

# Instituto Tecnológico Superior de Abasolo

Organismo Público Descentralizado del Gobierno del Estado de Guanajuato.



## **Celdas solares orgánicas con óxido de grafeno sensibilizadas con tinte de mora.**

Residencia profesional para obtener el título de:

### **Ingeniero en Energías Renovables.**

Presenta:

**Enriquez Salazar María Edith.**

Asesor de Residencias:

**M.E.E.E.R José Sabas Segura**

ABASOLO, GTO.

Julio 01, 2024



## **Autorización de presentación de trabajo de titulación**

Se autoriza al estudiante **Enriquez Salazar María Edith inscrito** en la Ingeniería “Innovación Agrícola Sustentable” del Instituto Tecnológico Superior de Abasolo, con número de control **AS18110331**, a defender su proyecto de trabajo de titulación **“Celdas solares orgánicas con óxido grafeno sensibilizadas con tinte de mora”** ante el comité sinodal asignado.

La presente se expide en Abasolo Guanajuato a los DD de Mes de AAAA.

\_\_\_\_\_  
ME.E.E.R José Sabas Segura

\_\_\_\_\_  
M.E. Omar Daniel Corral  
García

\_\_\_\_\_  
M.C. María Rico Martínez





# Instituto Tecnológico Superior de Abasolo

## Autorización de trabajo profesional

Por medio del presente documento autorizó la impresión y presentación del proyecto, cuyos generales son los siguientes:

Nombre del Proyecto: **Celdas solares orgánicas con óxido de grafeno sensibilizadas con tinte de mora.**

Alumno participante: **AS18110331 María Edith Enríquez Salazar.**

Carrera: **Ingeniería en Energías Renovables**

Esto, en virtud de que el trabajo contiene los requisitos solicitados y

- El título es claro
- El trabajo corresponde al área de formación del alumno
- Los objetivos son bien redactados y congruentes con el título
- El contenido del documento es elaborado y desarrollado por el alumno
- Se discuten y analizan los resultados del trabajo
- El trabajo es a espacio sencillo y justificado en computadora en tamaño carta
- Inicia cada capítulo en hoja por separado
- Utiliza sistema internacional de medidas
- Utiliza margen izquierdo de 3 cm, superior, derecho e inferior de 2.5 cm.
- Inicia la paginación en la Introducción y la anterior con No. Romano y minúscula en el resumen
- Utiliza el sistema de numeración decimal o alfanumérico y no los combina
- El trabajo está escrito en tiempo presente y de manera impersonal
- Utiliza la portada del documento al igual que el formato de tesis
- El título del documento va impreso en el lomo del libro al igual que en los discos
- Tiene índice de tablas y figuras
- La Introducción, Resumen y Conclusiones son de una cuartilla

- Títulos y subtítulos alineados a la izquierda
- La Referencia Bibliográfica esta ordenada alfabéticamente

Atentamente

---

**M.E.E.E.R. José Sabas Segura**

Fecha: Julio 04, 2024

Código: FDPV-PR13-04

Rev. 0

Fecha de Rev. 10-06-15

Hoja 1 de 1

# Agradecimientos

## **María Edith Enriquez Salazar**

Quiero expresar mi profundo agradecimiento a mis padres por su apoyo inquebrantable y su constante estímulo durante mi trayectoria académica. Su amor, dedicación y sacrificio han sido la fuente de mi motivación y determinación para alcanzar este logro. Gracias por su inagotable paciencia, comprensión y aliento en los momentos difíciles. Este logro no habría sido posible sin su amor incondicional y su firme creencia en mí. A ustedes, mis queridos padres, les dedico con todo mi corazón mi titulación profesional.

Agradezco profundamente a todos los profesores, personal administrativo y compañeros que contribuyeron a mi formación académica y crecimiento personal durante este tiempo.

Asimismo, deseo expresar mi gratitud a quien fue mi primer asesor, David Arana, por su orientación, consejo y dedicación iniciado con las bases de mi trabajo de titulación, gracias también a mi asesor José Sabas por compartir un poco de su experiencia para culminar este proyecto brindándome su apoyo y motivación, mismos que fueron fundamentales para superar los desafíos y alcanzar mis metas académicas.

## Resumen

Las celdas solares sensibilizadas con colorantes naturales han demostrado ser una de las alternativas más prometedoras a nivel tecnológico, económico y ambiental, ya que pueden llegar a tener una alta eficiencia a un bajo costo de producción.

La presente investigación se realizó con el objetivo de evaluar el uso de colorantes naturales como la mora (*Rubus ulmifolius*) además de la adición de óxido de grafeno, para su posterior aplicación en celdas solares sensibilizadas (DSSC) para la generación de energía eléctrica.

Una DSSC tipo Graetzel consta de dos electrodos: foto electrodo, formado por un vidrio con oxido de indio-estaño (ITO), en esta se añade una película delgada de dióxido de titanio ( $TiO_2$ ) y se deposita el colorante natural. El contraelectrodo: formado también por un vidrio ITO, en esta parte se coloca una película de carbón activado.

Usando el tinte de mora y adicionando oxido de grafeno en este tipo de celdas se busca aprovechar sus diferentes propiedades para mejorar la eficiencia de estas y en un futuro lograr una buena comparación o sustitución con las celdas convencionales de silicio, ya que estas últimas ocasionan un problema grave de contaminación al no poder ser recicladas además de los daños ecológicos que causa su fabricación.

Algunas de las ventajas que presentan las DSSC es que son biodegradables, reutilizables, el proceso de producción es económico, son más sensibles a la luz difusa o indirecta, al usar un colorante orgánico se aprovecha al máximo toda aquella fruta de mora que ya no es apta para el consumo humano además de evitar el desperdicio o acumulación en los lugares donde es cosechada.

A lo largo de este trabajo se analizó el rendimiento del colorante natural extraído de la mora, usando un adicional de óxido de grafeno en la deposición de la película de  $TiO_2$ .

**Palabras Clave:** DSSC, energía, orgánico, radiación solar.

## Abstract

Solar cells sensitized with natural dyes have proven to be one of the most promising alternatives at a technological, economic and environmental level, as they can have high efficiency at a low production cost.

The present research was carried out with the aim of evaluating the use of natural dyes such as blackberry (*Rubus ulmifolius*) in addition to the addition of graphene oxide, for its subsequent application in sensitized solar cells (DSSC) for the generation of electrical energy.

A Graetzel type DSSC consists of two electrodes: a photoelectrode, formed by a glass with indium-tin oxide (ITO), in which a thin film of titanium dioxide ( $TiO_2$ ) is added and the natural dye is deposited. The counterelectrode: also made of ITO glass, an activated carbon film is placed in this part.

Using blackberry dye and adding graphene oxide in this type of cells, we seek to take advantage of their different properties to improve their efficiency and in the future achieve a good comparison or substitution with conventional silicon cells, since the latter cause a serious pollution problem as they cannot be recycled in addition to the ecological damage caused by their manufacture.

Some of the advantages of DSSCs are that they are biodegradable, reusable, the production process is economical, they are more sensitive to diffuse or indirect light, by using an organic dye you make the most of all that blackberry fruit that is no longer suitable for human consumption in addition to avoiding waste or accumulation in the places where it is harvested.

Throughout this work, the yield of the natural dye extracted from the mulberry was analyzed, using an additional graphene oxide in the deposition of the  $TiO_2$  film.

**Key words:** DSSC, Energy, Organic, Solar Radiation

# Índice

<b>AGRADECIMIENTOS</b>	<b>V</b>
<b>RESUMEN</b>	<b>VI</b>
<b>ABSTRACT</b>	<b>VI</b>
índice de figuras	XI
índice de tablas	XII
Introducción	15
<b>I. GENERALIDADES DEL PROYECTO</b>	<b>17</b>
1.1 Planteamiento del problema	18
1.2 Justificación	18
1.3 Hipótesis	19
1.4 Objetivos	19
1.4.2 Objetivos específicos	20
<b>II. MARCO TEÓRICO</b>	<b>21</b>
2.1 Fuentes de energía no renovables	22
2.1.1 Ejemplos de energías no renovables:	22

2.1.2	Importancia de los combustibles fósiles	23
2.1.3	Impacto ambiental de las energías no renovables o energía fósil	23
2.2	Energías renovables	24
2.2.1	Tipos de energías renovables	25
2.3	Energía solar	25
2.3.1.	Tipos de energía solar	26
2.3.2.	Energía solar térmica	26
2.3.3.	Energía solar pasiva	26
2.3.4.	Energía solar fotovoltaica	26
2.3.5.	Tipos de paneles solares	27
2.4	Celdas solares sensibilizadas por colorante (dssc)	29
2.4.1.	Estructura y componentes	30
2.5	Óxido de grafeno.	30
<b>III.</b>	<b>METODOLOGÍA</b>	<b>32</b>
3.1	Localización del área del experimento	33
3.2	Elaboración del oxido de grafeno.	33
3.3	Preparación del colorante (tinte).	36

3.4 Preparación de las placas de vidrio _____	37
3.5 Preparación de la solución <b>TiO<sub>2</sub></b> _____	37
3.6 Preparación y coloración del electrodo negativo. _____	38
3.7 Preparación del electrodo positivo _____	39
3.8 Montaje de la celda _____	40
<b>IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN</b> _____	<b>41</b>
4.1 Resultados obtenidos de las dssc con tinte de mora _____	42
4.2 Resultados obtenidos de las dssc con og _____	43
4.3 Comparación _____	44
<b>V. CONCLUSIÓN</b> _____	<b>47</b>
<b>VI. REFERENCIAS</b> _____	<b>49</b>
<b>VII. ANEXOS</b> _____	<b>54</b>

## Índice de figuras

<b>Figura 3.1</b> localización del área de trabajo .....	33
<b>Figura 3.2</b> Mezcla de reactivos puesta a baño María inverso.....	34
<b>Figura 3.3</b> Mezcla de óxido de grafeno en agitación .....	34
<b>Figura 3.4</b> Centrifugado. Primer centrifugado A), segundo centrifugado con la solución de ácido clorhídrico al 1% B), y Tercer y ultima centrifugada usando solamente agua destilada C). .....	35
<b>Figura 3.5</b> Obtención del oxido de grafeno. (A) Oxido de grafeno resultante del último centrifugado, (B) colocación del grafeno en el deshidratador solar para retirar la humedad, (C) oxido de grafeno después de 1 hora y (C) oxido de grafeno sin humedad y bien triturado.....	36
<b>Figura 3.6</b> Proceso para obtener el tinte. (A) mora triturada en un mortero, (B) adición de la solución de NaOH y puesta en agitación, (C) filtración de la mezcla usando una bomba de vacío, (D) puesta de la mezcla en el rotavapor y (E) obtención del tinte orgánico .....	37
<b>Figura 3.7</b> Placa de vidrio limpia e identificado su lado conductor .....	37
<b>Figura 3.8</b> Mezcla de $TiO_2$ .....	38
<b>Figura 3.9</b> Preparación de la placa. (A) placa de vidrio con la mezcla de dióxido de titanio y (B) misma placa, pero con adición del tinte de mora cubriendo toda la superficie.....	39
<b>Figura 3.10</b> Placas con el agregado de carbón activado.....	39
<b>Figura 3.11</b> Preparación para el montaje de la celda. Placas con la mezcla de óxido de titanio, tinte de mora y una pequeña cantidad de mertiolate, el cual sirve para activar la placa.....	40
<b>Figura 3.12</b> Celda armada.....	40
<b>Figura 4.1</b> Graficas resultantes de los 3 experimentos usando las placas con tinte de mora (A, B y C).....	42
<b>Figura 4.2</b> Graficas resultantes de los 3 experimentos usando las placas con la adición de óxido de grafeno y el tinte de mora .....	43

## Índice de tablas

<b>Tabla 4.1</b> Valores resultantes de la eficiencia de la celda y el fill factor, obtenidos a partir de la corriente, el voltaje y la potencia máxima resultante de cada una de las celdas solares sensibilizadas .....	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
<b>Tabla 4.2</b> Valores resultantes de la eficiencia de la celda y el fill factor, obtenidos a partir de la corriente, el voltaje y la potencia máxima resultante de cada una de las celdas solares con grafeno sensibilizadas con el tinte de mora .....	45
<b>Tabla 4.3</b> Resultados obtenidos del artículo Dye-sensitized solar cell (DSSC) utilizing reduced graphene oxide (RGO) films counter electrode: effect of graphene oxide (GO)” donde se usaron diferentes concentraciones de óxido de grafeno para evaluar su eficiencia .....	46
<b>Tabla 7.1</b> Materiales, equipo y reactivos utilizados .....	55

## Símbolos y/o abreviaturas

<b>Gr.</b>	Gramo
<b><i>NaOH</i></b>	Hidróxido de sodio
<b><i>TiO<sub>2</sub></i></b>	Dióxido de titanio
<b>DSSC</b>	Célula solar sensibilizada por colorante
<b><i>KMnO<sub>4</sub></i></b>	Permanganato de potasio.
<b><i>H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub></i></b>	Ácido sulfúrico.
<b>HCL</b>	Ácido clorhídrico
<b><i>V<sub>pmax</sub></i></b>	Tensión a máxima potencia
<b><i>I<sub>pmax</sub></i></b>	Corriente a máxima potencia
<b>FF</b>	Fill Factor
<b><i>V<sub>oc</sub></i></b>	Voltaje de circuito abierto
<b><i>I<sub>sc</sub></i></b>	Corriente de corto circuito
<b><i>I<sub>max</sub></i></b>	Corriente máxima
<b><i>V<sub>max</sub></i></b>	Voltaje máximo
<b><i>η<sub>ec</sub></i></b>	Eficiencia de la celda

## Glosario

**Celda solar Graetzel:** también conocida como célula solar sensibilizada por colorante, produce electricidad mediante un principio fotoelectroquímico, cambiando la energía lumínica en energía eléctrica. Son celdas solares de bajo costo pertenecientes a las células solares de películas finas.

**Biomasa:** unidad de materia orgánica que se utiliza como fuente de energía. Esta materia puede ser proveniente de animales o de plantas, incluyendo residuos orgánicos.

**Biodiesel:** combustible renovable, limpio y de origen natural que se produce a partir de aceites vegetales, grasas animales o aceites usados.

**Fotocatalizador:** material que absorbe la luz para llevarla a un nivel de energía superior y proporciona dicha energía a una sustancia que reacciona para que se produzca una reacción química.

**Biogás:** gas natural que se produce a partir de la descomposición de la materia orgánica, como residuos animales, agrícolas e industriales.

**Energía solar fotovoltaica:** fuente de energía que produce electricidad de origen renovable, obtenida directamente de la radiación solar mediante un dispositivo semiconductor denominado célula fotovoltaica.

# INTRODUCCIÓN

En la actualidad, se observa un incremento notable de la población, lo cual ha generado, a su vez, un aumento en la demanda eléctrica. Este fenómeno se atribuye al creciente número de dispositivos que consumen energía, la cual proviene en su mayoría de fuentes no renovables. Estas fuentes, por su parte, se encuentran en un estado de agotamiento, razón por la cual se busca activamente alternativas más económicas y respetuosas con el medio ambiente para satisfacer esta demanda en constante crecimiento.

En el contexto mexicano, la energía fósil domina la estructura económica, mientras que la participación de las energías renovables en la matriz energética es mínima. Esta situación contrasta con el considerable potencial que posee el territorio mexicano para el desarrollo e implementación de fuentes de energía renovable, especialmente la solar, eólica y geotérmica. Las energías renovables son altamente viables en México, dada la riqueza en recursos naturales y la distribución territorial propicia para un desarrollo regionalizado. Por ejemplo, en el norte del país se identifica un considerable potencial de radiación solar que podría ser explotado eficientemente para la producción de energía (Larios, 2015).

La energía solar destaca como una fuente renovable abundante, y la implementación de celdas solares se presenta como una alternativa viable. A pesar de que las celdas más comúnmente empleadas son aquellas elaboradas a base de silicio, su elevado costo de producción constituye una limitante significativa. Gracias a los avances tecnológicos, se han desarrollado tres generaciones de celdas solares: las de silicio (primera generación), las de capas delgadas de semiconductor (segunda generación) y las sensibilizadas por colorantes DSSC (tercera generación). Estas últimas resultan más sencillas de fabricar, ya que es posible utilizar colorantes naturales presentes en frutas o flores, lo que conlleva a una reducción de costos en comparación con las convencionales (Mendoza et al., 2019).

Las celdas solares sensibilizadas por colorante (DSSC) emplean un tinte orgánico para absorber la luz solar y transformarla en energía eléctrica. Este colorante se deposita en un electrodo poroso, generalmente compuesto de dióxido de titanio, y la generación

de energía eléctrica tiene lugar mediante el desplazamiento de electrones entre el colorante y el electrodo (Elianora, 2022).

Una de las ventajas más destacadas de estas celdas solares, en comparación con las tecnologías tradicionales, radica en su capacidad para funcionar eficientemente incluso en condiciones de iluminación baja o difusa. Por ende, pueden aplicarse tanto en interiores como en regiones caracterizadas por una radiación solar limitada. Además, la posibilidad de utilizar una amplia variedad de colorantes y materiales en su fabricación abre numerosas posibilidades para su integración de manera estética y funcional en la arquitectura de edificios (FabIndus, 2024).

# **I. GENERALIDADES DEL PROYECTO**

## **1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

En la actualidad, las celdas solares de tipo Graetzel enfrentan desafíos críticos que limitan su viabilidad a largo plazo como fuente de energía eficiente y sostenible. Sin embargo, estas celdas exhiben una eficiencia energética relativamente baja en comparación con las celdas solares convencionales de silicio, además de presentar una vida útil corta y estabilidad a largo plazo limitada. Estas características disminuyen su atractivo como una opción fiable y duradera para la generación de energía. Por otro lado, la tecnología convencional de celdas solares de silicio plantea preocupaciones ambientales significativas relacionadas con su producción y desecho.

La exploración del óxido de grafeno como material conductor en las celdas solares Graetzel se presenta como una posible solución que podría no solo mejorar el rendimiento de estas celdas, sino también abordar las preocupaciones ambientales asociadas con las celdas solares tradicionales de silicio.

## **1.2 JUSTIFICACIÓN**

Abordar los retos actuales en las celdas solares de tipo Graetzel y la gestión de desechos de celdas solares de silicio convencionales se presenta como una necesidad imperativa en el contexto de la evolución hacia fuentes de energía más eficientes y respetuosas con el medio ambiente.

La mejora de la eficiencia y vida útil de las celdas solares Graetzel es esencial para potenciar su aplicabilidad en el ambiente de la energía renovable. Superar la baja eficiencia y la limitada durabilidad podría impulsar la adopción masiva de estas celdas como una opción competitiva frente a las tecnologías solares tradicionales, contribuyendo así a la diversificación y expansión del uso de energías limpias.

Simultáneamente, la problemática asociada con el desecho de celdas solares de silicio plantea un desafío ambiental significativo. La adopción de enfoques más sostenibles, como la exploración de materiales alternativos y procesos de reciclaje eficientes, se

vuelve crucial para reducir la huella ambiental y minimizar la pérdida de valiosos recursos.

La introducción del óxido de grafeno como material conductor en las celdas solares Graetzel ofrece una oportunidad estratégica para abordar de manera integral ambas problemáticas. Este enfoque no solo busca mejorar la eficiencia y durabilidad de estas celdas, sino también proporcionar una alternativa más sostenible a las celdas solares de silicio. En este sentido, la investigación y desarrollo en esta dirección se revelan como un paso fundamental hacia la construcción de un futuro energético más sostenible, eficiente y ambientalmente consciente.

## **1.3 HIPÓTESIS**

La incorporación de óxido de grafeno como material conductor en las celdas solares tipo Graetzel mejorara significativamente la eficiencia y estabilidad del dispositivo, al proporcionar propiedades eléctricas mejoradas y una mayor conductividad, lo que llevara a un aumento en la conversión

## **1.4 OBJETIVOS**

### **1.4.1 Objetivo general**

Fabricar y caracterizar celdas solares de tipo Graetzel mejoradas mediante la incorporación de óxido de grafeno como material conductor, con el propósito de evaluar y optimizar su eficiencia energética.

### **1.4.2 Objetivos específicos**

- Realizar análisis detallado de las curvas I-V para entender la respuesta eléctrica de las celdas solares
- Medir y comparar la eficiencia de conversión de energía solar a eléctrica de las celdas solares Graetzel con y sin óxido de grafeno.
- Investigar cómo las variaciones de concentraciones de óxido de grafeno afectan las propiedades eléctricas y la eficiencia de las celdas solares Graetzel.

## **II. MARCO TEÓRICO**

## 2.1 Fuentes de energía no renovables

También conocidas como energías fósiles, se refieren a aquellas provenientes de fuentes que existen en cantidades limitadas y que se agotan a medida que son utilizadas. Estas fuentes han experimentado su formación a lo largo de millones de años mediante procesos geológicos y biológicos (Planas, s. f.).

lo más común es que para generar estas fuentes de energía se quemen sobre todo combustibles fósiles, los cuales en el proceso de combustión liberan grandes emisiones de gases de efecto invernadero. La emisión de estos gases hoy en día es una de las principales causas del cambio climático, pues su cantidad en la atmósfera incrementa rápidamente (Moriana, 2020).

Existen dos categorías de energía no renovable: las convencionales, que abarcan todas las fuentes fósiles como el petróleo, gas natural y carbón; y las no convencionales, que incluyen aquellas derivadas de biocombustibles, agrocombustibles o combustibles cultivados, así como las nucleares, tales como el uranio y el plutonio (Novelec, 2023).

### 2.1.1 Ejemplos de energías no renovables:

- **Petróleo:** Compuesto orgánico que se forma a partir de una mezcla de hidrocarburos insolubles en agua, formado a partir de la transformación de materia orgánica acumulada en forma de sedimentos.
- **Carbón:** Roca sedimentaria de origen orgánico formada a partir de restos vegetales.
- **Gas natural:** Hidrocarburo resultante de la mezcla de gases de origen natural, principalmente metano, que se forma por la descomposición de capas de plantas y materia de origen animal expuestas al calor y presión durante millones de años (Moriana, 2020).

## **Ventajas**

- Pueden ser transportados y almacenados de manera sencilla
- Fáciles de extraer, además de que ya se cuenta con las herramientas e infraestructura necesarias.
- Es un tipo de energía económica
- Su extracción suele ser más económica

## **Desventajas**

- Aumento importante del efecto invernadero
- Los combustibles fósiles son tóxicos para la naturaleza pues se llega a liberar mercurio y arsénico
- Aumentan el calentamiento global
- Al no encontrarse distribuidos en todo el planeta, se llegan a generar conflictos entre países

### **2.1.2 Importancia de los combustibles fósiles**

En la actualidad, los combustibles fósiles ostentan una relevancia vital, siendo la principal fuente de energía utilizada a nivel global. Su importancia radica en su capacidad para generar grandes cantidades de calor, lo que los posiciona como una opción superior a otros tipos de combustibles. Además, desempeñan un papel fundamental en el sector del transporte, siendo un elemento imprescindible para su funcionamiento (Briceño, 2021).

### **2.1.3 Impacto ambiental de las energías no renovables o energía fósil**

La producción de energía mediante la combustión de combustibles fósiles conlleva la liberación de gases como benzopireno, dióxido de carbono, óxido de azufre, óxido de nitrógeno y monóxido de carbono, estas emisiones tienen consecuencias ambientales significativas, como el fortalecimiento del efecto invernadero, el aumento de la temperatura media global (calentamiento global), lluvias ácidas, deshielo en los

casquetes polares, elevación del nivel del mar, intensificación de fenómenos climáticos extremos, contaminación del suelo, aire y cuerpos de agua superficial y subterránea (Portillo, 2020).

## **2.2 Energías renovables**

Según la definición de la Organización de las Naciones Unidas (ONU), las energías renovables son aquellas derivadas de fuentes naturales que se reponen a un ritmo superior al que se consumen (National Geographic España, 2024). Estas energías generan menos emisiones en comparación con las fuentes fósiles, siendo más accesibles económicamente en la mayoría de los países y generando empleo de manera más extensa. Actualmente, representan una transición importante frente a los combustibles fósiles, responsables de las mayores emisiones contaminantes (United Nations, s. f.).

Según Caballero (2023), algunas desventajas de las energías renovables incluyen la dependencia de factores naturales, sin un plazo fijo para la producción de energía, y el impacto arquitectónico en las áreas donde se implementan.

Por otro lado, se destacan ventajas significativas, como la ausencia de emisiones de gases de efecto invernadero, el uso eficiente de agua, la reducción de tarifas en servicios esenciales, la generación de empleo y la posibilidad de llevar la electricidad a comunidades remotas, impulsando su desarrollo (Medio Ambiente Y Recursos Naturales, s. f.).

El crecimiento de las energías renovables ha sido notable, según estadísticas anuales de la Agencia Internacional de la Energía (AIE) se proyecta que la participación de las energías renovables en el suministro eléctrico global aumente del 28.7% en 2021 al 43% en 2030, proporcionando aproximadamente dos tercios del incremento en la demanda eléctrica de ese periodo, principalmente a través de tecnologías eólicas y fotovoltaicas (Acciona, 2020).

### **2.2.1. Tipos de energías renovables**

Entre las energías renovables o también llamadas energías limpias se encuentran (Acciona, 2020):

- Energía eólica: obtenida por medio del viento
- Energía solar: se obtiene por medio del sol. Las principales tecnologías son la solar fotovoltaica, en esta se aprovecha la luz solar, y la solar térmica, aprovechando el calor del sol
- Energía hidráulica o hidroeléctrica: es la energía que se obtiene de los ríos y corrientes de agua dulce
- Biomasa y biogás: energía extraída de la materia orgánica
- Energía geotérmica: energía calorífica contenida en el interior de la Tierra
- Energía mareomotriz: se obtiene de las mareas
- Energía undimotriz u ola motriz: energía que se obtiene de las olas
- Bioetanol: combustible orgánico apto para la automoción que se logra mediante procesos de fermentación de productos vegetales
- Biodiesel: combustible orgánico para automoción, obtenido de aceites vegetales

## **2.3 Energía solar**

La energía solar es la energía radiante emitida por el Sol en forma de radiación electromagnética. Esta energía se puede aprovechar mediante diversas tecnologías, como paneles solares, para generar electricidad o calor. Es una forma de energía renovable y limpia, ya que su fuente, el Sol, es inagotable y no produce contaminación directa (Bordino, 2021).

### **2.3.1. Tipos de energía solar**

La energía solar, proveniente de la fusión nuclear en el Sol, se transmite a la Tierra a través de dos tipos de radiación: la radiación directa, que proviene de las áreas directamente iluminadas por el Sol, y la radiación difusa, que se dispersa en días nublados y se refleja en la atmósfera, polvo u otras superficies. Los paneles solares y colectores capturan esta energía para convertirla en formas útiles y sostenibles. Esta energía solar se divide en tres categorías según su aprovechamiento: térmica, fotovoltaica y pasiva (Endesa, 2021).

### **2.3.2. Energía solar térmica**

La energía solar térmica es una fuente renovable de energía que utiliza la radiación solar para generar calor (Ceupe, 2022).

La energía solar térmica se caracteriza por su naturaleza renovable e inagotable, derivada del aprovechamiento de la radiación solar en forma de calor. Principalmente utilizada para calentar agua, también se aplica en calefacción, climatización, calentamiento de piscinas y generación de electricidad. Esta energía se captura mediante colectores solares y equipos de termosifón, lo que reduce la dependencia de otras fuentes de energía y ayuda a mitigar las emisiones contaminantes y los gases de efecto invernadero (Segui, 2023).

### **2.3.3. Energía solar pasiva**

La energía solar pasiva consiste en aprovechar la luz del sol de forma directa, sin necesidad de una tecnología que actúe de intermediaria (Endesa, 2021).

### **2.3.4. Energía solar fotovoltaica**

La energía solar fotovoltaica se produce al transformar la luz solar en electricidad mediante el efecto fotoeléctrico. Es una fuente renovable, inagotable y sin emisiones contaminantes, que puede generarse tanto en instalaciones de autoconsumo como en grandes plantas fotovoltaicas (Iberdrola, 2020).

Cuando la radiación solar incide sobre una de las caras de una célula fotoeléctrica dentro de los paneles solares, se genera una diferencia de potencial eléctrico entre ambas caras. Esto provoca que los electrones se desplacen de un lugar a otro, creando así corriente eléctrica (Accion, 2018).

### **2.3.5. Tipos de paneles solares**

#### **2.3.5.1. Placas solares fotovoltaicas**

Están compuestas por células solares fotovoltaicas que se ionizan al recibir la radiación solar. Este proceso libera electrones, cuya interacción genera energía eléctrica.

##### **1. Placas solares monocristalinas:**

La tecnología monocristalina se refiere al método de fabricación de las células solares en los paneles solares. En los paneles monocristalinos, las células están hechas de un único cristal de silicio, lo que les otorga una apariencia uniforme y una mayor eficiencia en la conversión de la luz solar en electricidad. Esta estructura cristalina única permite una mejor organización de los electrones, lo que se traduce en una mayor capacidad para generar electricidad (Hilcu, 2023).

##### **Características:**

Las placas solares monocristalinas se distinguen por su apariencia uniforme y oscura, así como por su tamaño estándar de 164 cm x 99 cm y 60 celdas. Ofrecen una alta eficiencia, superando el 20%, gracias al uso de silicio puro en su fabricación. Además, tienen un bajo coeficiente de temperatura, lo que les permite mantener una producción eficiente de energía incluso en climas cálidos. Sin embargo, suelen ser más costosas debido al proceso de producción complejo del silicio monocristalino. Los paneles solares monocristalinos se caracterizan por su durabilidad, con una vida útil típica de al menos 25 años, aunque puede variar según el fabricante y el uso, con un mínimo

garantizado de 12 años. Esto los convierte en una inversión a largo plazo para la generación de energía solar confiable (Rivera, 2023).

## **2. Placas solares policristalinas:**

Los paneles solares policristalinos son una de las tecnologías de células solares utilizadas en los paneles solares fotovoltaicos. Estos paneles están compuestos por células solares de silicio que se forman a partir de lingotes del mismo material fundido y enfriado lentamente. A diferencia de los paneles solares monocristalinos, los paneles policristalinos tienen una apariencia moteada o de mosaico, lo que indica que sus células solares están formadas por varios cristales de silicio (SotySolar, 2023).

### **Características:**

Los paneles solares policristalinos se identifican por su forma rectangular y color azul con bordes puntiagudos, en contraste con los paneles monocristalinos que presentan bordes ligeramente curvados. Destacan por su alta resistencia al sobrecalentamiento, absorbiendo el calor de manera eficiente en comparación con otros tipos de paneles. Compuestos por células de cristales de silicio unidos, estos paneles requieren un mantenimiento mínimo y pueden limpiarse fácilmente con un paño húmedo para asegurar un rendimiento óptimo y cumplir con los requisitos de voltaje del sistema en todo momento (Carlos, 2021).

## **3. Placas solares amorfas o de capa fina:**

Se distinguen por utilizar materiales semiconductores amorfos en lugar de los semiconductores cristalinos tradicionales. Estos materiales, como el silicio amorfo o el telurio de cadmio, ofrecen una mayor flexibilidad y ligereza en comparación con las placas solares convencionales (Nicho, 2023).

### **Características:**

Las placas solares amorfas se destacan por su flexibilidad, ya que, al fabricarse sobre una superficie flexible, resultan en paneles que pueden doblarse. Esta característica permite una fácil adaptación a diversas superficies y su delgadez facilita el moldeado durante la fabricación. Además, al requerir menos material en su producción, son una opción más económica en el mercado. Sin embargo, su potencia puede disminuir con el tiempo si no se les proporciona un mantenimiento adecuado, como la limpieza regular para eliminar impurezas que puedan obstaculizar la captación de la luz solar. Los costos varían según las dimensiones de los paneles, que pueden encontrarse en diferentes tamaños, lo que influye en su precio final (La energía solar, 2019).

## **2.4 Celdas solares sensibilizadas por colorante (DSSC)**

La célula solar sensibilizada por colorante, también conocida como DSSC o célula Graetzel, es una opción económica dentro de las células solares de película delgada. Fue co-inventada en 1988 por Brian O'Regan y Michael Grätzel, siendo este último reconocido con el Premio de Tecnología del Milenio en 2010 por esta innovación. Esta célula se basa en un semiconductor entre un ánodo foto-sensibilizado y un electrolito, formando un sistema fotoelectroquímico. Aunque su eficiencia es menor que otras células de película delgada, su fácil fabricación con técnicas convencionales de impresión, su flexibilidad y transparencia, así como su bajo costo, la hacen atractiva para diversas aplicaciones. Sin embargo, la eliminación de materiales costosos como platino y rutenio, así como los desafíos relacionados con el electrolito líquido, son aspectos que requieren atención para su uso en diferentes climas. A pesar de sus limitaciones, se espera que su relación precio/rendimiento permita competir con la generación eléctrica de combustibles fósiles al alcanzar la paridad de red (Hisour, 2019).

La expresión "sensibilizado por colorante" describe el proceso en el cual una célula solar, como las DSSC (células solares sensibilizadas por colorantes), utiliza un tinte orgánico para absorber la radiación solar. Este tinte se aplica generalmente sobre una capa de dióxido de titanio ( $TiO_2$ ), donde captura la energía solar y la transfiere al  $TiO_2$ . En esta capa, el  $TiO_2$  actúa como fotocatalizador, generando electrones y huecos que pueden crear una corriente eléctrica cuando reaccionan con el electrolito presente en la célula solar. Esta elección del  $TiO_2$  se debe a su eficacia como fotocatalizador, lo que contribuye a la eficiente conversión de la luz solar en electricidad en las DSSC (Elianora, 2022).

#### **2.4.1. Estructura y componentes**

La estructura de las células solares sensibilizadas por colorante consta de dos electrodos: el ánodo y el cátodo. El ánodo, que actúa como el terminal negativo, está compuesto por un electrodo revestido de óxido de indio-estaño, el cual sirve como conductor transparente y sustrato para una red de nanopartículas meso porosas sensibilizadas con colorante. Este electrodo, también conocido como foto electrodo, posee una superficie interior amplia que mejora la captación de luz solar. Por otro lado, el cátodo, el terminal positivo, también está revestido de óxido de indio-estaño dopado con flúor y cuenta con una capa de platino que facilita el transporte de electrones. Entre ambos electrodos se encuentra un electrolito, un solvente orgánico que asegura el transporte de carga a través del par redox. Finalmente, los electrodos se sellan juntos para evitar la evaporación del electrolito líquido (Rojas, 2016).

## **2.5 Óxido de grafeno.**

El grafeno se destaca como un material altamente prometedor debido a su combinación única de propiedades, que incluyen una notable dureza, una excepcional conductividad eléctrica y una sorprendente maleabilidad. Esta última característica es

especialmente inusual en materiales de alta dureza, ya que suelen ser frágiles. Por otro lado, el óxido de grafeno reducido se encuentra en un punto intermedio entre el óxido de grafeno y el grafeno puro. Mediante la reducción del óxido de grafeno, su estructura se asemeja más a la del grafeno, lo que resulta en propiedades más similares. Sin embargo, al no ser idéntico al grafeno, el óxido de grafeno reducido muestra una conductividad eléctrica inferior a la del grafeno, pero superior a la del óxido de grafeno.

Las propiedades de un material están intrínsecamente ligadas a su estructura, pero el óxido de grafeno desafía la caracterización debido a su complejidad y falta de un modelo definitivo. A grandes rasgos, se puede describir como una lámina bidimensional con átomos de carbono dispuestos en forma de panal de abeja, con grupos funcionales de hidróxido y oxígeno. A diferencia del grafeno puro, que busca una estructura cristalina perfecta, el óxido de grafeno retiene algunas impurezas. A pesar de esto, exhibe propiedades notables, como su baja conductividad eléctrica, que lo hace adecuado para materiales dieléctricos (Araceli, s. f.).

### **III. METODOLOGÍA**

### 3.1 Localización del área del experimento

Las celdas solares orgánicas se realizaron en el Instituto Tecnológico Superior de Abasolo, en el área de laboratorios (figura 3.1) con coordenadas 20°26'21"N de latitud y 101°32'40"W de longitud (Google Earth, 2024).



Figura 3.1 localización del área de trabajo

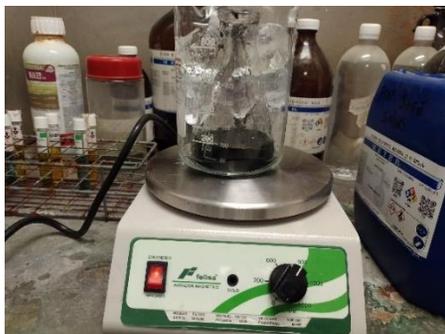
### 3.2 Elaboración del óxido de grafeno.

Para la obtención del óxido de grafeno, se procedió a pesar los siguientes reactivos utilizando una balanza analítica, un vidrio de reloj y una espátula

- 2.5 gr de carbón activado
- 1.25 gr de  $NaOH$
- 7.5 gr de  $KMnO_4$

Posteriormente, se llevó a cabo la mezcla vertiendo el carbón junto con el  $NaOH$  en un matraz de 250 ml. Este matraz se ubicó en la cabina de extracción (campana) sobre una parrilla de agitación en baño María inverso como se observa en la imagen 3.2.

Para este procedimiento, se empleó un vaso de precipitado de 1L, en el cual se colocó el matraz y se cubrió con hielo. Este último paso es crucial, ya que contribuye a reducir cualquier reacción no deseada.



**Figura 3.2** Mezcla de reactivos puesta a baño María inverso

Una vez alcanzada la baja temperatura, se procedió a verter gradualmente 57.5 ml de  $H_2SO_4$ , con la precaución de esperar a que la reacción disminuyera. Después de añadir todo el reactivo, se mantuvo la mezcla en agitación para permitir que la reacción concluyera antes de incorporar los 7.5 gramos de  $KMnO_4$ . Es importante destacar que la adición de este último reactivo debe realizarse en pequeñas cantidades debido a que, al entrar en contacto con el  $H_2SO_4$ , se forma óxido de manganeso ( $MnO_2$ ), lo cual puede resultar en una reacción explosiva, un buen punto a observar sobre esta reacción es el cambio inmediato de color, como se ilustra en la figura 3.3.

Una vez completada la reacción, se retiró el matraz del baño María inverso y se mantuvo en agitación durante 1 hora.



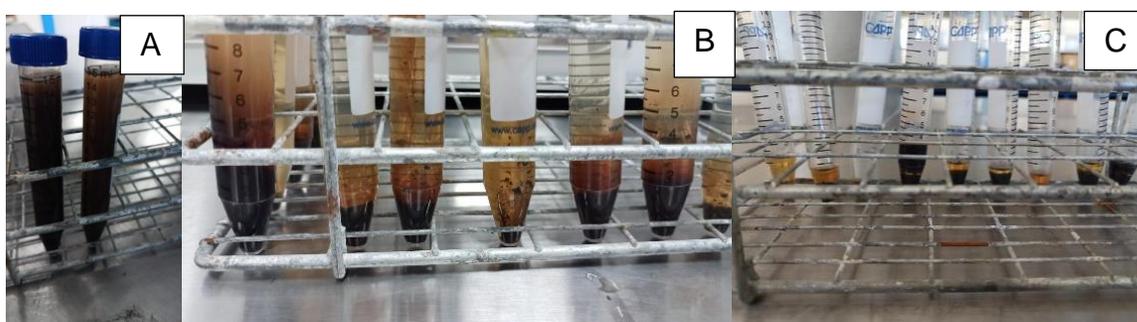
**Figura 3.3** Mezcla de óxido de grafeno en agitación

Posteriormente, se procedió a la limpieza del óxido de grafeno distribuyéndolo en 12 tubos Falcon, los cuales fueron colocados en la centrífuga a 200 rpm durante 1 hora. Transcurrido este tiempo, se retiró con cuidado el líquido, dejando únicamente el óxido de grafeno sedimentado en la parte inferior del tubo.

A continuación, se preparó una solución al 1% de ácido clorhídrico, la cual se utilizó para realizar una nueva centrifugación. Esta solución contribuyó a eliminar el excedente de permanganato.

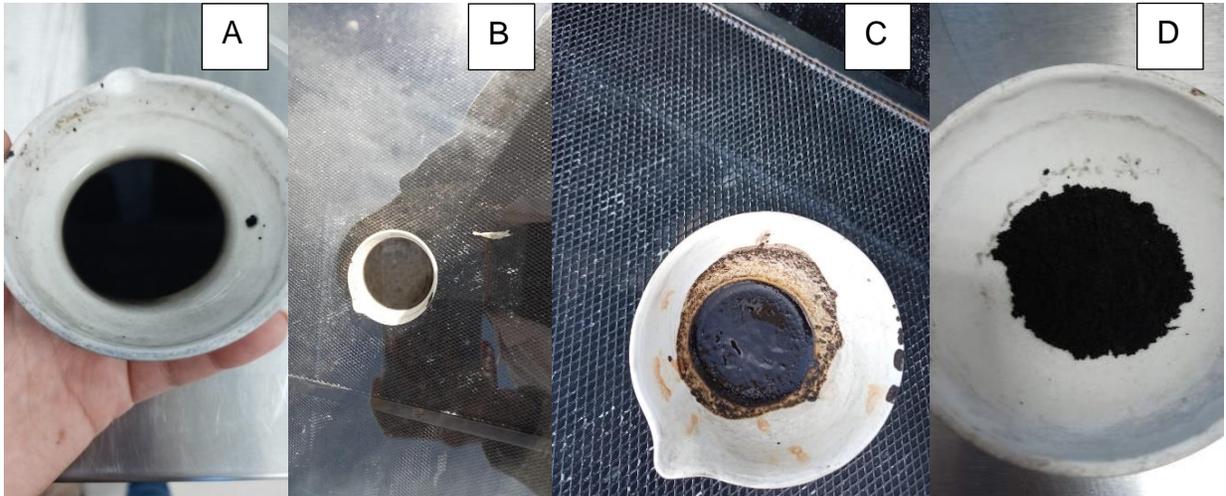
Finalmente, se llevaron a cabo dos centrifugaciones adicionales utilizando agua destilada con el propósito de eliminar por completo los residuos de ácidos restantes.

En la ilustración 3.4 se observa como poco a poco se fueron eliminando las impurezas, quedando en la parte inferior el producto de interés.



**Figura 3.4** Centrifugado. Primer centrifugado A), segundo centrifugado con la solución de ácido clorhídrico al 1% B), y Tercer y última centrifugada usando solamente agua destilada C).

Después de extraer el óxido de grafeno de los tubos Falcon, se trasladó a una cápsula de porcelana (figura 3.5). Esta cápsula se colocó posteriormente en el deshidratador solar durante un lapso aproximado de 2 horas, con el objetivo de eliminar el exceso de humedad.

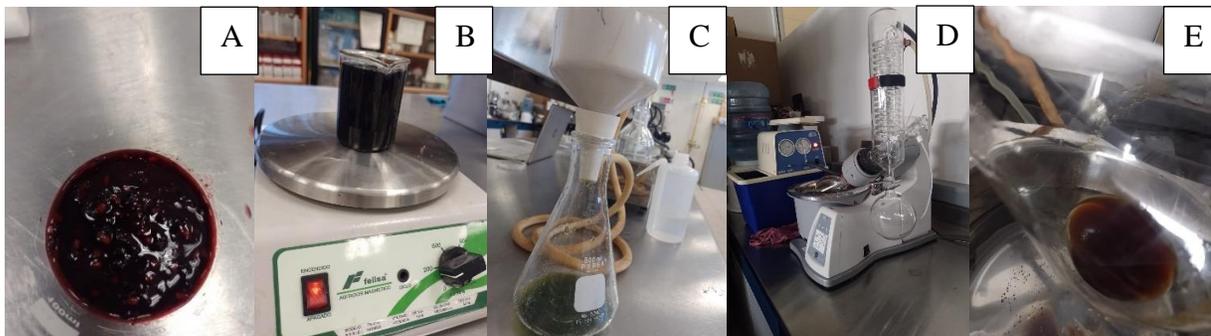


**Figura 3.5** Obtención del óxido de grafeno. (A) Óxido de grafeno resultante del último centrifugado, (B) colocación del grafeno en el deshidratador solar para retirar la humedad, (C) óxido de grafeno después de 1 hora y (D) óxido de grafeno sin humedad y bien triturado

En la preparación del colorante (tinte de mora), se llevaron a cabo las siguientes etapas:

1. Se pesaron 20 gramos de mora y 0.5 gramos de  $NaOH$ .
2. Se trituró la mora utilizando un mortero.
3. En un vaso de precipitado de 100 ml, se diluyeron los 0.5 gramos de  $NaOH$  en 100 ml de agua destilada, y se vertió la mora triturada en la solución resultante.
4. La mezcla se colocó en una parrilla de agitación durante 1 hora, y luego se dejó reposar durante 1 hora adicional.
5. Utilizando una bomba de vacío, se filtró la mezcla para eliminar cualquier residuo.
6. Una vez filtrada, la mezcla fue sometida a un proceso en el rotavapor a 90 rpm, con una temperatura controlada entre 20 y 25°C. Este proceso tuvo una duración aproximada de 3 horas y contribuyó a eliminar el exceso de agua presente en el tinte.

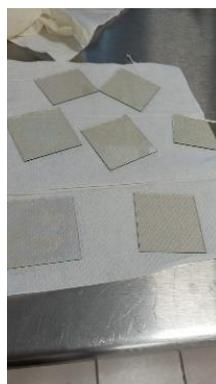
En la figura 3.6 se puede apreciar de manera sencilla todo el proceso realizado, desde el triturado hasta la obtención del tinte, mostrando también el equipo empleado para llevar a cabo este procedimiento.



**Figura 3.6** Proceso para obtener el tinte. (A) mora triturada en un mortero, (B) adición de la solución de NaOH y puesta en agitación, (C) filtración de la mezcla usando una bomba de vacío, (D) puesta de la mezcla en el rotavapor y (E) obtención del tinte orgánico

### 3.4 Preparación de las placas de vidrio

Inicialmente, se llevó a cabo la identificación del lado conductor de las placas mediante el uso de un multímetro en la función de medir continuidad. El lado conductor fue determinado al generar un sonido audible. Una vez localizado, se procedió a limpiar el área con alcohol (figura 3.7).



**Figura 3.7** Placa de vidrio limpia e identificado su lado conductor

### 3.5 Preparación de la solución $TiO_2$

Se llevó a cabo la pesada de los siguientes materiales:

- 1 gramo de  $TiO_2$ .
- 1 gramo de óxido de grafeno.

Ambos fueron colocados en un mortero, donde se añadieron 1.6 ml de ácido acético y 0.5 ml de Tritón X-100.

Posteriormente, se procedió a mezclar los componentes y se dejó reposar la mezcla durante un período de 15 minutos.

En la figura 3.8 se observa la mezcla obtenida después del tiempo estimado de reposo, se aprecia una mezcla con bastante textura.

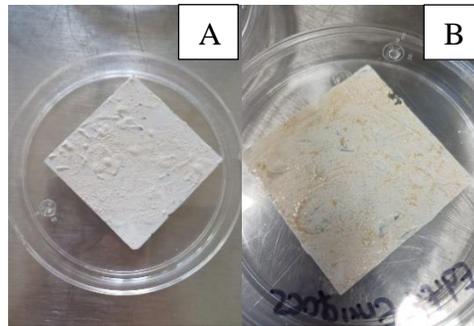


**Figura 3.8** Mezcla de  $TiO_2$

### **3.6 Preparación y coloración del electrodo negativo.**

La mezcla de  $TiO_2$  se dispuso sobre la placa de vidrio, cubriendo de manera completa el área correspondiente al lado conductor. Cada placa fue colocada individualmente en una caja Petri y se dejó secar al sol directo. Una vez que la mezcla se encontraba completamente seca, se aplicó el tinte de mora utilizando una pipeta.

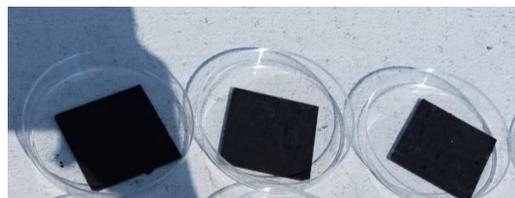
Posteriormente, se permitió que la placa se secara nuevamente, en la figura 3.9 se aprecia una de las placas antes y después de la aplicación del tinte de mora.



**Figura 3.9** Preparación de la placa. (A) placa de vidrio con la mezcla de dióxido de titanio y (B) misma placa, pero con adición del tinte de mora cubriendo toda la superficie

### 3.7 Preparación del electrodo positivo

Se llevó a cabo la pesada de 3 gramos de carbón activado molido, el cual se disolvió en 3 ml de agua destilada. Seguidamente, la mezcla resultante fue aplicada sobre una segunda placa de vidrio. La placa, ahora con la nueva mezcla, fue colocada dentro de una caja Petri como se puede notar en la figura 3.10, para después dejar permitir su secado.



**Figura 3.10** Placas con el agregado de carbón activado

### 3.8 Montaje de la celda

A la placa que se le añadió el  $TiO_2$  y el tinte de mora, se le agregó yodo comercial ( $C_6H_9NO$ ), la cantidad requerida para cubrir toda la superficie, en seguida se empalmo con la placa que contiene carbón activado, dejando un pequeño desfase donde se colocaron los caimanes del multímetro para la medición de voltaje y corriente.



**Figura 3.11** Preparación para el montaje de la celda. Placas con la mezcla de óxido de titanio, tinte de mora y una pequeña cantidad de mertiolate, el cual sirve para activar la placa

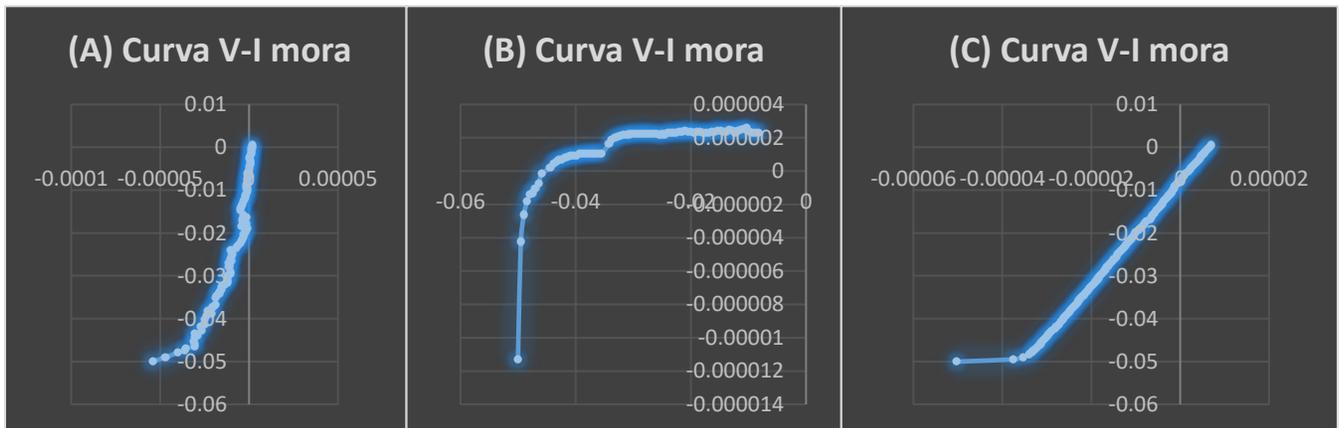


**Figura 3.12** Celda armada

## **IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

## 4.1 Resultados obtenidos de las DSSC con tinte de mora

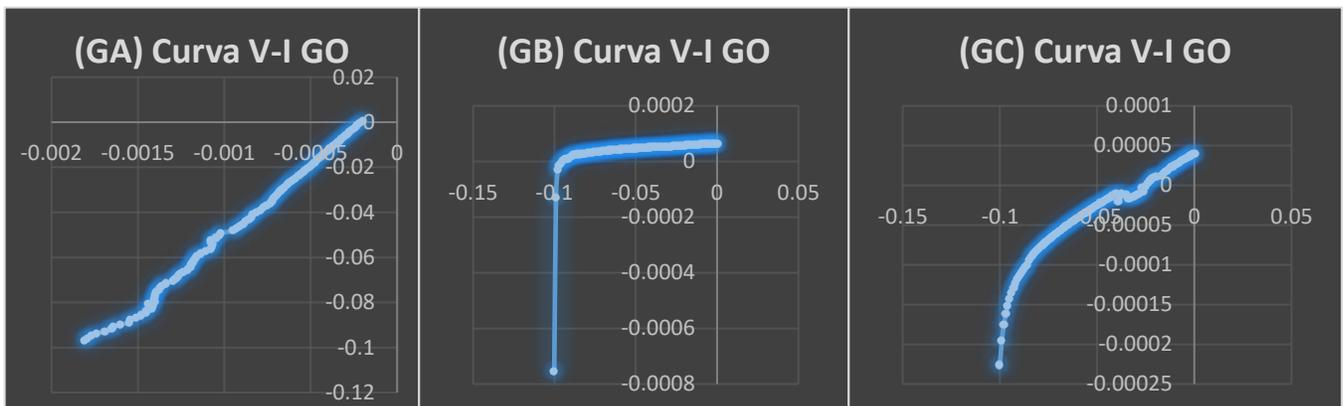
Se llevaron a cabo mediciones de celdas solares orgánicas sensibilizadas con tinte de mora, cuyos resultados se plasmaron en gráficas de corriente y voltaje para evaluar su rendimiento. Estas representaciones gráficas, elaboradas mediante Excel, ilustran la relación entre la corriente y el voltaje de un semiconductor. Se evidencia una tendencia inversamente proporcional, donde a medida que la corriente aumenta, el voltaje tiende a disminuir. Los datos recopilados fueron fundamentales para calcular el Fill Factor y la eficiencia de cada celda orgánica. Entre estas, la celda solar del experimento A destacó con una eficiencia de  $3.55192E-10$ . Este análisis permite comprender mejor el comportamiento de las celdas solares sensibilizadas y su potencial aplicación en diversas aplicaciones energéticas.



**Figura 4.1** Graficas resultantes de los 3 experimentos con las celdas solares con tinte de mora (A, B Y C)

## 4.2 Resultados obtenidos de las DSSC con OG

Las curvas V-I muestran el desempeño de las celdas solares sensibilizadas con tinte de mora y grafeno, resaltando una mayor eficiencia en el experimento GA (1.10906E-08), donde se evidencia una relación inversamente proporcional entre la corriente y el voltaje. Al comparar las celdas que utilizan solo tinte de mora con aquellas que incorporan óxido de grafeno, se observa una mejora en la eficiencia en estas últimas. Sin embargo, las eficiencias obtenidas son relativamente bajas, posiblemente debido a la concentración de óxido de grafeno, que afecta tanto la conductividad eléctrica como la distribución del colorante fotosensible en la estructura de la celda. Además, se debe considerar el impacto del uso de óxido de grafeno calcinado, que, al ser sometido a altas temperaturas, podría haber modificado sus propiedades químicas y estructurales, influyendo en la conductividad eléctrica



**Figura 4.2** Graficas resultantes de los 3 experimentos usando las placas con la adición de óxido de grafeno y el tinte de mora

Para poder obtener y comprender las gráficas anteriores fue necesario emplear dos ecuaciones:

$$FF = \frac{P_{max}}{V_{oc} \times I_{sc}} = \frac{(I_{max} \times V_{max})}{(V_{oc} \times I_{sc})}$$

Donde el Fill Factor es igual a la potencia máxima entre el voltaje de circuito abierto por la corriente de corto circuito.

El Fill Factor máximo teórico es igual a 1.

La segunda fórmula empleada fue para el cálculo de la eficiencia:

$$\eta_{ec} = \frac{V_{oc} \times I_{sc} \times FF}{I(T) \times A_c}$$

Donde la eficiencia de la celda es igual al voltaje de circuito abierto por la corriente de corto circuito por el Fill Factor, todo esto dividido entre la radiación solar por el área.

### 4.3 Comparación

En la siguiente tabla se observan los resultados valores resultantes de la eficiencia de la celda y el fill factor, obtenidos a partir de la corriente, el voltaje y la potencia máxima resultante de cada una de las celdas solares sensibilizadas.

**Tabla 4.1** Calculo del Fill Factor sin OG.

Experimento (hora)	I <sub>sc</sub>	V <sub>oc</sub>	P <sub>MAX</sub>	FF	Eficiencia
A	1.84832E-06	-0.05001041	-3.55192E-09	0.038426055	3.55192E-10
B	2.58224E-06	-0.05002025	-6.85006E-08	0.530336861	6.85006E-09
C	6.53482E-06	-0.05002575	-1.30758E-08	0.039998169	1.30758E-09

En la siguiente tabla se muestran los datos obtenidos de las celdas solares con grafeno sensibilizadas con tinte de mora.

**Tabla 4.2** Calculo del Fill Factor con OG.

Experimento	$I_{sc}$	$V_{oc}$	$P_{MAX}$	FF	Eficiencia
OG					
GA	-0.000212616	-0.096964195	1.10906E-07	0.005379556	1.10906E-08
GB	6.4266E-05	-0.100099668	-2.6304E-06	0.408891813	2.6304E-07
GC	3.91736E-05	-0.10002064	-2.6533E-07	0.06771983	2.65337E-08

Al comparar el desempeño de las células solares sensibilizadas con tinte de mora, tanto con óxido de grafeno como sin él, se observa una clara disparidad en las eficiencias de conversión de energía.

Mientras que las celdas solares que incorporaron óxido de grafeno registraron eficiencias en el rango de 1.10906E-08, 2.6304E-07 y 2.65337E-08, las que carecieron de óxido de grafeno mostraron valores de 3.55192E-10, 6.85006E-09 y 1.30758E-09. Estos resultados indican que la inclusión de óxido de grafeno podría haber contribuido a una mejora significativa en la eficiencia de conversión de energía en las células solares sensibilizadas con tinte de mora. Esta mejora podría atribuirse a las propiedades únicas del óxido de grafeno, como su capacidad para mejorar la conductividad eléctrica y facilitar la transferencia de electrones en la estructura de la célula solar. No obstante, se requieren investigaciones adicionales para comprender completamente el impacto del óxido de grafeno en el rendimiento de las células solares y su viabilidad para aplicaciones prácticas en la industria fotovoltaica.

Los resultados publicados en el artículo “Dye-sensitized solar cell (DSSC) utilizing reduced graphene oxide (RGO) films counter electrode: effect of graphene oxide (GO)” (Célula solar sensibilizada por colorante (DSSC) que utiliza contraelectrodo de películas de óxido de grafeno reducido (RGO): efecto del contenido de óxido de grafeno (GO)) revelan el aumento de eficiencia dependiendo de la concentración del oxido de grafeno.

**Tabla 4.3** Parametros fotovoltaicos.

Experimento	$I_{sc}$	$V_{oc}$	FF	Eficiencia
0.5 mg	0.49	0.595	0.183	0.053
1.5 mg	0.61	0.602	0.208	0.077
3.5 mg	0.62	0.555	0.185	0.063

Al comparar el desempeño de las células solares sensibilizadas por colorante (DSSC) que emplearon óxido de grafeno calcinado con aquellas que utilizaron diferentes concentraciones de óxido de grafeno, se observan diferencias significativas en las eficiencias de conversión de energía. Las células que emplearon óxido de grafeno calcinado registraron eficiencias en el rango de  $1.10906E-08$ ,  $2.6304E-07$  y  $2.65337E-08$ , en particular, es importante resaltar que para la elaboración de las muestras de DSSC con óxido de grafeno calcinado, se utilizó únicamente 1 gramo de este material, que fue distribuido entre las tres muestras analizadas. Esta concentración relativamente baja podría haber afectado el rendimiento de las células solares, ya que la cantidad de óxido de grafeno en cada muestra pudo haber sido insuficiente para maximizar su eficiencia. Por otro lado, las muestras que utilizaron diferentes concentraciones de óxido de grafeno presentaron eficiencias notablemente superiores de 0.053, 0.077 y 0.063, lo que sugiere que la cantidad de este material influye significativamente en el rendimiento de las células solares sensibilizadas por colorante. Este hallazgo resalta la importancia de investigaciones adicionales para determinar la concentración óptima de óxido de grafeno y optimizar así el rendimiento de las DSSC.

## **V. CONCLUSIÓN**

El uso de óxido de grafeno en las células solares sensibilizadas por colorantes (DSSC) puede afectar varios aspectos de su rendimiento. Primero, la concentración de óxido de grafeno desempeña un papel crucial en la eficiencia de las DSSC, ya que puede influir en la conductividad eléctrica de la capa conductora dentro de la celda. Además, el óxido de grafeno puede afectar la adsorción y distribución del colorante fotosensible en la estructura de la DSSC, lo que a su vez puede influir en la eficiencia de conversión de la luz solar en electricidad. Además, la forma en que se prepara y procesa el óxido de grafeno, como si está calcinado o no, también puede afectar sus propiedades y su capacidad para mejorar el rendimiento de las DSSC.

## **VI. REFERENCIAS**

## Referencias

Accion. (2018). *Energía solar fotovoltaica*. Acciona. [https://www.acciona.com/es/energias-renovables/energia-solar/fotovoltaica/?\\_adin=01833301559](https://www.acciona.com/es/energias-renovables/energia-solar/fotovoltaica/?_adin=01833301559)

Acciona. (2020). *energías renovables*. [https://www.acciona.com/es/energias-renovables/?\\_adin=01833301559](https://www.acciona.com/es/energias-renovables/?_adin=01833301559)

Araceli. (s. f.). *Óxido de grafeno: síntesis, propiedades y aplicaciones*. <https://www.boletin.upiita.ipn.mx/index.php/ciencia/771-cyt-numero-67/1545-oxido-de-grafeno-sintesis-propiedades-y-aplicaciones>

Bordino, J. (2021, 29 septiembre). Qué es la energía solar. *ecologiaverde.com*. <https://www.ecologiaverde.com/que-es-la-energia-solar-3567.html>

Briceño, G., V. (2021, 2 diciembre). *Combustible fósil | Qué es, características, tipos, para qué sirve, ventajas*. Euston96. <https://www.euston96.com/combustible-fosil/>

Caballero, A. (2023, septiembre). *Energías renovables: ¿Qué son y para qué sirven?* Climate Selectra. <https://climate.selectra.com/es/que-es/energias-renovables>

Carlos. (2021, 26 octubre). Paneles solares policristalinos ¿qué son y ventajas? *Solarti*. <https://solarti.es/placas-solares/paneles-solares-policristalinos/>

De Ceupe, B. (2022, 3 febrero). Ceupe. *Ceupe*. <https://www.ceupe.com/blog/energia-solar-termica.html>

De Medio Ambiente y Recursos Naturales, S. (s. f.). *Beneficios de usar energías renovables*. gob.mx. <https://www.gob.mx/semarnat/articulos/beneficios-de-usar-energias-renovables-172766>

Elianora. (2022, 26 octubre). *Célula solar sensibilizada por colorante (DSSC)*. TechEdu. <https://techlib.net/techedu/celula-solar-sensibilizada-por-colorante-dssc/#:~:text=Las%20DSSC%20son%20una%20tecnolog%C3%ADa%20relativamente%20nueva%2C%20y,de%20colores%2C%20lo%20que%20las%20hace%20est%C3%A9ticamente%20agradables.>

Endesa. (2021, 11 noviembre). *Energía solar: qué es, cómo funciona y sus ventajas*. <https://www.endesa.com/es/la-cara-e/energias-renovables/energia-solar>

FabIndus. (2024, 5 enero). *Innovaciones en células solares Dye-Sensitized: revolucionando la eficiencia lumínica en la fabricación industrial*. Fabricación Industrial. <https://fabricacionindustrial.com/celulas-solares-dye-sensitized-dssc-innovacion-en-eficiencia-luminica-para-la-fabricacion-industrial/>

Hilcu, M. (2023, 4 diciembre). *Placas solares monocristalinas: Características y precios*. Otovo Blog. <https://www.otovo.es/blog/placas-solares/placas-solares-monocristalinas/>

Hisour. (2019). *Célula solar sensibilizada por colorante*. <https://www.hisour.com/es/dye-sensitized-solar-cell-39656/>

Iberdrola. (2020). *Funcionamiento energía solar fotovoltaica*. <https://www.iberdrola.com/sostenibilidad/que-es-energia-fotovoltaica>

La energía solar. (2019, 13 junio). *Panel solar amorfo - La Energía Solar*. La Energía Solar. <https://laenergiasolar.org/placa-solar/panel-solar-amorfo/>

Larios, D., & Larios, A. (2015, enero). *Desarrollo y perspectivas de energía renovable en México*. Economía Informa. <http://www.economia.unam.mx/assets/pdfs/econinfo/390/09LariosVazquez.pdf>

Mendoza, A., Emperatriz, B., Machuca, Ñ., & Edison, P. (2019). *Utilización de celdas solares sensibilizadas con colorantes de mora (Rubus glaucus) y zapallo (Cucurbita máxima) para la generación de energía*. Repositorio. <https://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/49640/>

Moriana, L. (2020, 23 julio). Energías renovables y no renovables: ejemplos y resumen. *ecologiaverde.com*. <https://www.ecologiaverde.com/energias-renovables-y-no-renovables-ejemplos-y-resumen-1248.html>

*National Geographic España*. (2024, 2 febrero). National Geographic. <https://www.nationalgeographicla.com/medio-ambiente/2022/11/que-son-las-energias-renovables>

Nicho, & Nicho. (2023, 17 julio). *Qué son las placas solares amorfas y cómo se utilizan*. Cardisasolar. <https://cardisasolar.com/que-son-las-placas-solares-amorfas-y-como-se-utilizan/>

Novelec, E. G. (2023, 26 septiembre). Fuentes de energía no renovables, tipos y características | Blog Grupo Novelec. *Grupo Novelec*. <https://blog.gruponovelec.com/blog/fuentes-de-energia-no-renovables-tipos-y-caracteristicas/>

Planas, O. (s. f.). *Energías no renovables: definición con ejemplos*. <https://solar-energia.net/energias-no-renovables>

Portillo, S. R. (2020, 3 diciembre). Impacto ambiental de los combustibles fósiles. *ecologiaverde.com*. <https://www.ecologiaverde.com/impacto-ambiental-de-los-combustibles-fosiles-3191.html>

Rivera, A. (2023, 20 noviembre). *Paneles solares monocristalinos | Qué son y cómo se diferencian de los policristalinos*. Futuro eléctrico. <https://futuroelectrico.com/paneles-solares-monocristalinos/>

Rojas, O. (2016). *Celdas solares selladas a base de óxido de titanio modificado superficialmente con óxido de magnesio*. <https://1library.co/document/zlxgvg2z-universidad-nacional-de-ingenier%C3%ADa-facultad-de-ciencias.html#fulltext-content>

Segui, P. (2023, 20 octubre). *Energía solar térmica*. OVACEN. <https://ovacen.com/energias-renovables/solar/te-oxido-de-indio-esta%C3%B1o-rmica/>

SotySolar. (2023, 5 abril). *Paneles Solares Policristalinos: ¿Qué son y cómo funcionan?* SotySolar. <https://sotysolar.es/blog/placas-solares/policristalinas#:~:text=%C2%BFQu%C3%A9%20son%20los%20paneles%20solares%20policristalinos%3F%20Los%20paneles,lingotes%20del%20mismo%20material%20fundido%20y%20enfriado%20lentamente.>

United Nations. (s. f.). *¿Qué son las energías renovables? | Naciones Unidas*. <https://www.un.org/es/climatechange/what-is-renewable-energy>

## **VII. ANEXOS**

**Tabla 7.1** Materiales, equipo y reactivos utilizados

<b>Materiales</b>	<b>Equipos</b>	<b>Reactivos</b>
Cristales de 3x3	Bomba de vacío	Ácido sulfúrico ( $H_2SO_4$ )
Morteros	Parrilla de agitación y	Permanganato de potasio
Vasos de precipitado	agitador magnético	( $KMnO_4$ )
Vidrios de reloj	Centrifuga	Ácido acético ( $CH_3COOH$ )
Espátulas	Roto vapor	Agua destilada
Tubos falcón	Deshidratador solar	Dióxido de titanio ( $TiO_2$ )
Capsulas de porcelana	Balanza analítica	Hidróxido de sodio
Probetas	Cabina de extracción	( $NaOH$ )
Matraz	(campana)	Alcohol
Matraz quita sato		Tritón x100
Carbón activado		Yodo comercial ( $C_6H_9NO$ )
Hielo		Ácido clorhídrico ( $HCL$ )
Termómetro		