	SES research	345	5.92
P3HT:PC ₇₁ BM (1:1)	Cloroformo	SES research	454	3.72
P3HT:PC ₇₁ BM (1:2)	Cloroformo	Aldrich	472	5
P3HT:PC ₇₁ BM (1:1)	Cloroformo	Aldrich	348	9.56
Poliadriana:PC ₆₁ BM (1:1)	Cloroformo	Aldrich	530	0.3
POLIADRIANA:PC ₇₁ BM (1:1)	Cloroformo	Aldrich	650	0.7
Poliadriana:ClFe ₃ :PC ₇₁ BM (1:16:1)	Cloroformo	Aldrich	300	0.2

Los resultados que se muestran en la tabla 4.2, son valores promedio de un total de 200 celdas. Para la caracterización bajo condiciones de iluminación estándar se analizaron celdas, donde se obtuvieron sus graficas de corriente-voltaje así como a través de matlab se calcularon sus parámetros electricos.

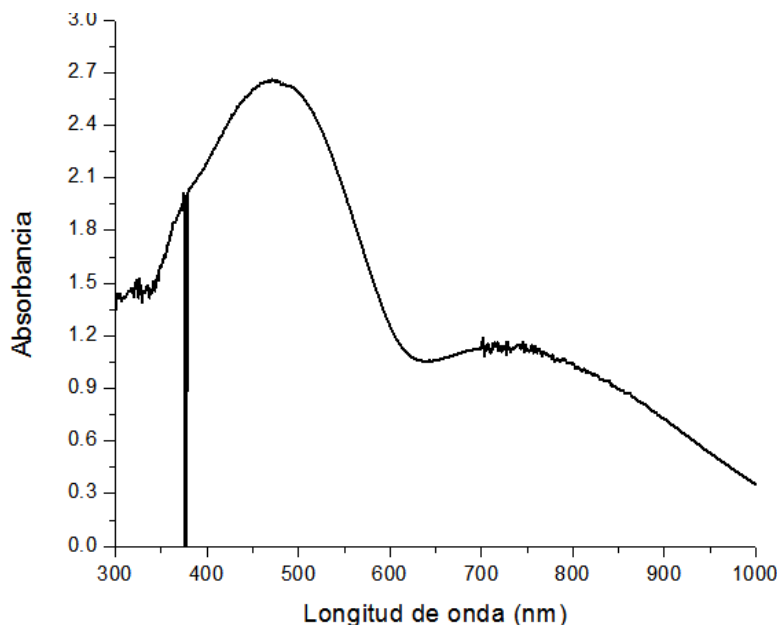
Así como también se logró modificar el espectro de absorción del politeofeno Poliadriana, el cual todavía no es comercial y es nuevo en los centros de investigación donde ya se continúan haciendo pruebas. Los resultados se sacaron de un promedio de 8 sustratos dopados por el mismo método y el mismo tiempo, los resultados se muestran en las gráficas 4.1, 4.2 y 4.3



Gráfica 4.1. Espectro de absorcion de Poliadriana



Gráfica 4.2. Espectro de poliadriana dopada a 16 mg/ml de FeCl₃ y una concentracion de 2:1



Gráfica 4.3. Espectro de poliadriana dopada a 16 mg/ml de $FeCl_3$ y una concentración de 3:1

A partir de estos dopados, los resultados en la realización de celdas como de diodos orgánicos debe mejorar, debido a que la capa activa va absorber una mayor cantidad de luz a diversos rangos del espectro electromagnético razón por la cual generará más electrones

Se prepararon celdas a base de $P_3HT:PC_{71}BM$ de la compañía de Aldrich obteniéndose densidades de corriente mayores en comparación con la mezcla $P_3HT:PC_{61}BM$ utilizando las mismas condiciones, solvente, concentración así como revoluciones a las que se depositó la capa activa

Se trabajó en el dopado de películas poliméricas con $FeCl_3$. Se observó que la concentración de Poliadriana y el tiempo de lavado con nitrometano son los factores de mayor relevancia para la obtención de las mejores condiciones de dopado en los sustratos

Se fabricaron celdas OPV con películas dopadas, observándose que el dopado realizado genera una pérdida del efecto fotovoltaico y un comportamiento tipo diodo. Lo cual sugiere que el dopado pudo ser excesivo y se requiere un estudio más profundo de la relación de dopado, para obtener mejores resultados en la aplicación como celdas OPVs.

Se realizó el estudio variando las condiciones de dopado observándose que una concentración de 16 mg/ml de $FeCl_3$ en nitrometano generó una dopado más homogéneo y una mejora en el espectro de absorción. Desafortunadamente ya no se pudieron probar como celdas.



Referencias

Salto, C., Salinas, J. F., Maldonado, J. L., Ramos-Ortiz, G., Rodríguez, M., Meneses-Nava, M. A., Barbosa-García, O., Del Oso, J.-A. and Ortiz-Gutiérrez, M. (2011). Performance of OPVs cells with the eutectic alloy Wood's metal used as cathode and P3HT:PC61BM blend as active layer. *SyntheticMetals* 161: pp. 2412–2416.

Salinas, J. F., Maldonado, J. L., Ramos-Ortiz, G., Rodríguez, M., Meneses Nava, M. A., Barbosa García, O., Santillán, R., and Farfán, N. (2011). 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* 95: pp. 595-601.

Dou, L.; You, J.; Yang, J.; Chen, C.-C.; He, Y.; Murase, S.; Moriarty, T.; Emery, K.; Li, G.; Yang, Y. *Nat. Photon.* 2012, 6, 180–185.

He, Z.; Zhong, C.; Huang, X.; Wong, W.-Y.; Wu, H.; Chen, L.; Su, S.; Cao, Y. *Adv. Mater.* 2011, 23, 4636–4643.

Green, M. A.; Emery, K.; Hishikawa, Y.; Warta, W. *Prog. Photovolt.* 2011, 19, 84–92.

Kim, J. Y.; Kim, S. H.; Lee, H.-H.; Lee, K.; Ma, W.; Gong, X.; Heeger, A. J. *Adv. Mater.* 2006, 18, 572–576.

Cho, S.; Yuen, J.; Kim, J. Y.; Lee, K.; Heeger, A. J.; Lee, S. *Appl. Phys. Lett.* 2008, 92,.

Park, S. H.; Roy, A.; Beaupré, S.; Cho, S.; Coates, N.; Moon, J. S.; Moses, D.; Leclerc, M.; Lee, K.; Heeger, A. J. *Nature Photon.* 2009, 3, 297-303.

Anexo A

Materiales para la Fabricación de celdas

El proceso de la fabricación de celdas solares orgánicas, es un proceso largo y que debe llevarse a cabo con una gran cantidad de cuidados especiales para no ver afectadas las condiciones de los compuestos así como el de los sustratos, para dicha fabricación se utilizaron los siguientes materiales:

Sustrato con ITO. El sustrato que se usa se compone de una parte de vidrio con una capa delgada de un material conductor que en este caso es Óxido de Indio Estaño (ITO), el cual sirve como ánodo en las celdas solares. Este viene en placas de 20x20cm se tiene que cortar con un buril y así tener un sustrato de menor tamaño de aproximadamente de 2x2cm

Metal de Woods. Es el material que se emplea como cátodo, es una aleación eutéctica de 50% de bismuto, 26.7% plomo, 13.3% estaño y 10% cadmio. Su punto de fusión es de 70°C, para la deposición en las celdas la temperatura a la cual se debe depositar el metal es de 90°C. Al contener plomo y cadmio lo hace dañino al ser humano por lo cual se está por implementar otro material como cátodo.



Figura A.1. Gotas de metal de Woods.

Metal de Fields. Este metal es una aleación eutéctica de 32.5% de bismuto, 51% de indio y 16.5% estaño, el punto de fusión es de 62°C y la deposición adecuada para las celdas es de 80°C. Es el material que se está tratando de implementar en las celdas ya que al no tener plomo ni cadmio lo hace menos tóxico para el ser humano. Es uno de los materiales más viables para su implementación.

Disolventes. Para poder realizar las soluciones de manera adecuada se necesitaba que los disolventes logaran mezclarse de la mejor manera con los compuestos. En este trabajo se emplearon diferentes tipos de disolventes para la preparación de mezclas. Cada disolvente tiene sus características como son: Diclorometano, Cloroformo, Diclorobenceno

Anexo B

Procesos Generales de la Fabricación de Celdas Solares

Para la fabricación de las celdas solares se requieren de ciertos procesos como son: la limpieza de los sustratos, la preparación de las disoluciones o soluciones, deposición del PEDOT:PSS, la deposición de las películas activas, la colocación de las máscaras y la colocación del cátodo

Limpieza del sustrato

Se coloca en un recipiente especial de muestras que tiene ciertas separaciones (para que no estén pegados), se llena de agua destilada hasta el punto que alcance a sumergir todos los sustratos que contenga para que después se le vierta jabón y se meta a un dispositivo llamado "ultrasonic cleaner" durante 15 minutos

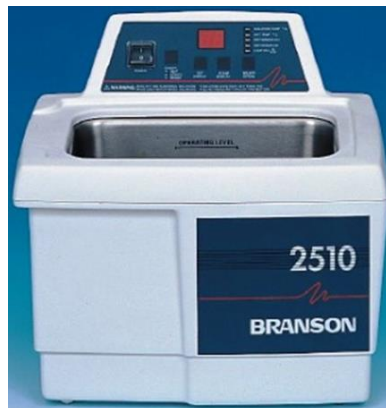


Figura B.2. Muestra del "ultrasonic cleaner"

Pasados los 15 minutos, se retira el recipiente del limpiador ultrasónico y se tira el agua destilada con jabón. Se vierte únicamente agua destilada hasta sumergir todos los sustratos y se vuelve a colocar en el baño ultrasónico (ultrasonic cleaner) durante 15 minutos

Al transcurrir los 15 minutos, se saca y se le tira el agua destilada. Se le vierte Etanol y se coloca nuevamente en el baño ultrasónico durante 20 minutos. Al finalizar los 20 minutos, se retira el recipiente, se tira el Etanol en un frasco de residuos especiales, para después proceder a llenarlo nuevamente de agua destilada y volver a colocarlo en el baño ultrasónico durante 15 minutos

Transcurridos los 15 minutos se saca y se tira el agua destilada. Se le vierte acetona y se introduce al baño ultrasónico durante 20 minutos. Pasados los 20 minutos se retira el recipiente y se le tira la acetona en otro recipiente de residuos especiales, para que después se vierta agua destilada y enseguida meterlo por última vez al baño ultrasónico durante 10 minutos

Una vez pasado los 10 minutos, se saca del baño ultrasónico, se tira la acetona y se retira cada sustrato para proceder a secar los sustratos con aire comprimido o nitrógeno según se requiera, uno a la vez. Al terminar de secarlos con aire comprimido o nitrógeno se colocan en un horno a una temperatura de 110° durante 20 minutos, a este último paso se le conoce como “tratamiento térmico”

Una vez limpios y secos los sustratos, se tapan con aluminio, por lo general se suelen utilizar cajas “petri” (cajas de vidrio de forma circular) o formar figuras con el aluminio de manera que no toquen la parte del ITO ya limpia, se colocan en una bolsa ziploc para que este aislado de polvo o alguna partícula que pueda ensuciar el sustrato

Preparación de soluciones.

Para la preparación de las disoluciones se requiere de un extremo cuidado ya que si se contamina con alguna partícula puede afectar la disolución bajando el rendimiento de la celda o simplemente evitar que se mezcle el polímero y el fullereno. Para la realización de las soluciones se sigue el siguiente procedimiento

El proceso comienza pesando la cantidad de fullereno en un balanza. a) La balanza se enciende y se calibra a 0 gramos. b) Colocamos un pedazo de papel especial para pesar, esperamos a que determine el valor de este y volvemos a calibrarla a 0 gramos c) Depositamos la cantidad de fullereno que necesitamos, hasta que la balanza nos indique el valor adecuado



Figura B.2 Muestra cómo se debe pesar en la balanza

Una vez pesado el fullereno se vierte en un vial limpio y seco. Después se le vierte el disolvente con el que se va a trabajar previamente ya cuantificado, cabe señalar que cada disolvente funciona de manera distinta, puede variar su punto de ebullición así como su solubilidad en él. Enseguida se prosigue a llevar al ultrasónico por un tiempo de 10 minutos

Ya pasados los 10 minutos, se retira el vial y se pesa el polímero en su correspondiente proporción, con los mismos pasos con los que se peso el fullereno. Una vez pesado se vierte en el vial donde se tiene el fullereno ya disuelto. A continuación se le coloca una “balita” que funciona como un agitador y se tapa el vial.

Enseguida se le coloca “parafilm” alrededor de la tapa (esto sirve para que no se evapore dicha solución). Después se le coloca papel aluminio alrededor del vial para que no le dé luz, ya que esto podría afectar la reacción. Cabe mencionar que los reactivos son fotosensibles y se descomponen al contacto con la luz.



Figura B.3. Viales donde se realiza la solución

Una vez envuelto el vial se coloca en una parrilla donde la “balita” tiene como función ayudar a que se disuelva de mejor manera debido a que es un agitador magnético. Buscando que quede lo mejor disuelto posible varía el tiempo que permanezca en la parrilla. En algunos casos como el P3HT se requiere de toda una noche para que se disuelva por completo.



Figura B.4. Parrillas donde se colocan las soluciones

Deposición del PEDOT:PSS.

Para la deposición del PEDOT:PSS, se tiene que:

Primeramente se tiene que filtrar con una pipeta Pasteur con algodón para evitar los grumos y obtener así una película uniforme. a) Se coloca algodón en una pipeta. b) Se saca el PEDOT:PSS con una pipeta limpia. c) Se le vierte el PEDOT:PSS sobre la pipeta con algodón de modo que caiga en un vial limpio, hasta filtrar todo el PEDOT:PSS, este proceso se tiene que repetir en 4 ocasiones



Figura B.5. Muestra cómo se filtra el PEDOT:PSS

Ya filtrado el PEDOT:PSS se coloca el sustrato en el spinn coater el cual debe ser calibrado a 5000 revoluciones por minuto durante un minuto previamente con un sustrato de prueba, después se deposita el PEDOT:PSS y se deja a 5000 revoluciones por minuto

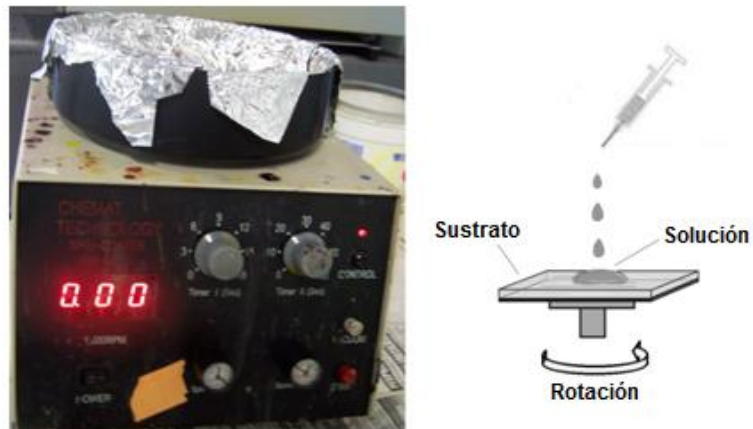


Figura B.6. Muestra imagen del Spin coating

Se llevan los sustratos con ITO y la capa de PEDOT:PSS al horno durante 25 minutos a una temperatura de 80° (para que la humedad que tenga se evapore y no interaccione a la hora de depositar la película activa). Con esto, se evita que la película se pueda escurrir o verse afectada

Deposición de la película activa.

Una vez que el sustrato con ITO tiene la capa de PEDOT:PSS se le deposita la película activa. Esta película se deposita con ayuda del spinn coater, para la deposición de las películas depende del disolvente que se tenga se varia la velocidad y el tiempo que se tiene que poner.

El paso anterior puede verse afectado por el grosor que se quiera. Por ejemplo para el cloroformo (CHCl_3), se deposita a 1200 revoluciones por minuto durante 30 segundos. Una vez depositada la película se coloca en el horno por un tiempo de 20 minutos (en este caso para el CHCl_3). en otros casos puede aumentar o disminuir la temperatura o el tiempo según sea lo necesario.

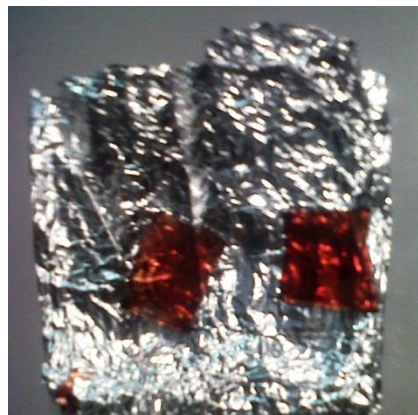


Figura B.7. Ejemplo de películas activas para celdas OPVs.

Colocación de mascarar

Cuando se tiene el sustrato con la película activa depositada, se da paso a la colocación de la máscara, esta máscara se hace de cinta SCOTCH, se delimita el área de la celda de aproximadamente 0.04cm^2 , en un sustrato de 2cm por 2cm se llegan a hacer en promedio 12 celdas.

El hecho de hacer tantas celdas sobre el mismo sustrato es porque en todo el sustrato no se tiene la misma homogeneidad y por lo mismo se tienen diferentes resultados además de aprovechar el material ya que antes se hacía una celda por sustrato y era un desperdicio de película activa. Un ejemplo de la máscara se ve en la ilustración #8

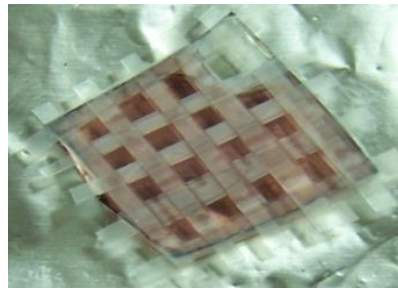


Figura B.8. Mascara para celdas OPVs

Deposición del cátodo

Ya con la máscara lista se procede a colocar el cátodo después se procede a poner la parrilla a la temperatura deseada (la cual sea la suficiente para fundir el metal pero sin dañar la película de los sustratos) la temperatura determinada dependiendo del cátodo que se va a colocar si es Woods se calienta a 90°C , si es Fields se calienta a 85°C .

Sobre un vidrio se coloca el metal a depositar y se espera a que se funda, una vez fundido se pone el sustrato en la parrilla para que se le deje caer el metal después se vierte el metal y se distribuye por todo el sustrato con máscara ayudándose de una espátula para que se formen las celdas, cabe mencionar que debe ser sin tocar la película con esta, ya que puede rayarla y provocar un corto en esa celda,



Figura B.9. Muestra la deposición del cátodo

Después de que el metal esta esparcido en todo el sustrato se retiran las cintas que tienen entre celda y celda, para que solo quede metal en las partes donde hace contacto con la película. Terminando de retirar las cintas se deja enfriar, se aíslan de la luz y del oxígeno en una bolsa Ziploc con nitrógeno para evitar que se degraden.

Procesos Adicionales

Los procesos adicionales que se realizaron, constan de mediciones de diferentes tipo y bajo diferentes condiciones así como también se hicieron procesos para poder tener alteraciones en las celdas que se le realizaron para la obtención de los resultados

Proceso de dopado. Este proceso se llevó a cabo después de depositar la película activa y se realizó para modificar las características de un politefeno llamado Poliadriana así como también el de un polímero comercial de alta eficiencia P₃HT

Se realiza una solución de cloruro férrico utilizando como disolvente el nitrometano, la concentración de esta puede variar según lo que se busque o la prueba que se vaya a realizar con el dopado (para estos casos se hicieron a 10 mg/ml 16 mg/ml y 32 mg/ml)



Figura C.10. Muestra la solución de cloruro férrico con nitrometano

Una vez lista la solución, se sumergen los sustratos completamente por un corto tiempo, que suele ser menor a 1 minutos (se debe notar un cambio en la coloración de la película como se muestra en las siguientes ilustraciones antes y después de haber sido dopadas)



Figura C.2. Sustratos antes de dopar

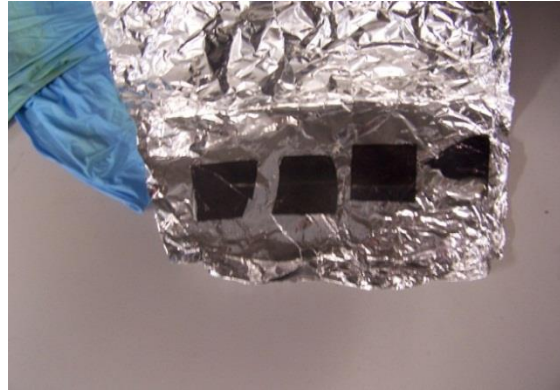


Figura C.3. Sustratos después de dopar

Una vez dopado, se le da un lavado por un tiempo menor (menos de 10 segundos), esto con el fin de quitarle el exceso de Cloruro Férrico, siendo de vital importancia no exceder el tiempo debido a que si se supera dicho tiempo, se corre el riesgo de que se lleve la película y quede solamente el sustrato

Se procede a colocarlos de manera vertical para que escurran los sustratos, esto suele ser durante 1 a 3 minutos. Una vez que ya se escurrieron se procede a darle tratamiento térmico, con el fin de que se evapore el solvente en caso de que haya quedado

Caracterización de celdas

Para la caracterización se llevó de dos maneras en radiación solar y bajo condiciones de iluminación estándar, esta última se realizaba en el laboratorio de espectroscopia por medio de una lámpara especial la cual simula la potencia que arroja el sol, cabe mencionar que había que calibrarla para cada medición

Radiación solar. La caracterización bajo luz solar es uno de los parámetros más importantes ya que las celdas solares estarán bajo este toda su vida útil. Para esta caracterización se lleva la celda al sol en la hora en la cual el sol está en el punto más alto, esto varía dependiendo el lugar en donde estén y la zona horaria

La medición se llevó acabo con la ayuda de un multímetro se miden 2 parámetros importantes como son el voltaje circuito abierto (V_{oc}) y la corriente en corto circuito (I_{sc}), como se ve en la Ilustración #11. Una vez tenido esos parámetros se mide el área de las celdas para obtener otro factor que es la densidad de corriente eléctrica (J_{sc}) sus unidades son mA/cm^2 .

Habiendo obtenido los parámetros electricos por medio de la medición bajo el sol se seleccionan las mejores celdas que funcionaron esto se hace tomando la celda que tiene mayor voltaje y corriente, para poder caracterizarla bajo condiciones de iluminación estándar.



Figura C.4. Caracterización de una celda OPV bajo luz solar.

Condición estándar de iluminación. Para la caracterización con iluminación estándar se necesita de una lámpara de xenón y un arreglo de lentes y postes para medir las celdas (ver figura C.5.). Estos instrumentos se encuentran en el laboratorio de espectroscopia.

Para iniciar con la caracterización, primeramente se prende la lámpara y se deja por 20 minutos para que se estabilice, con ayuda de un programa llamado Labview se ejecuta un archivo ya programado, se introducen los parámetros correspondientes como: una corriente de protección de 0.001A, un inicio de barrido de -1V, un final de barrido de 1V y 100 puntos de barrido.

Después de poner los parámetros se coloca la celda enfrente de la lámpara y se ejecuta el programa en conjunto con una fuente externa para obtener la curva característica de la celda solar (curva I-V). Teniendo la curva característica se lleva a un programa llamado "Origin Pro 8" se grafican esas curvas y se calculan los parámetros de J_{sc} (densidad de corriente mA/cm²) y P_{max} (Potencia máxima).

La J_{sc} nos sirve para obtener las curvas J-V que son las que describen el comportamiento de una celda con esos parámetros calculamos la P_{max} que nos va a servir para calcular nuestro factor de llenado Fill factor (FF) (ver figura C.6.). La P_{max} es donde el producto de $V \cdot J$ obtenido en esa celda alcance su valor máximo.

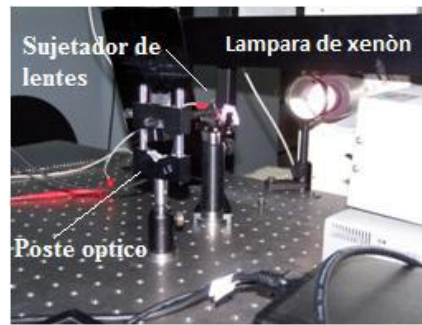


Figura C.5. Arreglo óptico para caracterización bajo iluminación estándar.

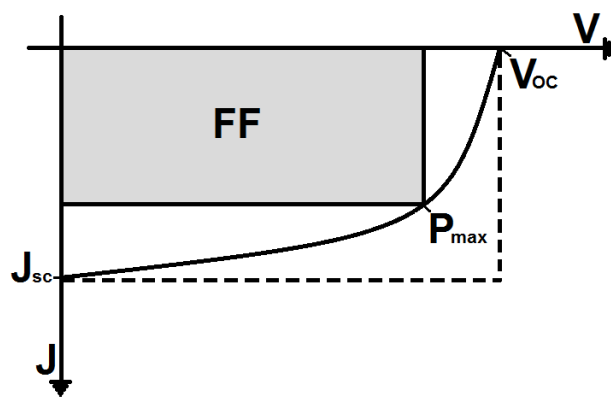


Figura C.6. Curva característica J-V

Para calcular el FF y la eficiencia de nuestra celda se emplean las siguientes formulas:

$$FF = \frac{P_{max}}{V_{oc}J_{sc}} = \frac{V_{max}J_{max}}{V_{oc}J_{sc}} \quad C.1.$$

$$\eta = FF = \frac{V_{oc}J_{sc}}{P_{in}} \quad C.2.$$

Dónde:

FF es el factor de llenado

V_{oc} es el voltaje de circuito abierto

J_{sc} es la densidad de corriente

P_{max} es donde el producto de $V \cdot J$ es el máximo

η es la eficiencia y se da en porcentaje

La P_{in} es la potencia de la lámpara de xenón y se fija en $100\text{mw}/\text{cm}^2$

Con estos parámetros se calcula la eficiencia de conversión. A nivel mundial se ha registrado una eficiencia del 10% en una celda no mayor a 0.01cm^2 .

Análisis de topografía de las películas activas.

Este proceso se lleva a cabo con ayuda del microscopio de fuerza atómica (AFM) (ver Figura C.7.), con este microscopio se analizan las películas activas, se analiza la topografía, esto se refiere a ver qué tan homogénea quedo la película si se hubo una buena interacción del fullereno con el polímero, si se contaminó de alguna partícula, etc.

Además con el AFM se analiza el espesor de las celdas que es uno de los parámetros más importante de las celdas ya que para que las celdas solares orgánicas funcionen correctamente deben tener un espesor de entre 100 y 150 micras de espesor.



Figura C.7. Microscopio de Fuerza Atomica (AFM)

Anexo D

Diseño del arreglo optoelectrónico con celdas solares.

Para diseñar el arreglo de celdas primero se toman las celdas que obtuvieron buenos voltajes y corrientes y se conectan en serie y paralelo para obtener un voltaje total que sea capaz de encender un diodo LED o un pequeño motor eléctrico.

Una vez que se haya conectado las celdas se aíslan del oxígeno que es el principal enemigo debido a que este hace que las celdas se degraden aceleradamente. Teniendo este arreglo se llevan al sol y se analiza el voltaje y la corriente total que da.

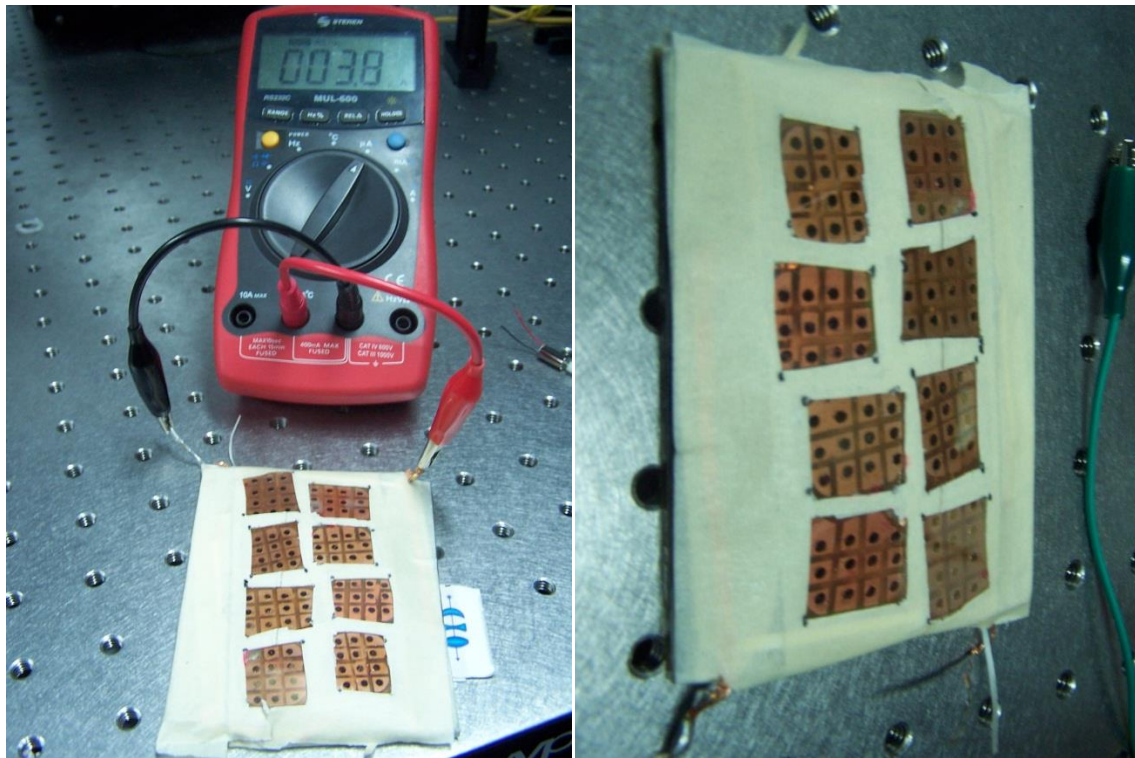


Figura D.1. Muestra Arreglo de celdas solares orgánicas.