

Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez

Nombre del proyecto: Fuente de corriente para la caracterización de celdas solares mediante inducción de corriente por un haz de luz

Residente: Julio Adrian Aguilar Hernández.

Asesor: Ing. M. en C. Joaquín Eduardo Domínguez Zenteno

Carrera: Ingeniería Electrónica

Período de realización: Agosto-Diciembre 2017

## Contenido

CAPITULO I.....	3
1.1 Introducción .....	3
1.2 Problemática.....	4
1.3 Justificación .....	5
1.4 Objetivos .....	5
General.....	5
Específicos .....	5
1.5 Alcances y limitaciones.....	5
CAPITULO II .....	6
2.1.1 Antecedentes .....	6
2.1.2 Organigrama.....	7
2.1.3 Misión y Visión .....	7
Misión: .....	7
Visión:.....	8
2.1.4 Descripción Del Área Donde Se Realizó El Proyecto.....	8
2.1.4.1 Descripción del laboratorio de Espectroscopia. ....	9
Instrumentación: .....	10
CAPITULO III .....	11
3.1 Fundamento Teórico .....	11
3.1.1 Conceptos Básicos.....	11
CAPITULO IV.....	27
4.1 Procedimientos Y Descripción De Las Actividades Realizadas.....	27
CAPITULO V .....	39
5.1 Resultados .....	39
5.2 Conclusiones y recomendaciones .....	39
Conclusión .....	45

## CAPITULO I

### 1.1 Introducción

En la actualidad el uso de energía eléctrica es indispensable para una vida de calidad, pero el medio para obtener dicha energía ha deteriorado el medio ambiente, se han investigado la implementación de fuentes de energías renovables y limpias haya aumentado. La energía solar basada en el efecto fotovoltaico es una alternativa que ha tomado cada vez más fuerza en las últimas décadas. Desde sus inicios se ha caracterizado por el uso de materiales inorgánicos principalmente el Silicio, sin embargo, una alternativa factible es el uso de polímeros para la producción de energía eléctrica utilizando luz solar ya que es una energía limpia y renovable es una herramienta que promueve el cuidado del medio ambiente ya que es inagotable y no contaminante, de esta idea se crearon las celdas solares para poder recibir la luz del sol y convertirla en energía eléctrica.

La caracterización de celdas solares y otras tecnologías emergentes basadas en semiconductores orgánicos es de suma importancia, tanto para el área comercial como para el área de investigación, y tiene como finalidad determinar su desempeño. La técnica LBIC, consiste en excitar con un haz luz pequeñas áreas de una celda solar para producir su correspondiente corriente eléctrica o voltaje (efecto fotovoltaico). Con las corrientes o voltajes obtenidos por cada área, es generado un mapa de corrientes/voltajes del área total de la celda solar, con él se puede hacer un análisis cualitativo a nivel macroscópico de las celdas.

Empleando la técnica LBIC, con un led a diferentes intensidades, se obtuvieron distintos mapas de voltajes de celdas solares orgánicas, con los que se pudo determinar algunos defectos que a simple vista eran imperceptibles, o bien difíciles de definir. También con esta técnica espectroscópica se pudo determinar la degradación de una celda solar orgánica, mediante la disminución de la intensidad en los mapas de voltaje generados en diferentes días después de la elaboración de la misma. Con las pruebas realizadas se pudo concluir que el uso de láser sobre la celda orgánica no le causa daño alguno, por lo que esta prueba es no destructiva. En realidad, la degradación de las celdas se debe principalmente a efectos de oxidación, de humedad y otros mecanismos, por lo que se debe de buscar la manera de encapsularlas para incrementar el tiempo de vida.

## 1.2 Problemática

Estudios realizados en los últimos años demuestran que los gases emitidos por los combustibles fósiles son causantes de un efecto invernadero y causantes principales del calentamiento global.

En México, el 67.3% del CO<sub>2</sub> emitido proviene de la generación de energía eléctrica posicionándolo como el país latino americano que emite más gases de efecto invernadero [1].

en la actualidad las celdas solares orgánicas son una opción para la obtención de energía renovable y pura, de igual manera procura darle un impacto muy bajo al medio ambiente, al ser una fuente principal para la obtención de electricidad se están en constante mejora y calidad en su elaboración.

Las celdas hechas a partir de materiales orgánicos, son las que han llamado la atención de la comunidad científica, ya que, al contrario de las celdas solares inorgánicas, no es necesario el empleo de equipos costosos para su manufacturación. Por otro lado, gracias a sus propiedades ópticas y eléctricas, es posible hacer celdas solares delgadas y flexibles, ofreciendo nuevas oportunidades de aplicaciones tecnológicas. Por dichas razones, las celdas solares orgánicas prometen ser la mejor opción para lograr reducir aún más los costos de manufacturación y ampliar sus aplicaciones.

La caracterización de celdas solares y otras tecnologías emergentes basadas en semiconductores orgánicos es de suma importancia, tanto para el área comercial como para el área de investigación, y tiene como finalidad determinar su desempeño. El empleo de distintas técnicas para su caracterización, completa su análisis y brinda la oportunidad de estudiarlas de manera rápida y confiable, sin necesidad de medir su eficiencia.

Aquí la técnica de Corriente Inducida por Haz de Luz (LBIC, por sus siglas en inglés), es implementada como un método complementario para el análisis, caracterización y como una prueba no destructiva y rápida para el monitoreo del tiempo de degradación de celdas solares orgánicas.

La desventaja es que no existen maneras efectivas de poder medir la calidad y la correcta elaboración de la celda solar orgánica hecha en las celdas empleadas son producidas en el Grupo de Propiedades Ópticas de la Materia (GPOM) en donde recientemente se han logrado fabricar celdas orgánicas con eficiencias superior al 6 %. Cabe resaltar que la técnica LBIC, no se limita a este tipo de celdas solares, ya que ha sido ampliamente usada en celdas solares inorgánicas, debido a que la técnica fue diseñada para la caracterización de semiconductores.

## 1.3 Justificación

En el presente trabajo se realiza el diseño y elaboración de una fuente de corriente para variar la intensidad de la fuente de luz, para implementación de la técnica de Inducción de corriente con haz Láser (LBIC) para la caracterización de celdas solares orgánicas, como una herramienta adicional para la evaluación y análisis de manera rápida y confiable. Con la técnica LBIC se obtendrán mapas de voltajes con los que se analizará el área activa de la celda solar de forma local.

## 1.4 Objetivos

### General

- Fuente de corriente para la caracterización de celdas solares mediante inducción de corriente por un haz de luz

### Específicos

- Diseñar y elaborar una fuente de corriente para controlar la luminosidad de la fuente de luz.
- Diseñar una fuente de voltaje para inducir voltaje a la celda.
- Diseñar una interfaz para el control de la tarjeta DAQ para la adquisición de datos que sea de fácil entendimiento y uso.
- Implementar la DAQ en conjunto los circuitos para el monitoreo de la celda.

## 1.5 Alcances y limitaciones

La principal limitación que se presentó fue en la recolección de los datos ya que se usaron comandos para determinar entradas y salidas de la DAQ las cuales tienen propiedades de los comandos de programación que hacían entrar en conflicto uno de otro, además, otro punto a remarcar fue que la velocidad de adquisición de datos era delimitada por el modelo de la tarjeta DAQ.

Un punto importante también es que el área a escanear de la celda era delimitada por movimiento de los motores ya que no tenían un movimiento de desplazamiento reducido.

Debido a estas limitaciones se decidió reducir el área a escanear y poder lograr una adquisición de datos más precisas y un tiempo de escaneo estimado en minutos de esta manera tener una imagen del escaneo con más definición.

## CAPITULO II

### 2.1.1 Antecedentes

Acorde con el objetivo que el CONACYT estableció desde sus inicios, de fomentar una cultura competitiva basada en el desarrollo científico y tecnológico, enmarcando sus acciones en las políticas y objetivos del Plan Indicativo de Ciencia y Tecnología 1976-1982, el Consejo tuteló la fundación del Centro de Investigaciones en Óptica, Asociación Civil, (CIO), en la ciudad de León Gto. Dicho proceso de creación tuvo su inicio legal el 18 de Abril de 1980, en un acto protocolario en el que se levantó el acta constitutiva de la nueva institución, donde aparecen como firmantes quienes en la época eran autoridad en niveles de gobierno y dependencias oficiales: el Dr. Edmundo Flores, Director General del CONACYT, el Dr. Guillermo Soberón Acevedo, Rector de la UNAM, el Lic. Enrique Velasco Ibarra, Gobernador Constitucional del Estado de Guanajuato y el Lic. Harold Gabriel Appetl, Presidente del Ayuntamiento Constitucional de la Ciudad de León Gto.

La firma del acta constitutiva fue el corolario de múltiples afanes, retos, trabajo y logros previos que fueron encabezados por Dr. Daniel Malacara Hernández, primer científico mexicano en obtener un Doctorado en Óptica en la Universidad de Rochester en 1965, y actual Investigador Emérito del S.N.I., quien es referencia obligada en el desarrollo de la Óptica en todo el mundo. Es esa época y desde diversos encargos y puestos científicos y académicos tanto en la UNAM (en la Facultad de Ciencias primero y más adelante en el Instituto de Astronomía) y después en el INAOE (en donde colaboró en el proyecto para fundarlo a partir del antiguo Observatorio Astrofísico de Tonantzintla), trabajó convencido de la necesidad impostergable de crear en México una institución científica del más alto nivel dedicada en exclusiva al desarrollo de la Óptica, rama del conocimiento que tal como fue previsto por él mismo, es actualmente pieza fundamental y base estratégica de importantes y valiosos desarrollos en ciencia y tecnología.

En el esfuerzo por llevar a la realidad lo que entonces era una idea visionaria participaron desde múltiples frentes, personalidades que son ampliamente reconocidos por su trabajo académico, como el Dr. Arcadio Poveda Ricalde, quien impulsó primero la vocación científica del entonces joven estudiante Malacara, como su profesor en varios cursos en la UNAM y lo incorporó después al Instituto de Astronomía, siendo además su tutor de tesis de la licenciatura en física y alentando

y apoyando sus posteriores pasos en el INAOE y en la fundación del CIO. Igualmente recibió apoyo en muchas etapas de su desarrollo profesional de parte del Dr. Guillermo Haro Barraza quien en su momento lo incluyó en el ya mencionado proyecto de transformación del Observatorio Astrofísico en Instituto Nacional y más adelante lo alentó en la constitución del CIO. Similar importancia tuvieron además los titulares de los niveles de gobierno estatal y municipal que ocupaban los cargos en el periodo previo al de quienes firmaron el acta constitutiva, pues fueron los primeros los que acogieron la idea, alentaron el impulso y otorgaron las facilidades necesarias, nunca sencillas ni desdeñables, para que la fundación del CIO llegara a buen término en el estado de Guanajuato y en la ciudad de León más concretamente, en un escenario que tuvo como ingredientes adicionales la oferta y competencia de otros estados de la república para recibir al CIO, en el marco de descentralización impulsada fuertemente en ese momento por el gobierno federal. Esas personas que con sus decisiones y apoyo concretaron el destino del Centro fueron el Lic. Luis H. Ducoing Gamba como titular del gobierno del estado y el C. Roberto Plascencia Saldaña como máxima autoridad del Consejo Municipal que regía a la ciudad de León en la época en que el CIO se gestaba.

### 2.1.2 Organigrama



**Dr. Elder De La Rosa Cruz**

Dirección General



**Dr. Luis Armando Díaz T.**

Dirección de Formación Académica



**Dr. Gabriel Ramos Ortíz**

Dirección de Investigación



**Dr. Gonzálo Páez Padilla**

Dirección de Tecnología e Innovación



**Lic. Silvia E. Mendoza Camarena**

Dirección Administrativa

### 2.1.3 Misión y Visión

#### Misión:

El Centro de Investigaciones en Óptica, A.C. es un centro público cuyo propósito es

desarrollar investigación básica y aplicada en el campo de la óptica y fotónica, que contribuya a los esfuerzos de la comunidad científica para impulsar las fronteras del conocimiento y su aplicación en el sector productivo y social del país, además de la formación de recursos humanos de alto nivel, el desarrollo y la transferencia de tecnología, y la contribución de una cultura científica y tecnológica en la sociedad mexicana.

De acuerdo a nuestra misión, son objetivos estratégicos del CIO:

Contribuir al conocimiento científico, a través de la investigación teórica y experimental en óptica y disciplinas afines, fortalecer la capacidad científica y tecnológica del país, a través de programas de especialidad y posgrados de calidad internacional, contribuir al crecimiento tecnológico del país, a través del desarrollo y la transferencia de tecnología, y coadyuvar al desarrollo de una cultura científica y tecnológica en la sociedad mexicana, a través de la divulgación y difusión del conocimiento científico.

#### Visión:

Ser un Centro de investigación de excelencia, con liderazgo nacional y reconocimiento internacional creciente en el campo de la óptica y fotónica, ocupando un lugar central en el desarrollo de la ciencia y la tecnología de nuestro país.

#### 2.1.4 Descripción Del Área Donde Se Realizó El Proyecto

El laboratorio de espectroscopia forma parte del GPOM que es el Grupo de Propiedades Ópticas de la Materia (GPOM) del Centro de Investigaciones en Óptica, CIO.

Este grupo de investigación 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.

Fue fundado por el Dr. Oracio Barbosa García en 1998 e inicialmente eran un total de tres investigadores, dos de ellos jóvenes académicos recientemente graduados, uno graduado en el país y otro en el extranjero; no se contaba con laboratorios. Para el año 2000 se integran otros dos jóvenes investigadores nacionales y en el 2001 un investigador de la India como posdoctoral. En ese año se logra apoyo económico institucional y de CONACyT; con el primer apoyo se obtienen espacios para los laboratorios de Espectroscopia y de Materiales y, con el segundo, se adquiere equipo inicial para ambos laboratorios. El proyecto de CONACyT fue de Grupo y en su tiempo fue el de mayor monto económico (\$ 3 800,000 M.N.) otorgado al centro



siendo el responsable el Dr. Barbosa. El título de este proyecto era “Estudio de los procesos microscópicos que afectan el desempeño de materiales láser y no-lineales, su caracterización óptica y síntesis”.

En el periodo 2002-2015 se integraron nuevos investigadores, aunque algunos otros se han separado.

Desde su fundación se han logrado proyectos con un monto superior a 35 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, el grupo ha enfocado esfuerzos sobre el problema energético y prueba de ello ha sido el haber logrado el apoyo de dos proyectos importantes; uno en el año 2011 mediante 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. y otro en el año 2013 por 3 400 000 M.N. mediante las convocatorias de la Secretaría de Energía y el CONACyT; en ambos proyectos el investigador responsable es el Dr. Maldonado Rivera. Estos dos proyectos en particular han sido motivadores para extender el ámbito de trabajo a dispositivos optoelectrónicos con materiales orgánicos.

Cada uno de sus miembros participa en los problemas y proyectos de investigación, compartiendo equipo y generando un buen clima laboral con posdoctorales y estudiantes. Actualmente el GPOM está constituido por 3 investigadores titulares, 1 ingeniero titular, 1 ingeniero asociado, 1 técnico de laboratorio, 5 postdoctorales y alrededor de 20 estudiantes de licenciatura, maestría y doctorado.

#### 2.1.4.1 Descripción del laboratorio de Espectroscopia.

Áreas de investigación:

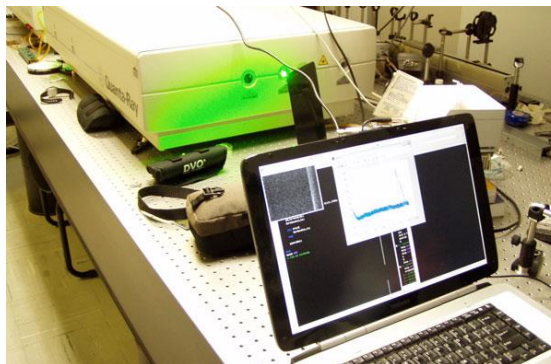
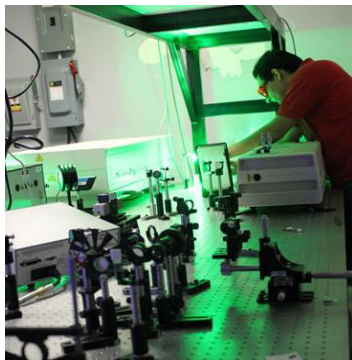
- 1) Espectroscopia Óptica para la caracterización de materiales y la identificación de sustancias en diversas matrices, tanto de interés de investigación como a nivel industrial (bebidas alcohólicas, alimentos, medicamentos, etc.)
- 2) Desarrollo y caracterización de materiales fotónicos inorgánicos y orgánicos ( $\pi$  conjugados) para aplicaciones en opto-electrónica y fotónica.

Equipo principal:

LASERES: Sistemas sintonizable OPO (pulsado 10ns, 410 nm-2000 nm), Nd:YAG (pulsado 10ns, 1064 nm, 532 nm & 352nm), Nd:YVO Laser (CW, 5W, 532nm), Ti: Sapphire (CW, 500mW, 790nm-1100 nm), Ti: Sapphire (Ultra-rápido fs).

### Instrumentación:

Espectrofotómetro UV-VIS-NIR, Espectrómetros (500 mm distancia focal, UV-VIS-NIR), Microscopio de Fuerza Atómica, Osciloscopio (500 MHz, 2 Canales), Amplificador lock-in, Contador de fotones, cámara CCD intensificada y varios detectores.



## CAPITULO III

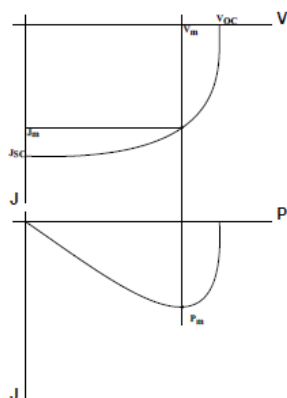
### 3.1 Fundamento Teórico

#### 3.1.1 Conceptos Básicos

##### Caracterización de celdas solares

Debido a que las celdas solares inorgánicas y las orgánicas tienen un funcionamiento similar, se caracterizan de la misma manera. La forma en que una celda solar es caracterizada es mediante la curva  $J - V$  (densidad de corriente & voltaje), Fig. 2.3, de donde se determinan los siguientes parámetros:

1. Densidad de corriente de corto circuito  $J_{SC}$ .
2. Voltaje de circuito abierto  $V_{OC}$ .
3. Densidad de potencia  $P_m$ .
4. Factor de llenado  $FF$ .
5. Eficiencia de conversión de potencia \_ .



**Figura 2.3.:** Curva densidad de corriente contra voltaje y densidad de corriente contra

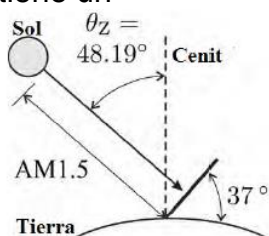
potencia, en ellas se pueden identificar los parámetros necesarios para determinar la eficiencia de una celda solar.  $J_m$ ,  $V_m$  y  $P_m$  son los valores de densidad de corriente máxima, voltaje máximo y potencia máxima, respectivamente.

La curva  $J - V$  se debe de adquirir en condiciones estándar, ya que se ha observado que el espectro de la radiación solar en la superficie de la tierra es influenciado por factores tales como: variación de la temperatura sobre el disco solar, la atmósfera, la reflexión sobre la superficie de la tierra, etc. La Sociedad Estadounidense de pruebas y materiales (ASTM, por sus siglas en inglés) ha establecido que la distribución espectral estándar solar para medir el desempeño de una celda es la AM1.5, también conocida como global o estándar total.

La AM1.5 está definida para celdas solares que se encuentran inclinadas a  $37^\circ$  con respecto a la superficie en donde se encuentran. Las iniciales AM son las siglas en inglés de masa de aire, que es la masa de aire que hay entre la superficie de la celda y el sol, la cual afecta a la distribución espectral y la intensidad de la luz solar. El número AMx, indica la longitud del camino óptico de los rayos solares a través de la atmósfera, la cual está definida como

$$x = \frac{1}{\cos \theta_z},$$

donde  $\theta_z$  es el ángulo del sol con respecto al cenit, Fig. 2.4. Para  $x$  grandes se tiene un



**Figura 2.4.:** Forma estándar de medir el desempeño de celdas solares.

Camino óptico grande dando lugar a una mayor desviación y absorción de la luz solar.

En el caso de la AM1.5 el ángulo con respecto al cenit es  $\theta_z = 48.19^\circ$ . Por otro lado, la irradiación del sol sobre la tierra tiene que ser tomada en cuenta, en la superficie de la tierra la irradiación solar es aproximadamente de  $1\text{ kW/m}^2$ . Tomando en cuenta los factores anteriores, el desempeño de una celda solar es medido a una irradiación de  $1000\text{ W/m}^2$  con una distribución espectral de AM1.5 a una temperatura de  $25^\circ\text{C}$ , los cuales son considerados como las condiciones estándar o ideales de laboratorio.

## Densidad de corriente de corto circuito $J_{SC}$

La corriente generada por la celda solar, se le conoce como la corriente de corto circuito  $J_{SC}$ . Debido a que la corriente es proporcional al área iluminada, la cantidad que se emplea para caracterizar la celda solar es la densidad de corriente  $J$ , definida como

$$J_{SC} = \frac{I_{SC}}{A},$$

donde  $A$  es el área sensible de la celda solar.  $J_{SC}$  se puede relacionar con el espectro incidente mediante la eficiencia cuántica ( $QE$ ) con la ecuación

$$J_{SC} = q \int b_s(E) QE(E) dE,$$

donde  $QE(E)$  es la probabilidad que un fotón incidente de energía  $E$  puede entregar un electrón al circuito externo,  $b_s(E)$  es el flujo de fotones incidente, que es el número de fotones en el rango de  $E$  a  $E + dE$  que inciden por unidad de área en unidad de tiempo y  $q$  es la carga del electrón.

**Voltaje de circuito abierto  $V_{OC}$**

Cuando una carga es conectada a una celda solar, un diferencial de potencial (voltaje) es generado en las terminales de la celda, que a su vez genera una corriente en dirección opuesta a la foto corriente, denominada corriente oscura debido a que su comportamiento es muy parecido al de la corriente que pasa por un diodo cuando se le aplica un voltaje  $V$ . El comportamiento de un diodo ideal, en términos de densidad de corriente, puede ser descrito como

$$J_{oscura}(V) = J_0 \left( e^{qV/k_B T} - 1 \right)$$

donde  $J_0$  es una constante y se define como la densidad de corriente de saturación inversa,  $k_B$  es la constante de Boltzmann y  $T$  es la temperatura en grados kelvin. Tomando en cuenta que estos dos fenómenos se presentan en la celda solar al mismo tiempo (la foto corriente y la corriente oscura), la corriente entregada por la celda viene dada de la siguiente manera

$$J(V) = J_{oscura}(V) - J_{SC},$$

que al emplear la Ec. 2.4 se llega a

$$J(V) = J_0 \left( e^{qV/k_B T} - 1 \right) - J_{SC}.$$

Cuando las terminales están totalmente aisladas, es decir, como si fuera una resistencia de carga infinita, el voltaje alcanza su máximo valor, conocido como voltaje de circuito abierto  $V_{OC}$ . Esto sucede cuando la densidad de corriente entregada por la celda es igual a cero, por lo tanto de la Ec. 2.6 se obtiene

$$V_{OC} = \frac{k_B T}{q} \ln \left( \frac{J_{SC}}{J_0} + 1 \right).$$

**Densidad de potencia  $P$**

Una celda solar entrega potencia para realizar un trabajo entre 0 a  $V_{OC}$ , al que se le denomina régimen de operación de una celda solar. La densidad de potencia de una celda solar se calcula con

$$P = JV.$$

Al graficar la densidad de potencia contra el voltaje, Fig. 2.3, se puede encontrar la densidad de potencia máxima  $P_m$

$$P_m = J_m V_m$$

donde  $J_m$  es la densidad de corriente máxima y  $V_m$  el voltaje máximo en el que la celda solar tiene su máxima potencia de operación.

### Factor de llenado $FF$ y eficiencia $\eta$

Una vez definidos la  $J_{SC}$ ,  $V_{OC}$  y  $P_m$  es posible calcular el factor de llenado  $FF$  y la eficiencia  $\eta$ .  $FF$  es definido como

$$FF = \frac{J_m V_m}{J_{SC} V_{OC}},$$

y es el que describe la cuadratura de la curva  $J - V$ , la Fig. 2.3 muestra los puntos de  $V_{OC}$ ,  $J_{SC}$  y  $P_m$ . Al evaluar el desempeño de una celda solar, se desea obtener un valor de  $FF \approx 1$ .

La eficiencia de una celda solar es la razón entre la  $P_m$  y la densidad de potencia de luz incidente  $P_i$ , es decir,

$$\eta = \frac{J_m V_m}{P_i}.$$

De la Ec. se puede llegar a que

$$\eta = \frac{FF J_{SC} V_{OC}}{P_i}.$$

La Ec. nos da el desempeño global de una celda solar, y con él, se puede decir si una celda tiene un buen aprovechamiento de la luz incidente.

### Técnica LBIC

Las *técnicas de escaneo* han sido empleadas para la caracterización y estudio de semiconductores y celdas solares desde finales de los años 70's [2]. Estas consisten en excitar pequeñas áreas del semiconductor o celda solar, empleando haz de electrones o de luz, para generar la corriente/voltaje eléctrico de dicha área. Algunas de las técnicas de mapeo encontradas en la literatura son: análisis diodomosa de celdas solares [3](MASC, por sus siglas en inglés), análisis de la resistencia por mapeo de un potencial [4] (RAMP, por sus siglas en inglés), inducción de corriente por haz de electrones [5](EBIC, por sus siglas en inglés), inducción de corriente por haz de luz [6] (LBIC, por sus siglas en inglés) y sus variantes, entre otras. Estas pueden ser subdivididas por: técnicas destructivas y no destructivas [7, 8].

### **Técnicas destructivas**

Entre las técnicas destructivas se encuentra la MASC, la cual consiste en adquirir el voltaje de circuito abierto y el factor de llenado, de una pequeña área de la celda solar, dichas áreas son grabadas en la superficie frontal de la celda solar empleando técnicas de grabado químico que consiste en esparcir químicos sobre la superficie que se desea grabar con el fin de eliminar el materia que no es parte del grabado, en las celdas solares inorgánicas se desea tener un grabado con profundidades suficientes para llegar a la unión P-N [9]. La otra técnica que se encuentra dentro de las técnicas destructivas es la RAMP, esta consiste en medir el potencial entre la parte trasera de la celda solar y su superficie empleando una sonda (electrodo) de tungsteno. La sonda de tungsteno penetra la capa aislada anti reflectora, rayando la superficie de la celda solar durante el mapeo [8].

### **Técnicas no destructivas**

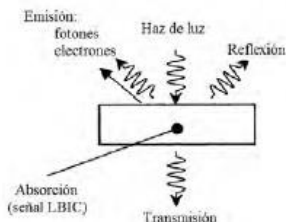
Dentro de las técnicas no destructivas se encuentra la técnica EBIC, que consiste en inducir una corriente eléctrica empleando un haz de electrones, con esta técnica se pueden detectar defectos como lo son: granos de frontera y deslocalización del material. Para poder hacer este análisis se emplea un SEM como fuente de haz de electrones. Un inconveniente de esta técnica es que sólo se pueden monitorear áreas del orden de nanómetros de la celda solar, sin embargo, es posible analizar la recombinación del par electrón-hueco de manera superficial y profunda [2]. A pesar de que las celdas solares orgánicas trabajan bajo el mismo principio, es decir también es un semiconductor, no se han empleado muchas de las técnicas de mapeo para su caracterización. Una técnica de mapeo empleada para su caracterización es el barrido de microscopio óptico de campo cercano (NSOM, por sus siglas en inglés), la cual mide la fluorescencia y la foto-corriente, con una resolución de 200 nm [10]. Otra técnica de mapeo que ha sido empleada en la caracterización de celdas solares orgánicas es el escaneo de microscopía de sonda Kelvin (SKPM, por sus siglas en inglés), que mide el voltaje de circuito abierto local con una resolución de 50-100 nm. También se ha medido la razón de foto-inducción

de carga, con una resolución de 50-100 nm empleando microscopia de fuerza electrostática resuelta en el tiempo (trEFM, por sus siglas en inglés), con los datos obtenidos, es posible calcular la eficiencia cuántica local de mezclas de polifluoreno. Por otro lado, se ha usado la foto-corriente de microscopia de fuerza atómica (pcAFM, por sus siglas en inglés) para medir la distribución de la foto-corriente en mezclas fotovoltaicas orgánicas con una resolución de 20 nm [11]. La técnica LBIC, de interés en este trabajo, se encuentra dentro de las técnicas no destructivas, y a sido usada con anterioridad para la caracterización de celdas solares orgánicas [12, 13, 14, 15]. Dicha técnica tiene una diversidad de variantes. En el presente capítulo se explica en que consiste la técnica LBIC así como algunas de sus variantes.

## La técnica LBIC y sus variantes

La técnica LBIC usa como fuente de excitación luz focalizada y ha sido utilizada para el estudio de celdas solares inorgánicas y semiconductores. En un principio la técnica el LBIC empleaba luz blanca y monocromadores como fuente de luz para la excitación de la muestra, sin embargo, con el advenimiento del láser la fuente de luz se ha ido reemplazando por éste, esto ha ocasionado que la técnica también sea conocida como *inducción de corriente por haz láser*.

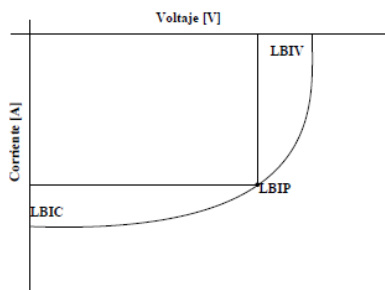
La idea principal de la técnica LBIC es hacer un escaneo de la superficie absorbente de la celda solar punto a punto, con un haz de luz focalizada, midiendo la corriente o voltaje inducido como función de la posición del haz incidente. Al incidir el haz de luz focalizado sobre la muestra, son generadas diferentes señales, como lo son: absorción, reflexión, transmisión y emisión de fotones y electrones, Fig. 3.1[16, 17]. La corriente inducida y detectada es la señal LBIC, es debida a la absorción, esta resulta del efecto de la separación de cargas. Las variaciones de corriente/voltaje son causadas por los campos asociados a los defectos e impurezas de la celda solar. Un aspecto fundamental que debe de ser tomado en cuenta, es de que las medidas adquiridas de corriente/voltaje con técnica LBIC son hechas en los electrodos externos de la celda y no en la posición del haz de luz, por lo que la señal LBIC es representativa del área de la celda bajo iluminación.



La realización del escaneo puede ser hecho de dos formas: la muestra fija y el haz movable o haz fijo y la muestra movable. [7,18]. Las corrientes o voltajes medidos, son usados para producir imágenes de corriente o voltaje del área total de la celda



solar. Cuando se mide corriente la técnica es denominada *LBIC*, la corriente medida es cercana la corriente de corto circuito (*ISC*), si tiene una resistencia lo suficientemente grande como para no permitir el flujo de electrones entonces la respuesta obtenida será la del voltaje de circuito abierto (*VOC*), denominando al método como *LIBV*. Por otro lado, si lo que se detecta es la potencia máxima (*P<sub>m</sub>*) local, el método se llama *LBIP* [19], Fig. 3.2. Otra variante de la técnica LBIC encontrada en la literatura, es la de



inducción de corriente por haz de luz solar *S-LBIC* [20](por sus siglas en inglés), dicha técnica trabaja bajo el mismo principio, anteriormente mencionado, con la diferencia de que usa como fuente de excitación luz solar, que de alguna forma es focalizada sobre la celda solar para inducir la corriente o voltaje del área bajo iluminación.

### **Ventajas y desventajas de la técnica LBIC con respecto a otras técnicas y sus variantes**

De las distintas técnicas de mapeo y de las variantes de la técnica LBIC halladas, se pudieron encontrar ventajas y desventajas. En la Tab. 3.1 se muestran algunas.

**Tabla 3.1.:** Ventajas y desventajas de las técnicas de mapeos y las variantes de LBIC.

Técnica	Ventaja	Desventaja
MASC	Caracteriza la unión P-N.	Prueba destructiva, se debe de hacer grabado en la superficie frontal de la celda.
RAMP	Se encuentran pérdidas por desvío de corrientes. Mapea la resistencia del contacto.	Prueba destructiva, raya la superficie de la celda solar
EBIC	Mapas de corrientes de alta calidad del orden de nanómetros, se puede hacer análisis de granos de frontera. Prueba no destructiva	Debido a su resolución sólo se analizan pequeñas áreas de la celda solar.
LBIC	Mapas de corrientes a diferentes longitudes de onda del orden de micrómetros. Análisis de la respuesta de la celda solar a diferentes longitudes de onda. Barre áreas grandes en tiempos razonables. Prueba no destructiva.	Se pierde información de detalles fuera del orden de micrómetros.
LBIV	Mismas ventajas que las de LBIC mostradas con voltajes.	"
LBIP	Mismas ventajas que las de LBIC mostradas en la potencia máxima.	"
S-LBIC	Mapas de corrientes empleando todo el espectro solar.	Enviar la luz solar al lugar donde se tiene el dispositivo S-LBIC.

En el presente trabajo se seleccionó la técnica LBIC, debido a que por sus características es posible adquirir imágenes de corriente/voltaje del área total de la celda solar, también es posible evaluar la respuesta de la celda solar a diferentes longitudes de onda, ya que se usan distintos láseres. Por otra parte, una vez montada la técnica LBIC en el laboratorio, se puede modificar el arreglo para implementar otras técnicas, como lo son: LBIV, LBIP, S-LBIC, RAMP, y con ellas poder hacer un análisis más completo de celdas solares orgánicas, como son el cálculo de la eficiencia cuántica, la dependencia de la temperatura, etc, [21, 22]. Adicionalmente, como las técnicas de mapeo empleadas para el análisis de celdas solares orgánicas son costosas debido a la instrumentación que emplean, la técnica LBIC se puede usar como punto de partida para la evaluación de su implementación y un mejor entendimiento de las mismas.

## Aplicaciones

La técnica LBIC, ha sido empleada para detectar lo que se le conoce como frontera de grano (GB, por sus siglas en inglés), en donde se ha detectado bajas eficiencias

comparadas con las que no tiene GB. El GB se identifica como zonas oscuras de baja corriente o voltaje.

Debido a que se pueden emplear diferentes longitudes de onda, es posible hacer un análisis a diferentes profundidades del material foto-sensible, esto gracias a que la profundidad de penetración del material foto-sensible depende de la longitud de onda del haz de excitación. Por otro lado, con el sistema LBIC se puede hacer un análisis de la eficiencia cuántica de la celda solar (QE, por sus siglas en inglés). La QE mide que tanto son aprovechados los fotones de la luz incidente para generar corriente eléctrica, a diferentes longitudes de onda.

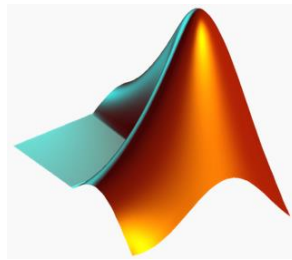
## USB-6009

Dispositivo de E/S Multifunción



Dispositivo USB de E/S Multifunción, 8 AI (14 Bits, 48 kS/s), 2 AO (150 S/s), 12 DIO—El USB-6009 es un dispositivo DAQ multifunción de bajo costo. Ofrece E/S analógicas, E/S digitales y un contador de 32 bits. El USB-6009 brinda funcionalidad básica para aplicaciones como registro de datos simple, medidas portátiles y experimentos académicos de laboratorio. El dispositivo tiene una cubierta mecánica ligera y es energizado por bus para fácil portabilidad. Puede conectar fácilmente sensores y señales al USB-6009 con conectividad de terminal de tornillo. El controlador NI-DAQmx y la utilidad de configuración incluidos simplifican la configuración y las medidas.

## Matlab

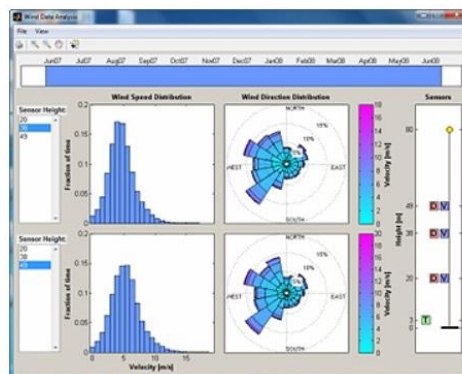


MATLAB (abreviatura de *MATRIX LABORATORY*, "laboratorio de matrices") es una herramienta de software matemático que ofrece un entorno de desarrollo integrado (IDE) con un lenguaje de programación propio (lenguaje M). Está disponible para las plataformas Unix, Windows, Mac OS X y GNU/Linux .

Entre sus prestaciones básicas se hallan: la manipulación de matrices, la representación de datos y funciones, la implementación de algoritmos, la creación de interfaces de usuario (GUI) y la comunicación con programas en otros lenguajes y con otros dispositivos hardware. El paquete MATLAB dispone de dos herramientas adicionales que expanden sus prestaciones, a saber, Simulink (plataforma de simulación multidominio) y GUIDE (editor de interfaces de usuario - GUI). Además, se pueden ampliar las capacidades de MATLAB con las *cajas de herramientas (toolboxes)*; y las de Simulink con los *paquetes de bloques (blocksets)*.

Es un software muy usado en universidades y centros de investigación y desarrollo. En los últimos años ha aumentado el número de prestaciones, como la de programar directamente procesadores digitales de señal o crear código VHDL.

## GUI Matlab



Las GUI (también conocidas como interfaces gráficas de usuario o interfaces de usuario) permiten un control sencillo (con uso de ratón) de las aplicaciones de

software, lo cual elimina la necesidad de aprender un lenguaje y escribir comandos a fin de ejecutar una aplicación.

Las apps de MATLAB son programas autónomos de MATLAB con un frontal gráfico de usuario GUI que automatizan una tarea o un cálculo. Por lo general, la GUI incluye controles tales como menús, barras de herramientas, botones y controles deslizantes. Muchos productos de MATLAB, como Curve Fitting Toolbox, Signal Processing Toolbox y Control System Toolbox, incluyen apps con interfaces de usuario personalizadas. También es posible crear apps personalizadas propias, incluidas las interfaces de usuario correspondientes, para que otras personas las utilicen.

## Transformador



El transformador eléctrico es una máquina electromagnética que se usa para aumentar o disminuir una fuerza electromotriz (Potencial, tensión eléctrica o voltaje); también se puede usar para aislar eléctricamente un circuito. Está compuesto de dos embobinados independientes (devanados) en un núcleo de aire o material electromagnético. Su principio de funcionamiento es la inducción electromagnética y sólo funciona con C. A. o corriente directa pulsante.

## Diodo



Un diodo es un dispositivo diseñado para que la corriente fluya en un solo sentido, es decir, solamente permite que la corriente vaya en una sola dirección.

- Corrección de Media Onda de Corriente Alterna

Antes de explicar esta función tenemos que entender lo que es la corriente alterna. Existen 2 tipos de corriente, la corriente directa y la corriente alterna.

La corriente alterna pasa “*alternándose*” entre positiva y negativa. Tiene la forma de una onda senoidal.

Si tenemos 2 conductores, uno conectado a tierra y el otro sometido a una onda de corriente alterna, la corriente fluirá de dicho conductor hasta el aterrizado o ground en el semiciclo positivo; en el semiciclo negativo el flujo será del ground hasta el conductor con corriente alterna.

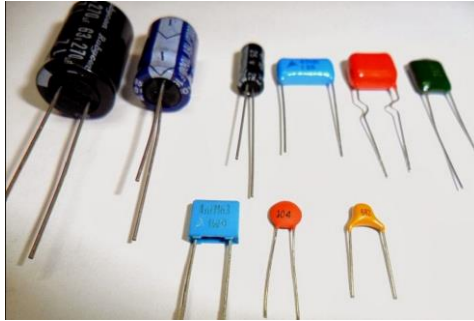
La corriente directa es diferente de la corriente alterna. La corriente directa no alterna su signo. Cuando es rectificadora su valor no varía en el tiempo, a diferencia de la corriente alterna que siempre está cambiando.

La corriente alterna es la que se utiliza en nuestros hogares, en las industrias, oficinas, negocios, etc. En Panamá, la corriente alterna convencional que se distribuye es de 120 voltios por fase, a una frecuencia de 60 Hz, o sea 60 ciclos por segundo. Esto quiere decir que la onda de corriente alterna que tenemos disponibles en nuestros hogares alterna su signo entre positivo y negativo unas 60 veces cada segundo.

Los aparatos que encontramos en nuestros hogares, como computadoras, televisores, reproductores de audio y DVD funcionan con corriente directa. Arduino y los microcontroladores en general necesitan ser alimentados con corriente directa, como la de una batería de 9 voltios por ejemplo.

Si queremos utilizar la corriente alterna obtenida del suministro eléctrico necesitamos darle un tratamiento especial, un proceso al que llamamos Transformación AC/DC o transformación de corriente alterna a corriente directa. Aquí es donde entra en juego el diodo.

## Capacitores



Un condensador electrolítico es un tipo de condensador que usa un líquido iónico conductor como una de sus placas. Típicamente con más capacidad por unidad de volumen que otros tipos de condensadores, son valiosos en circuitos eléctricos con relativa alta corriente y baja frecuencia. Este es especialmente el caso en los filtros de alimentadores de corriente, donde se usan para almacenar la carga, y moderar la tensión eléctrica de salida y las fluctuaciones de corriente en la salida rectificada. También son muy usados en los circuitos que deben conducir corriente continua pero no corriente alterna.

Los condensadores electrolíticos pueden tener mucha capacitancia, permitiendo la construcción de filtros de muy baja frecuencia.

### Regulador de voltaje LM7812 12V/1A



Regulador de voltaje de tres terminales, salida de 12V y hasta 1A.

**Características:**

Dropout Voltage: 2V típicamente

Salida de voltaje: 12V

Temperatura de operación: 0°C ~ 125°C

Temperatura de almacenamiento: - 65°C ~ 150°C

Encapsulado: TO220

### Reg. de voltaje negativo LM7912 -12V/1<sup>a</sup>



Regulador de voltaje negativo de tres terminales, salida de -12V y hasta 1A.

**Características:**

Dropout Voltage: 2V típicamente

Salida de voltaje: -12V

Temperatura de operación: 0°C ~ 125°C

Temperatura de almacenamiento: - 65°C ~ 150°C

Encapsulado: TO220

**Amplificador operacional TL072CP 3MHz PDIP, 8 pines**



Amplificadores operacionales de entrada JFET de las series TL070 y TL080

Una gama bien establecida de amplificadores operacionales de alto rendimiento de Texas Instruments con entrada JFET y salida bipolar que incorporan bajas corrientes de polarización de entrada y altas velocidades de subida. Estos amplificadores operacionales tienen bajo nivel de ruido y distorsión baja y son adecuados para una gran variedad de aplicaciones de audio y procesamiento de señal. La alta impedancia de entrada los convierte en una elección ideal cuando la carga del circuito debe reducirse al mínimo. Las opciones de ajuste de offset y compensación externa están disponibles con los dispositivos simples TL071 y TL081.

- Baja polarización de entrada y corriente de offset
- Amplio rango de tensión de alimentación:  $\pm 5$  a  $\pm 15V$
- Bajo nivel de ruido: valor típico 18 nV/ $\sqrt{Hz}$  a 1 kHz
- Alta velocidad de subida: valor típico 13 V/ $\mu s$



- Baja distorsión armónica total: valor típico 0,003 %
- Dispositivos disponibles en configuración simple, doble y cuádruple

## Resistencias



Resistencia de película de carbón de 1 Ohm a 1 Watt con  $\pm 5\%$  de tolerancia.

## Potenciómetro

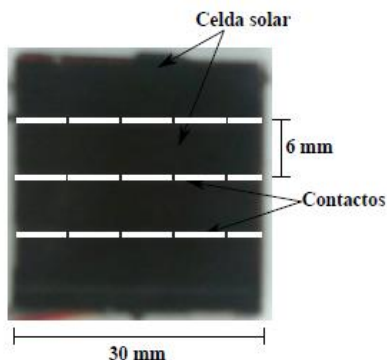


Un potenciómetro es un dispositivo conformado por 2 resistencias en serie, las cuales poseen valores que pueden ser modificados por el usuario.

Los trimmer son utilizados para ajustes de precisión en circuitos donde se requiere que el usuario pueda modificar ciertos parámetros. Sea un potenciómetro común y

corriente o un trimmer, ambos dispositivos comparten una característica: tienen 3 terminales (o patas).

## Celda solar orgánica



celdas inorgánicas ( $C0$ ) y dos módulos de cuatro celdas solares orgánicas ( $C1$  y  $C2$ ) de distintas geometrías. Del módulo  $C0$  no se tiene información de la composición y arquitectura de las celdas

debido a que formaba parte de una lámpara que se alimentaba con un sistema de celdas fotovoltaicas de material inorgánico, Fig. 4.7, las dimensiones de la celda inorgánicas de este módulo son de 6 mm de ancho por 30 mm de largo. Los módulos  $C1$  y  $C2$

fueron fabricadas en el laboratorio de Materiales del Grupo de Propiedades Ópticas de la Materia (GPOM), en el Apéndice A se muestra la evolución de las eficiencias dentro del grupo.

## TIP31C



Transistor NPN de media potencia

$I_C$  max: 3 A

$I_C$  pico max: 5 A

$I_B$  max: 1 A

$P_{TOT}$ : 40 W

$V_{CEO}$ : 100 V,  $V_{CBO}$ : 100 V,  $V_{EBO}$ : 5 V

$h_{FE}$ : 10 a 50 (@  $I_C=3$  A,  $V_{CE}=4$  V)

Alta velocidad de suicheo

Complementario: TIP32

Encapsulado: TO-220  
Aplicaciones:  
Conmutación y amplificación lineal  
Amplificadores de audio

Circuitos de propósito general

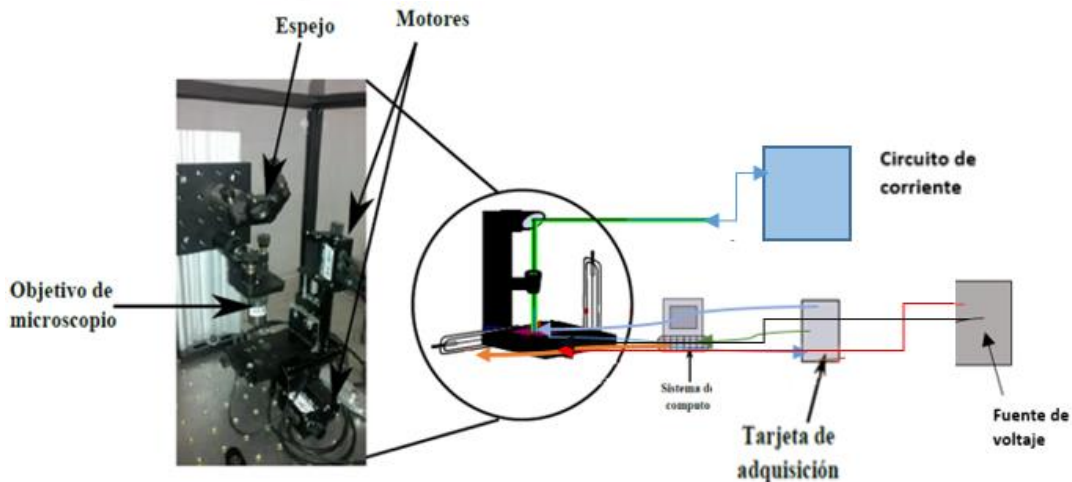
## CAPITULO IV

### 4.1 Procedimientos Y Descripción De Las Actividades Realizadas.

Se empezará realizando la fuente de corriente la cual será la que controle la luminosidad que se inducirá a la celda solar, se buscara un diseño de fuente apto para las necesidades requeridas.

Se diseñará y se elaborara la fuente de voltaje para la alimentación del opam el cual necesitará una fuente simétrica que entregue 12v y -12v para su correcto funcionamiento.

El sistema en conjunto es formado por una fuente de voltaje y de corriente, una tarjeta de adquisición de datos, una computadora con Matlab que contiene la interfaz gráfica, la celda solar a monitorear y los motores para el movimiento constante de la celda solar



Para empezar, se debe conectar la fuente de voltaje con las puntas de la celda solar la cual inducirá voltaje para monitorear la señal de respuesta contraponiendo un voltaje de entrada, después se conecta la parte de la fuente de corriente la cual se encargara de controlar la luminosidad de la fuente de luz de manera que puedan tenerse varias pruebas con diferente luminosidad que se incidirá en la celda solar, después que las fuentes estén conectadas junto con la celda se conectara la tarjeta de adquisición de datos la cual recolectara en tiempo real los datos obtenidos por la celda dependiendo de los valores ingresados en la interfaz del programa para delimitar el tiempo de muestreo, el área de la celda, el voltaje que será inducido a la celda y el controlara la fuente de corriente.

El trabajo consistió en 4 partes principales, el diseño y elaboración de la fuente de corriente, diseño y elaboración de una fuente de voltaje, la programación para la adquisición de datos y conjuntar todas las partes del proyecto a un sistema completo.

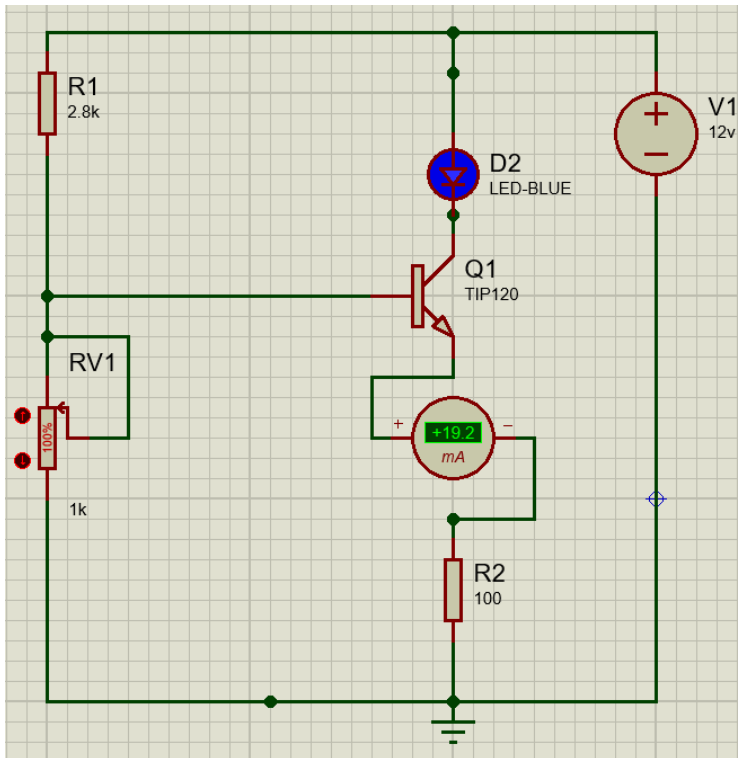
Para iniciar se buscó diseños de fuentes de corrientes que se ajustaran a los parámetros necesarios al proyecto en nuestro caso, tenía que ser para que variara la corriente de un Led, la cual al variar hará variar la luminosidad.

Como diseño se tomó un circuito algo simple, ya que contiene dispositivos comunes y pocos.

Se compone de un transistor Tip120, una resistencia de 2.8kohm y 100ohms y un potenciómetro de precisión de 1kohm.

Al tener estos valores de resistencias hace que el circuito varíe de 0 a 20 mA.

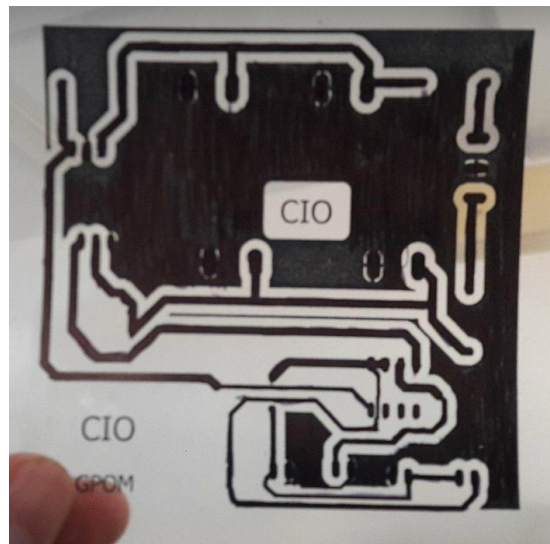
Ya que se pretendió que el amperaje máximo fuera el soportado por el Led.



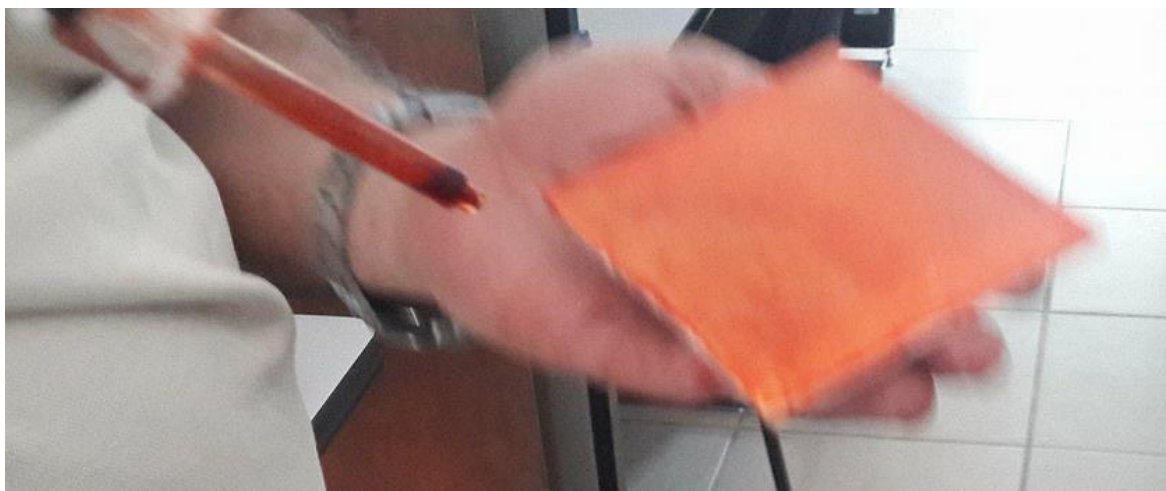
Se muestra la simulación del circuito de corriente para la verificación de su funcionamiento.

De manera que con las resistencias el máximo valor de corriente será 19.2 mA y como mínimo 0.

Para la elaboración de circuitos se usa el método de revelar la placa, esto consiste en imprimir el circuito en papel acetato.



Mientras que a la placa se le añade fotoresina la cual hará que cuando esta se exponga al sol quemará la placa, de esta manera revelando las pistas del circuito.



Después de agregar el líquido revelador, se lleva a un horno que está a 70 grados constantes para asegurar el secado uniforme de la placa y tener mejor calidad. Quedando de esta manera.

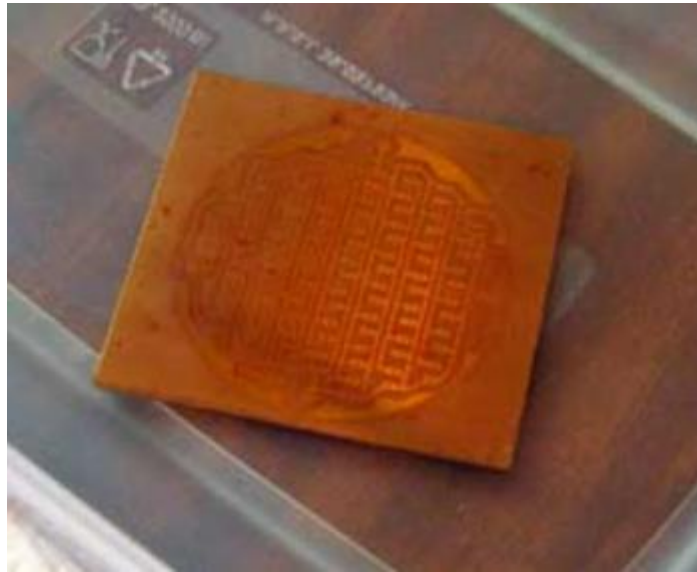


Con un color naranja fuerte y completamente seco.

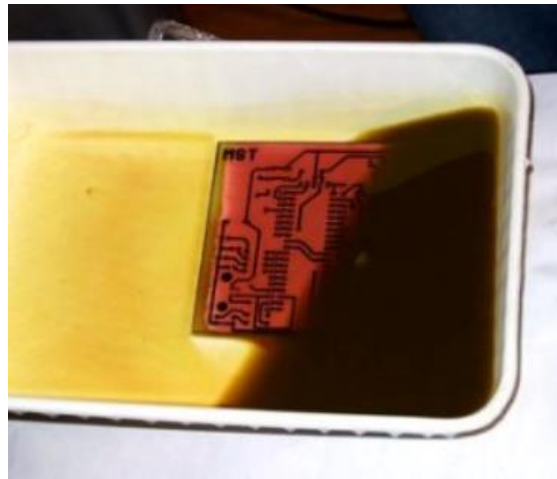
Teniendo esto se junta la parte del acetato impreso con la placa completamente horneada y con la fotoresina.

Se expone al sol para que el revelador quemará la placa y después se le añade el líquido revelador.

La misión del líquido revelador no es otra que la de hacer que todo el barniz sobrante tras la insolación de la placa sea eliminado de esta, quedando expuesto el cobre no necesario que será destruido más adelante en la fase de quemado. De este modo el líquido revelador será utilizado después de insolar y antes de pasar a la fase de quemado.

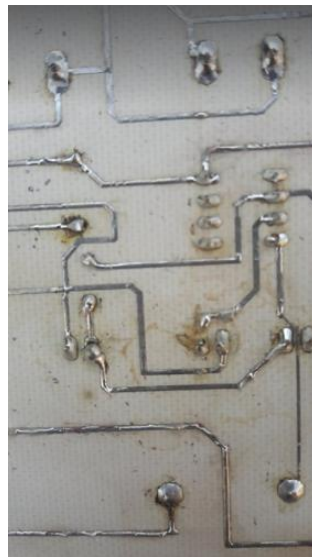


Cuando las pistas se puedan ver se pasa por cloruro férrico para quitar la parte conductora de la celda y dejar únicamente las pistas para la conducción de voltaje entre los componentes sin que nada más afecte.

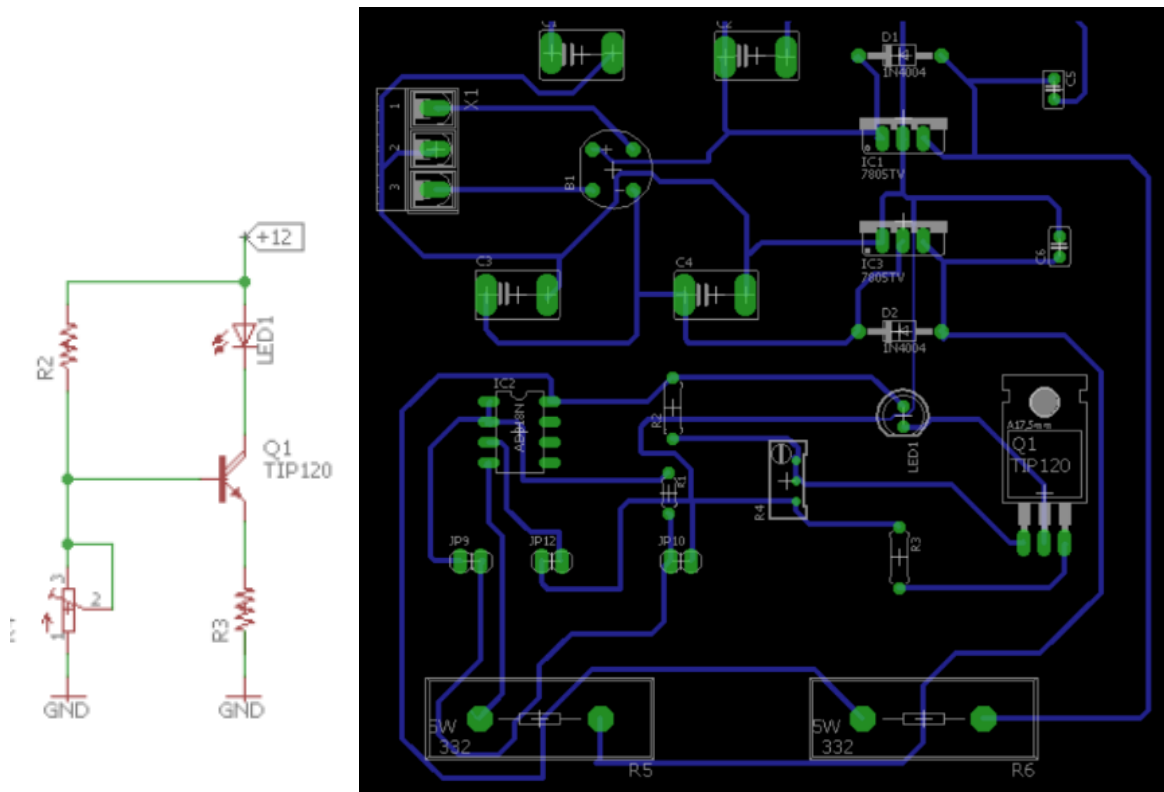


Cuando ya se realizó todo el proceso solo queda limpiar la placa con acetona, perforar las pistas de los dispositivos electrónicos y soldarlos.

Como una recomendación y mejor calidad del circuito se recomienda estañar las pistas para asegurar que las señales de voltaje funcionen como deberían.

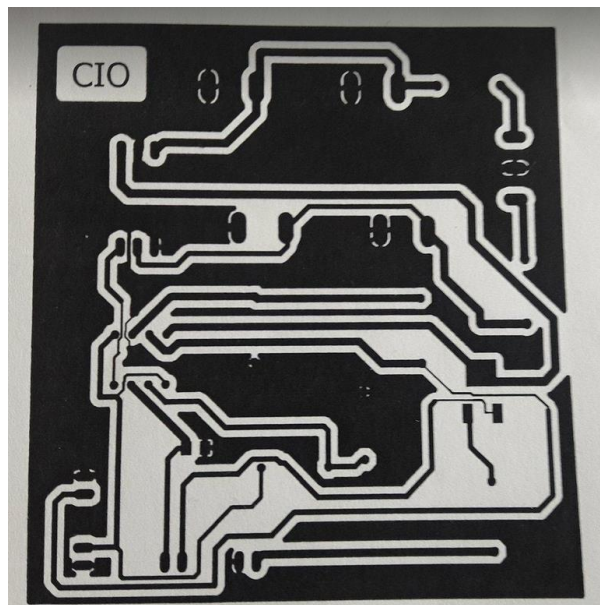


Sabiendo la elaboración de las placas se empezó a diseñar la de corriente. Este es el esquema en Eagle para realizar la placa fenólica de dicho circuito.





En el diseño esta implementada el primer diseño de la fuente de voltaje el cual nos dio problemas al conjuntar todo el sistema de monitoreo. Por falta de tiempo y ahorro de los costos se dejó integrada, aislando los dos circuitos uno del otro.

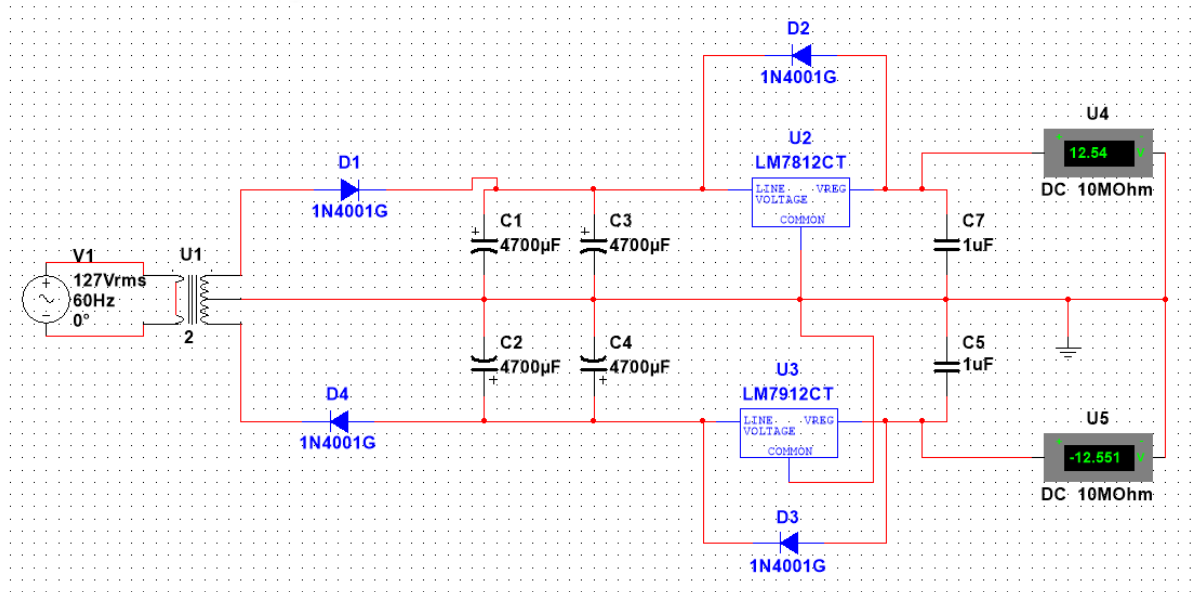


Como parte importante del proyecto se realizó el diseño y elaboración de una fuente de voltaje simétrica para la alimentación del amplificador operacional utilizado y de igual manera usar la parte positiva de la fuente para alimentar la fuente de corriente.

Como inicio se buscaron diseños de fuentes de voltaje que entregaran +- 12v, los cuales eran requeridos para el correcto funcionamiento del amplificador operacional.

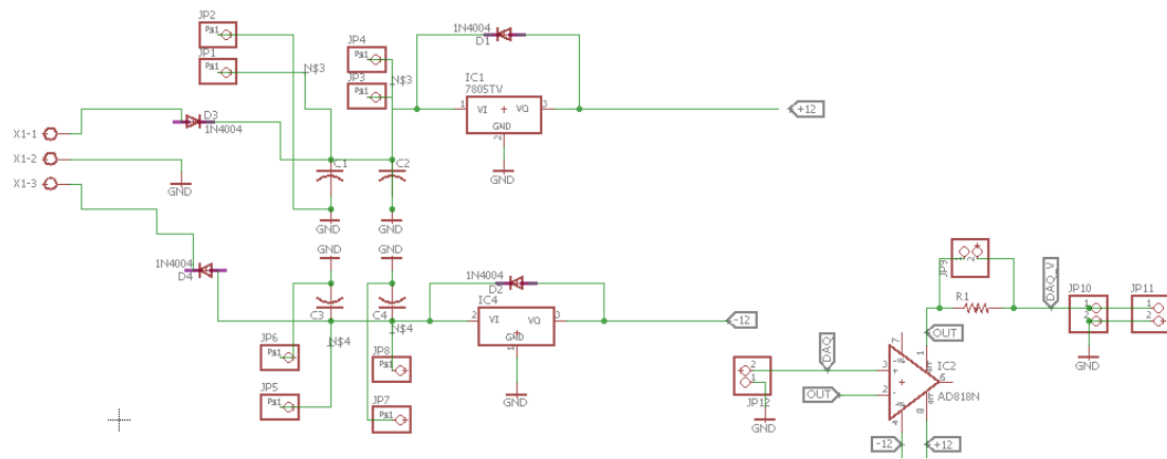
Se probó un diseño el cual usaba un puente de diodos para rectificar la señal, el problema que nos ocasiono fue que la tierra era virtual y al conectar una carga grande hacia que los valores que entregaba nuestra fuente variaran de tal manera que el amplificador operacional no funcionara de manera correcta al no tener la alimentación necesaria. De esta manera se buscó nueva mente un diseño de fuente la cual pudiese conectarse a la tierra del transformador.

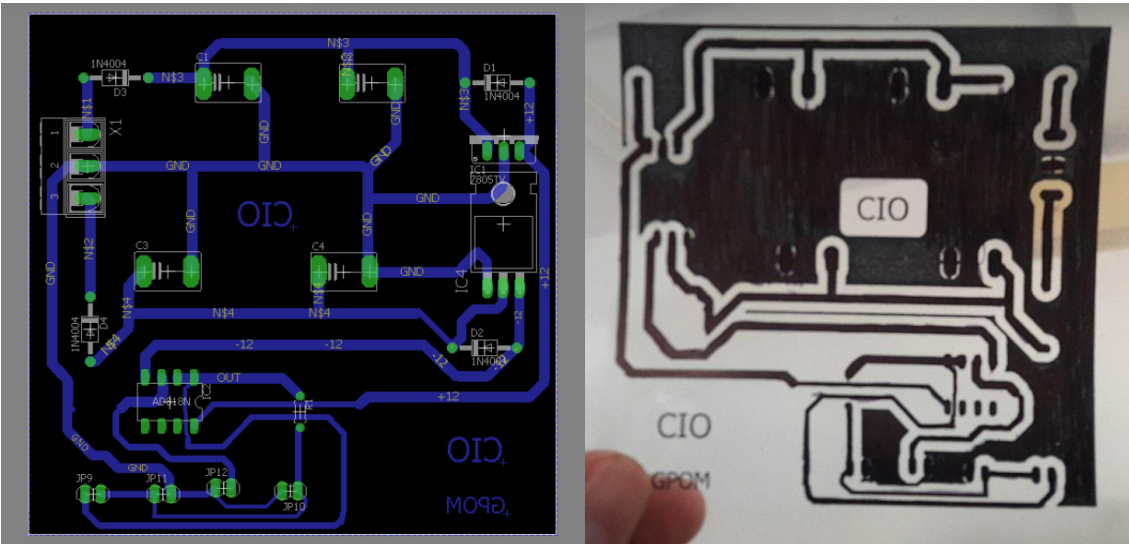
Como elección se tomó una fuente que está compuesta por 2 diodos rectificadores de media onda, capacitores electrolíticos de 4700mF, reguladores de voltaje LM7812 y LM7912, capacitores cerámicos 104.



Simulación de fuente de voltaje de 12 v simétrica.

El diseño en Eagle fue el siguiente.





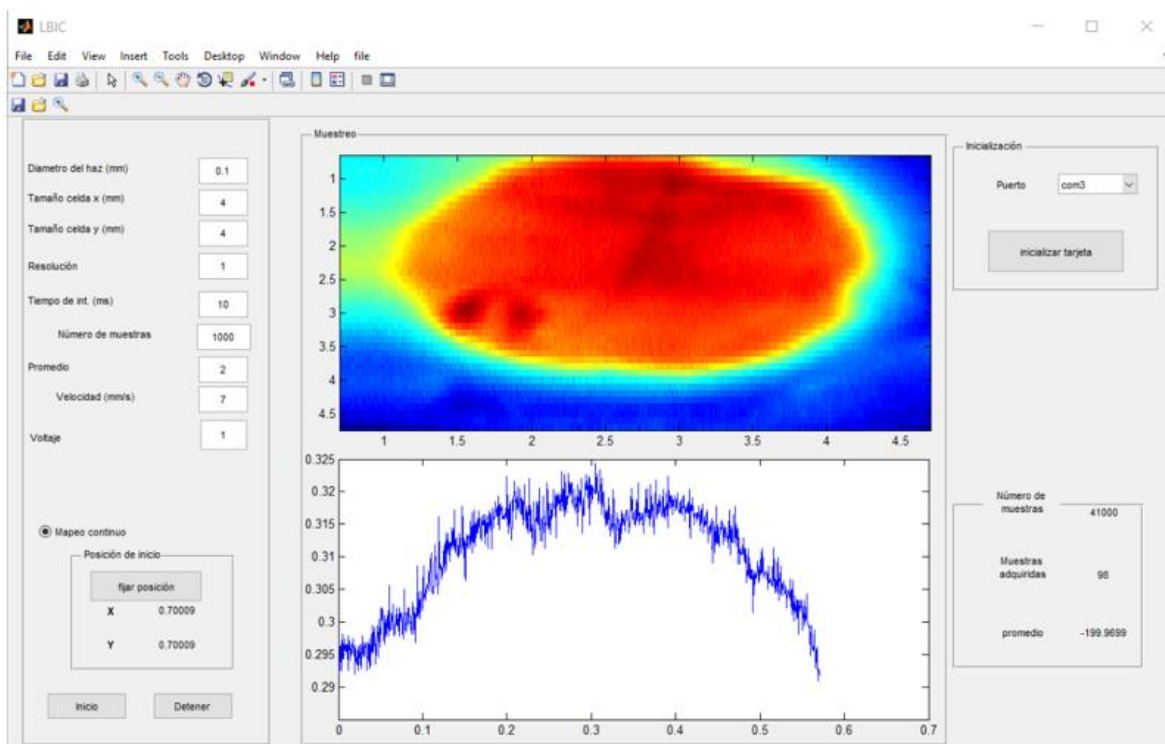
Después de tener una fuente de voltaje y corriente que tuviera los requerimientos necesarios y funcionaran de manera grata para el proyecto se inició con la adquisición de datos, la cual se usaría una tarjeta de National Instrument Ni USB 6009, dicha tarjeta hacia el muestreo de los datos en tiempo real y permitía tener 2 dos de sus pines analógicos como Inputs y un pin como output el cual controlara el voltaje que se inducirá al circuito de voltaje, esto con el fin de mantener un voltaje fijo y controlado inducido a la celda solar.




Con esta tarjeta nosotros controlaremos la adquisición de datos los cuales serán puntos específicos del circuito que queremos monitorear, para que la tarjeta funcione se necesita un programa llamado NI device monitor este, identifica que se ha conectado una tarjeta y le da un nombre para poder llamarla en la programación.

La tarjeta fue programada mediante Matlab, ya que tiene como fin crear una interfaz entendible y de fácil operación.


Como parte inicial del programa se tiene que inicializar la DAQ y determinar si se trabajara con puertos analógicos o digitales, determinar el tiempo de muestreo, determinar el área a monitorear, el movimiento de los motores, la sección para regular el voltaje que mandara el Output, determinar los puertos para los motores, el número de muestras requeridas el número de muestras requeridas, un pequeño control del movimiento manual de los motores y organizar todo en GUI




De manera que el GUI quedo de esta manera con todos los datos requeridos, que pueden ser variados a nuestros requerimientos.



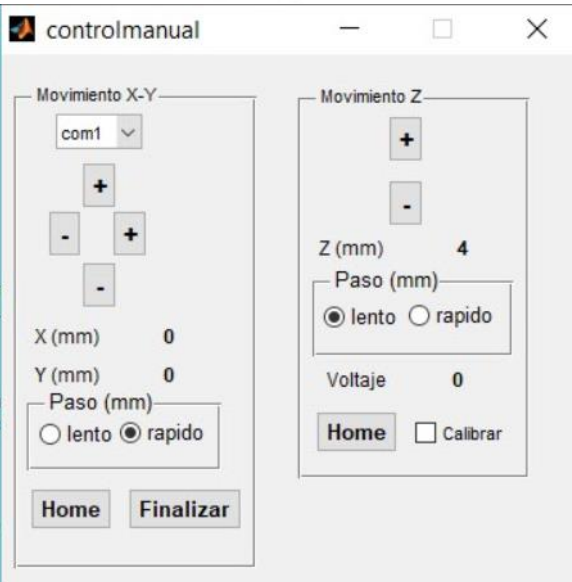
SECRETARÍA DE EDUCACIÓN PÚBLICA



**TECNOLÓGICO NACIONAL DE MÉXICO**  
INSTITUTO TECNOLÓGICO DE TUXTLA GUTIÉRREZ



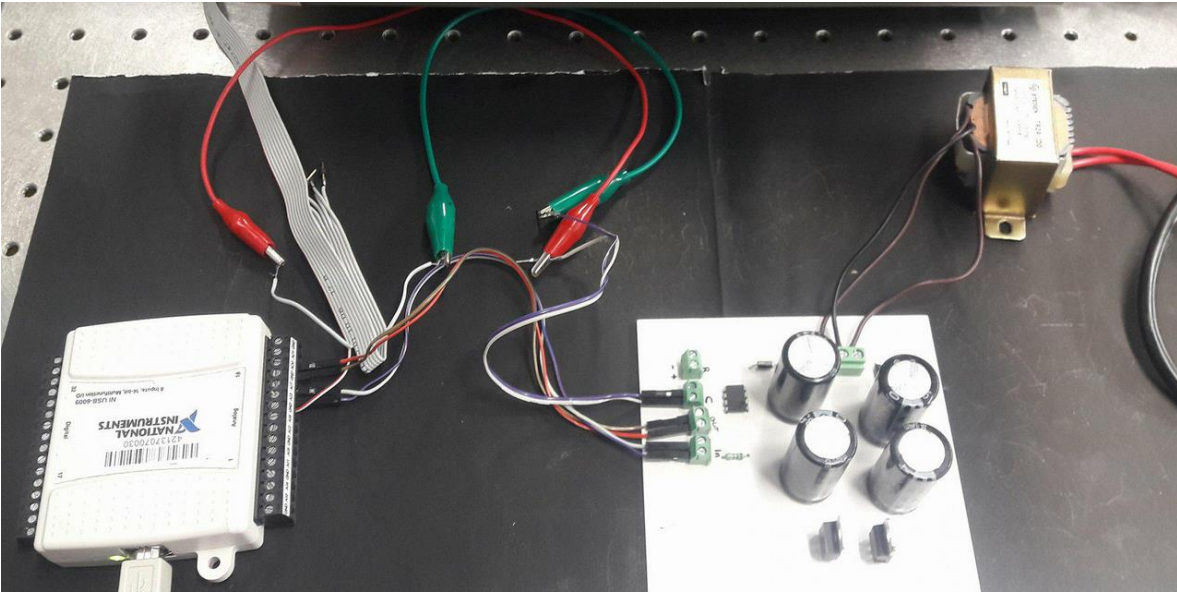
  



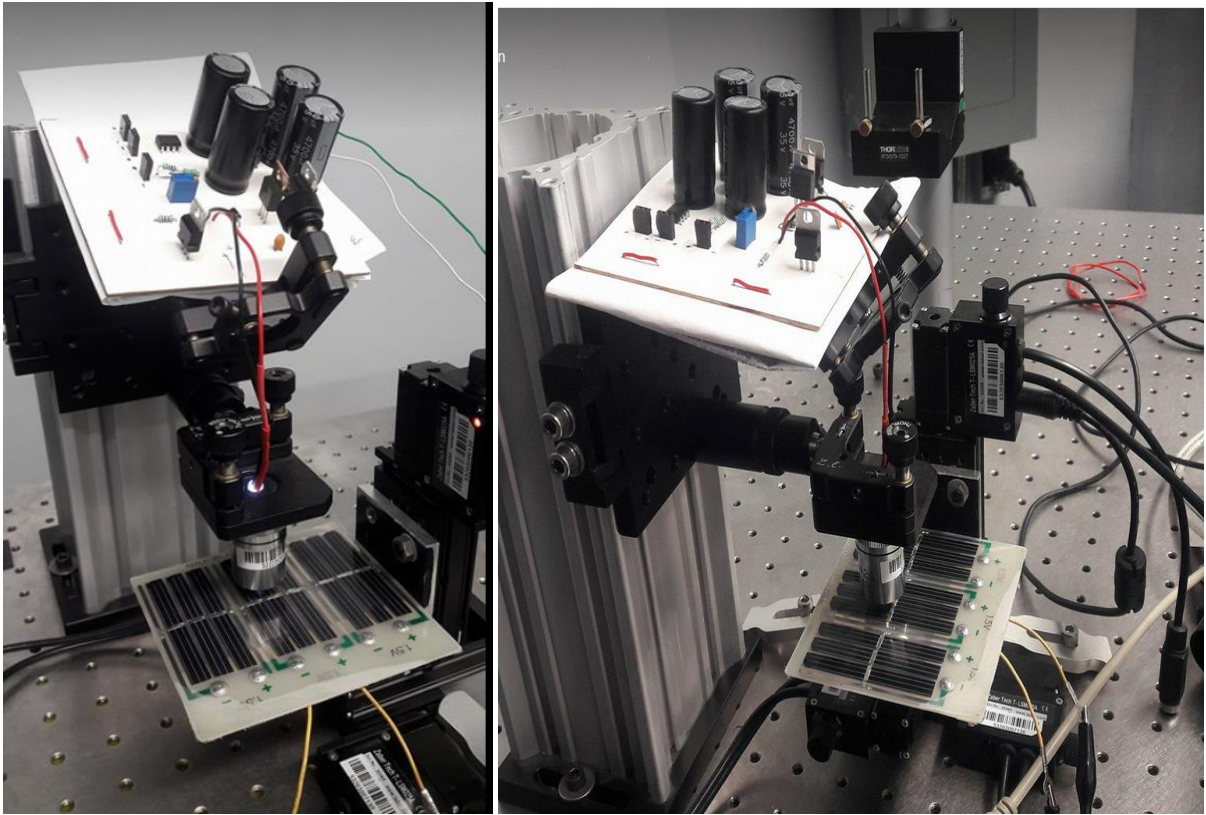
Para el movimiento de los motores se integró un control para movimiento manual, de manera que se posiciona al punto que se requiera escanear y no esperar que inicie el proceso de escaneo desde el inicio, de igual manera está el botón principal de Home para poder poner los motores en su posición inicial Cero.

También controla el movimiento si es necesario ir rápido o para mejor calidad un movimiento lento.

Como trabajo completo se conjuntaron las fuentes de voltaje y corriente, la programación para el control de la DAQ y se conectó a una mesa de pruebas para poder posicionar todo de manera correcta, conectando de igual manera la celda solar a escanear y monitoreando los valores.



Se muestra la tarjeta de adquisición de datos, el circuito de voltaje.



En esta sección se muestra la fuente de corriente junto con la celda solar y los motores controlando el movimiento de la celda solar.

El Led se muestra en la primera foto al 100% de su luminosidad.

La segunda foto muestra el Led con 0% de luminosidad.

## CAPITULO V

### 5.1 Resultados

### 5.2 Conclusiones y recomendaciones

Como resultado se presentarán los circuitos elaborados, la interfaz de usuario para el control de método LBIC y los resultados arrojados del monitoreo de una celda solar con todo el sistema LBIC en conjunto.

Circuito de Corriente

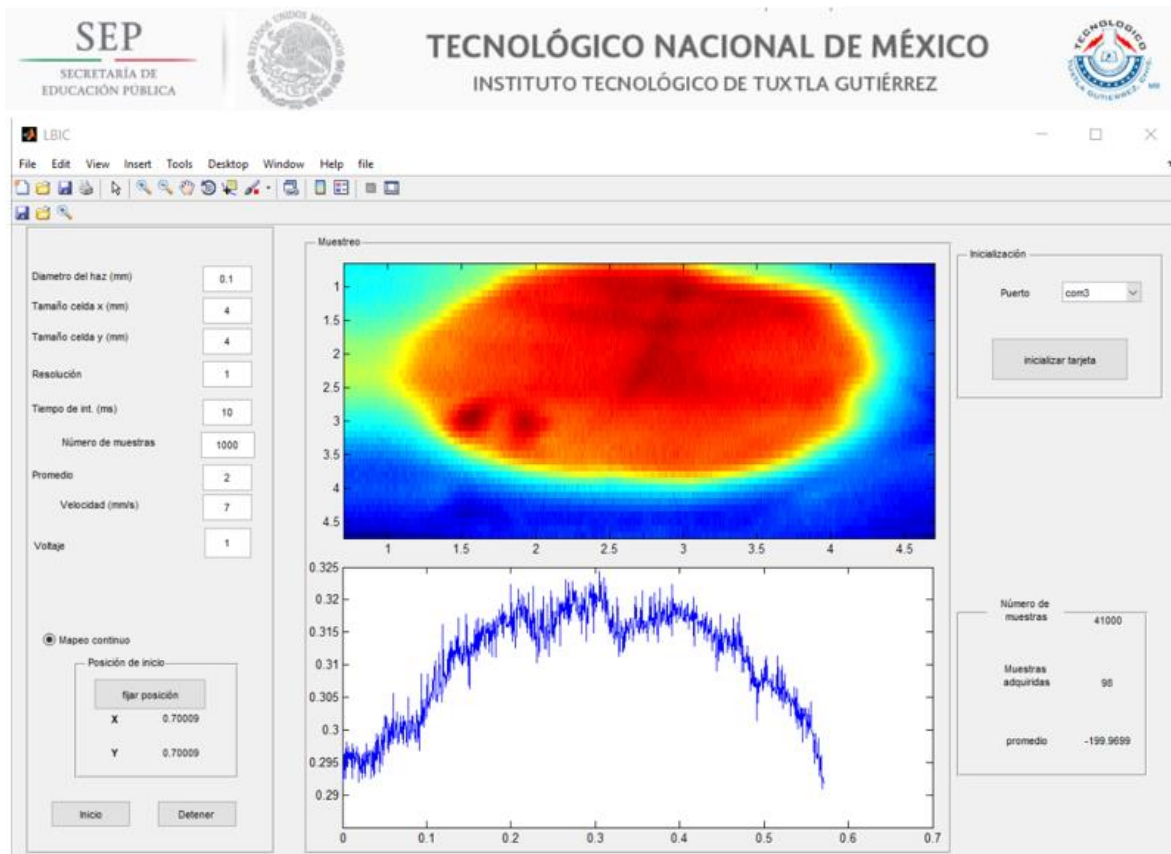


Circuito de Voltaje

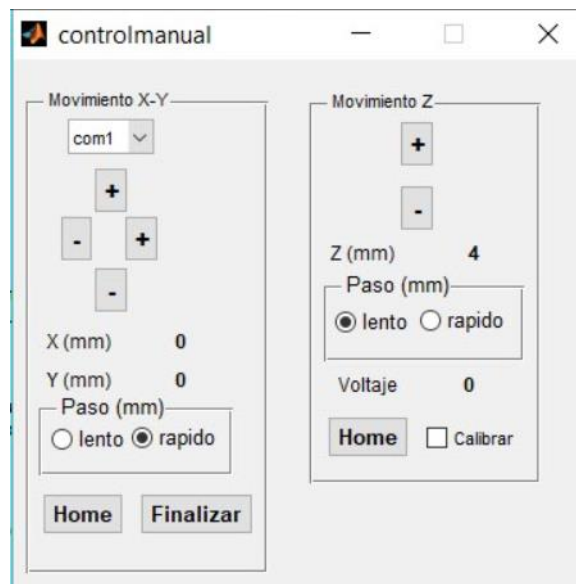


Interfaz del usuario realizado en Matlab para el control de la tarjeta de adquisición de datos.

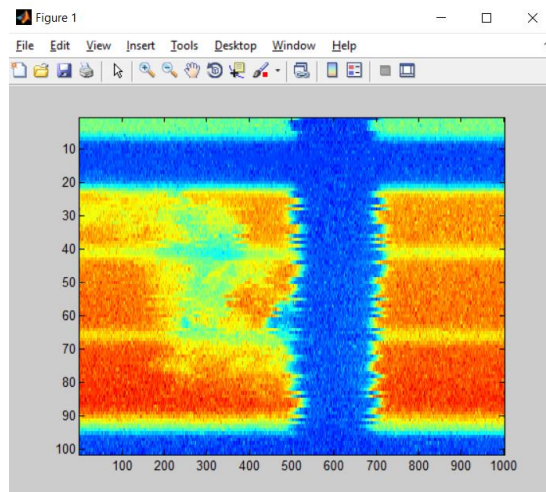




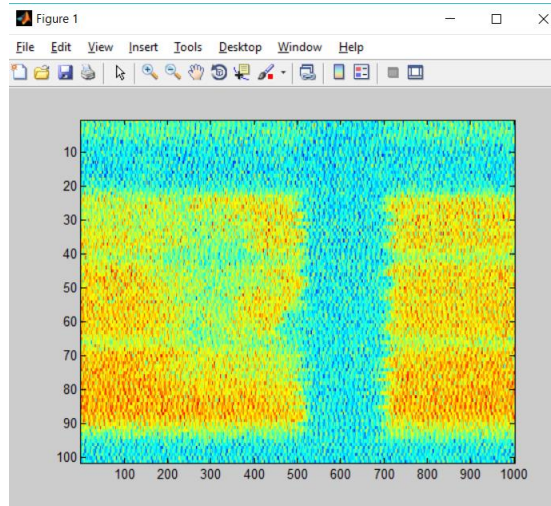
Control un Pad para el control del movimiento de los motores.



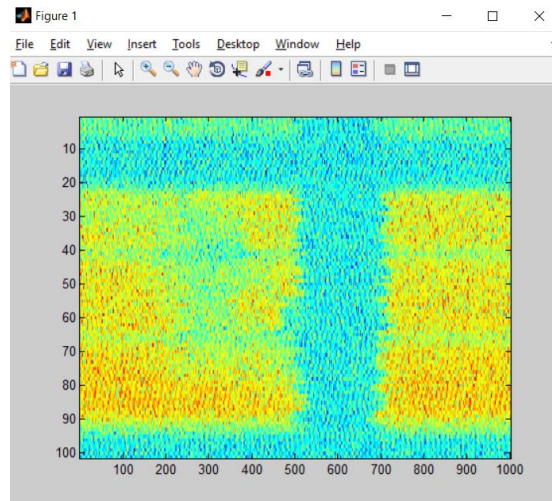
Resultados de las pruebas a la celda con diferentes especificaciones



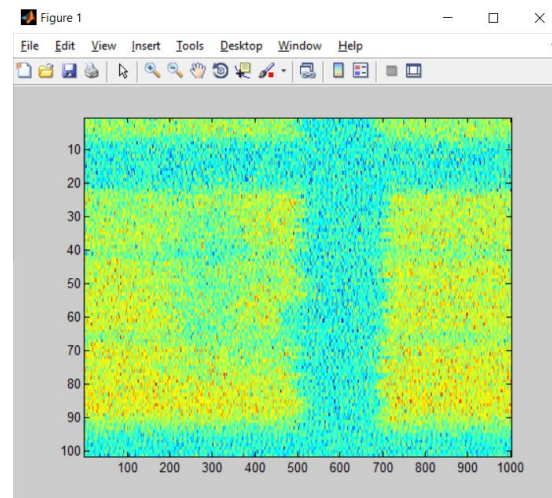
Respuesta 0v, 100% de luminosidad



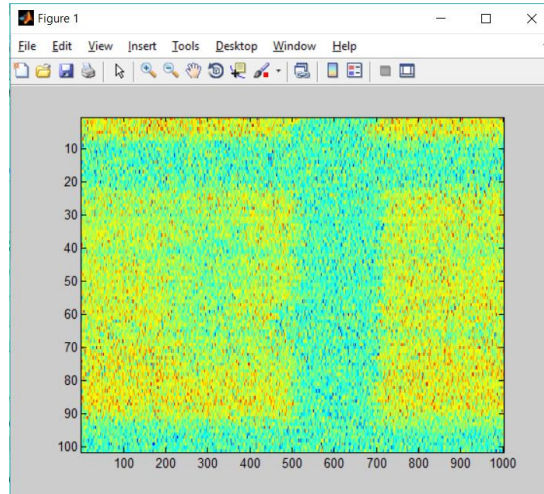
Respuesta 0.25, 100% de luminosidad



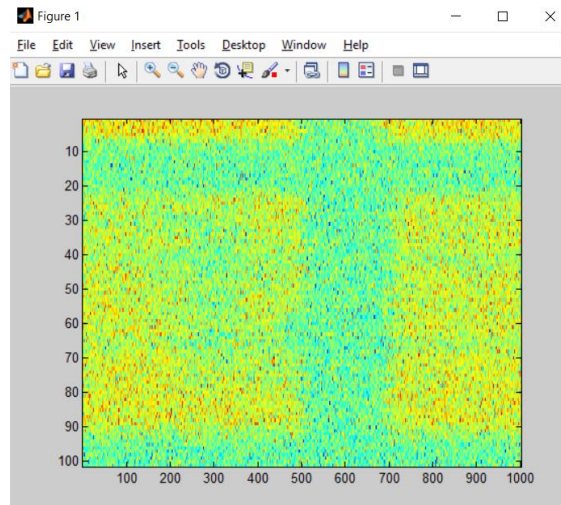
Respuesta 0.25v, 20% de luminosidad



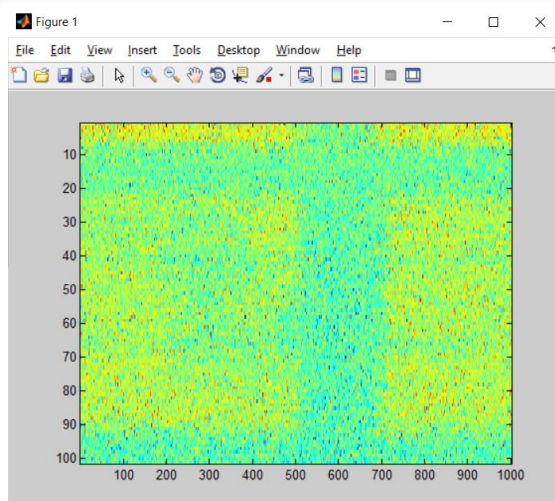
Respuesta 0.50v, 100% de luminosidad



Respuesta 0.50v, 20% de luminosidad



Respuesta 0.75v, 100% de luminosidad



Respuesta 1v, 100% de luminosidad

## Conclusión

Se puede apreciar el comportamiento de la celda induciendo voltaje y también que sea afectada por una fuente de corriente, de esta manera se pueden hacer estudios de cómo responde la celda según la calidad de su elaboración de manera que pueden notarse detalles de la celda se encuentra dañada en algunas partes.

Se puede notar la importancia que tienen las celdas orgánicas fabricadas en el Centro de Investigaciones en Óptica S.A. de C.V. y como tal la importancia de la caracterización de las celdas ya que teniendo un medio para poder verificar la calidad de dichas celdas se pueden mejorar.

En cuanto a la interfaz se puede decir que es de suma importancia ya que con ella se establecen los límites con los cuales se realizaran los monitoreos, se pretendió que la interfaz fuese de manera fácil y practica para que con los mínimos conocimientos sobre el programa se pudiera operar.

En conclusión, el proyecto demuestra de manera muy gráfica la respuesta que entrega la celda al tener variaciones que son controladas por el usuario de tal manera que aporta un método para verificar la calidad de las celdas dependiendo de lo que el usuario quiera verificar.

## Referencias

- [1] J. R. E. Quesada, *México Quinta Comunicación Nacional ante la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático*. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (Semarnat) Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático (INECC), 2012.
- [2] N. M. Thantsha, “Spatially resolved opto-electric measurements of photovoltaic materials and devices,” Ph.D. dissertation, Nelson Mandela Metropolitan University, January 2010.
- [3] W. K. D. K. G. P. C. Häbler, S. Thurm, *Proceedings of the 13th European Photovoltaic Solar Energy Conference*, p. 1364, 1995.
- [4] G. W. W. S. A.S.H. van der Heide, A. Schonecker, “Mapping of contact resistance and locating shunts on solar cells using resistance analysis by mapping of potential (ramp) technique,” *Proceedings of the 16th European Photovoltaic Solar Energy Conversion Conference*, 2000.
- [5] J. Chen, D. Yang, Z. Xi, and T. Sekiguchi, “Electron-beam-induced current study of hydrogen passivation on grain boundaries in multicrystalline silicon: Influence of {GB} character and impurity contamination,” *Physica B: Condensed Matter*, vol. 364, no. 364, pp. 162 – 169, 2005. [Online]. Available: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0921452605006824>
- [6] M. H. J. Rinio, M. and M. Werner, “Lbic investigations of lifetime degradation by extended defects in multicrystalline solar silicon,” *Solid State Phenomena*, vol. 63-64, pp. 115–122, 1999.
- [7] F. J. Vorster, “On the characterization of photovoltaic devices for concentrator purposes,” Ph.D. dissertation, Nelson Mandela Metropolitan University, January 2007.
- [8] J. Carstensen, G. Popkirov, J. Bahr, and H. Föll, “Cello: an advanced {LBIC} measurement technique for solar cell local characterization,” *Solar Energy Materials and Solar Cells*, vol. 76, no. 4, pp. 599 – 611, 2003, photovoltaics and photoactive materials - properties, technology and applications. [Online]. Available: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0927024802002702>
- [9] R. B. S. T. Heikenwalder J., Matthees J. R., “Dicing solar cells efficiently: Evaluation of beam technologies for cutting contours in silicon,” *Dicing Processes*, p. 89, 1999.
- [10] C. R. McNeill, H. Frohne, J. L. Holdsworth, J. E. Furst, B. V. King, and P. C. Dastoor, “Direct photocurrent mapping of organic solar cells using a near-field scanning optical microscope,” *Nano Letters*, vol. 4, no. 2, pp. 219–223, 2004. [Online]. Available: <http://dx.doi.org/10.1021/nl0349496>

- [11] D. C. Coffey, O. G. Reid, D. B. Rodovsky, G. P. Bartholomew, and D. S. Ginger, "Mapping local photocurrents in polymer/fullerene solar cells with photoconductive atomic force microscopy," *Nano Letters*, vol. 7, no. 3, pp. 738–744, 2007, pMID: 17295549. [Online]. Available: <http://dx.doi.org/10.1021/nl062989e>
- [12] K. Feron, T. J. Nagle, L. J. Rozanski, B. B. Gong, and C. J. Fell, "Spatially resolved photocurrent measurements of organic solar cells: Tracking water ingress at edges and pinholes," *Solar Energy Materials and Solar Cells*, vol. 109, no. 0, pp. 169 – 177, 2013. [Online]. Available: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0927024812005107>
- [13] F. C. Krebs, R. Sondergaard, and M. Jorgensen, "Printed metal back electrodes for {R2R} fabricated polymer solar cells studied using the {LBIC} technique," *Solar Energy Materials and Solar Cells*, vol. 95, no. 5, pp. 1348 – 1353, 2011, special Issue : 3rd International Summit on {OPV} Stability. [Online]. Available: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0927024810006501>
- [14] T. Jeranko, H. Tributsch, N. Sariciftci, and J. Hummelen, "Patterns of efficiency and degradation of composite polymer solar cells," *Solar Energy Materials and Solar Cells*, vol. 83, no. 2-3, pp. 247 – 262, 2004, the development of organic and polymer photovoltaics. [Online]. Available: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0927024804000984>
- [15] G. A. Riviere, J.-J. Simon, L. Escoubas, W. Vervisch, and M. Pasquinelli, "Photo-electrical characterizations of plastic solar modules," *Solar Energy Materials and Solar Cells*, vol. 102, no. 0, pp. 19 – 25, 2012, organic, Dye sensitized and Innovative approaches for Photovoltaic Applications. [Online]. Available: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0927024812000463>
- [16] J. Domaradzki, "Light-beam-induced current (lbic) technique for semiconductors and ics testing," pp. 269–274, 2003. [Online]. Available: <http://dx.doi.org/10.1117/12.501534>
- [17] A. R. Gxasheka, E. E. van Dyk, and F. J. Vorster, "Local photo-response measurements of photovoltaic devices," *physica status solidi (c)*, vol. 5, no. 2, pp. 645–648, 2008. [Online]. Available: <http://dx.doi.org/10.1002/pssc.200776836>
- [18] J. Bajaj, L. O. Bubulac, P. R. Newman, and W. E. Tennant, "Spatial characterization of semiconductors using 'laser beam induced current (lbic)'," pp. 136–141, 1987. [Online]. Available: <http://dx.doi.org/10.1117/12.940904>
- [19] J. Vanek and K. Jandova, *Solar Cells - Silicon Wafer-Based Technologies*, 2011, ch. Possibilities of Usage LBIC Method for Characterisation of Solar Cells, pp.111–124.

[20] V. D. E. E. Voster F.J, *Review of Scientific Instruments*, vol. 1, p. 78, 2007.