



UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

**FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL**

Eficiencia energética a través de DSSC con pigmentos del zumo de la semilla de *Punica granatum* y la hoja de *Brassica oleracea var. capitata f. rubra*

**TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE:
Ingeniera Ambiental**

AUTORAS:

Lazo Leon, Estefany Janin (ORCID: 0000-0001-7326-0020)

Mora Melo, Ana Paola (ORCID: 0000-0002-3860-3187)

ASESOR:

Dr. Valverde Flores, Jhonny Wilfredo (ORCID: 0000-0003-2526-112X)

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:

Calidad y gestión de los recursos naturales

LIMA - PERÚ

2021

Dedicatoria

Dedico esta investigación de manera muy especial a mi mamá Erica León y a mis abuelitos Yolanda León e Ysaac León; mis pilares incondicionales que siempre confiaron en mí y fueron un impulso para concretar mi objetivo. A mis hermanas Evelyn y Selene por ser al mismo tiempo una alerta y una llave en laberintos.

Estefany Lazo

Dedico esta investigación a mi mamá Ana Melba Melo Rivera por su apoyo incondicional en lograr mi meta de ser una profesional. A mi padre Samuel Mora Zavala por su consejos y orientación hacia este fin, y a mi abuela Gregoria Castañeda por su fuerza y motivación para seguir luchando por mis sueños.

Paola Mora

Agradecimiento

En primer lugar, agradezco infinitamente a Dios por ser mi fortaleza, guiar mis pasos, abrirme oportunidades y ayudarme a tomar decisiones durante todo mi proceso de formación profesional. Agradezco también a un hermano espiritual el Sr. Carlos Roncal por su apoyo y ayuda brindada durante el desarrollo de esta investigación.

Estefany Lazo

Agradecida con nuestro padre celestial por su guía eterna e incondicional y por otorgarme la fuerza para luchar por este objetivo.

Paola Mora

De manera conjunta hacemos extensivo el agradecimiento a Dr. Jhonny Wilfredo Valverde Flores por su asesoría y acompañamiento desinteresado, al ingeniero Igor Sánchez por la disponibilidad y facilidades para la ejecución de este proyecto, y a toda persona que participó directa e indirectamente en el desarrollo de esta investigación.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

Dedicatoria	ii
Agradecimiento	iii
Índice de contenidos.....	iv
Índice de Tablas.....	v
Índice de Figuras.....	vii
RESUMEN	ix
ABSTRACT	x
I. INTRODUCCIÓN	1
II. MARCO TEÓRICO	8
III. METODOLOGÍA	29
3.1. Tipo y diseño de investigación	29
3.2. Variable y operacionalización.....	32
3.3. Población, muestra, muestreo y unidad de análisis	32
3.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos.....	36
3.5. Procedimientos	38
3.6. Método de análisis de datos.....	48
3.7. Aspectos éticos	50
IV. RESULTADOS.....	52
V. DISCUSIÓN.....	95
VI. CONCLUSIONES	99
VII. RECOMENDACIONES.....	100
REFERENCIAS	101
ANEXOS	118

Índice de Tablas

Tabla 1. Relación de los compuestos de una celda DSSC con la Fotosíntesis.....	14
Tabla 2: Clasificación taxonómica de la granada	20
Tabla 3. Taxonomía y morfología de la col morada (<i>Brassica oleracea var. capitata f. rubra</i>).....	22
Tabla 4. Variables de la investigación	32
Tabla 5. Muestras consideradas en la investigación	32
Tabla 6. Técnicas e instrumentos de recolección de datos	36
Tabla 7. Validación de instrumentos.....	37
Tabla 8. Características de fabricación de la celda solar DSSC.....	46
Tabla 9. Combinación de pasta para el fotoánodo	46
Tabla 10. Morfología del Óxido de grafeno reducido.....	52
Tabla 11. Caracterización del óxido de grafeno reducido por espectrofotometría UV-vis	53
Tabla 12. Medición de parámetros eléctricos antes de ser expuestos a radiación solar	54
Tabla 13. Medición del voltaje, amperaje y radiación solar de la celda 1	55
Tabla 14. Medición del voltaje, amperaje y radiación solar de la celda 2	57
Tabla 15. Medición del voltaje, amperaje y radiación solar de la celda 3.....	59
Tabla 16. Medición del voltaje, amperaje y radiación solar de la celda 4	61
Tabla 17. Medición del voltaje, amperaje y radiación solar de la celda 5	63
Tabla 18. Medición del voltaje, amperaje y radiación solar de la celda 6	65
Tabla 19. Medición del voltaje, amperaje y radiación solar de la celda 7	67
Tabla 20. Medición del voltaje, amperaje y radiación solar de la celda 8	69

Tabla 21. Medición del voltaje, amperaje y radiación solar de la celda 9	70
Tabla 22. Medición del voltaje, amperaje y radiación solar de la celda 10	73
Tabla 23. Medición del voltaje, amperaje y radiación solar de la celda 11	75
Tabla 24. Medición del voltaje, amperaje y radiación solar de la celda 12	77
Tabla 25. Medición del voltaje, amperaje y radiación solar de la celda 13	79
Tabla 26. Medición del voltaje, amperaje y radiación solar de la celda 14	81
Tabla 27. Medición del voltaje, amperaje y radiación solar de la celda 15	83
Tabla 28. Medición del voltaje, amperaje y radiación solar de la celda 16	85
Tabla 29. Medición del voltaje, amperaje y radiación solar de la celda 17	87
Tabla 30. Medición del voltaje, amperaje y radiación solar de la celda 18	89
Tabla 31. Resultados de la eficiencia de la GO1(GO/T) ₂ T2P2t3.....	91
Tabla 32. Resultados de la eficiencia de la GO1(GO/T) ₁ T2P1t3.....	93
Tabla 33. Resultados de la eficiencia de la GO1(GO/T) ₂ E2P3t3.....	94

Índice de Figuras

Figura 1. Comparación de energías no renovables vs renovables.....	9
Figura 2. Estimación de tipo de energía a consumir.....	10
Figura 3. Zonas de espectro electromagnético.....	11
Figura 4. Espectro electromagnético en la región de luz visible.....	12
Figura 5. Diferentes tipos de pigmentos en las plantas.....	17
Figura 6. Estructura de la antocianina.....	20
Figura 7. Partes de la granada.....	21
Figura 8. Brassica oleracea var. capitata f. rubra.....	22
Figura 9. Anclaje de antocianina en la película de TiO ₂	23
Figura 10. Lámina de grafeno.....	24
Figura 11. Óxido de grafeno.....	25
Figura 12. Obtención de grafeno a partir de grafito.....	25
Figura 13. Eficiencia de celdas solares.....	29
Figura 14. Etapas de la fabricación y medición de la eficiencia energética de la celda solar DSSC.....	38
Figura 15. Óxido de grafeno.....	40
Figura 16. Óxido de grafeno reducido.....	40
Figura 17. Proceso de síntesis de óxido de grafeno.....	41
Figura 18. Nanopartículas de TiO ₂	42
Figura 19. Proceso de extracción de pigmento de la semilla de <i>Punica granatum</i>	43
Figura 20. Proceso de extracción de pigmentos de la hoja de <i>Brassica oleracea var. capitata f. rubra</i>	44
Figura 21. Celda Solar fabricada.....	45
Figura 22. Proceso de fabricación de celda solar DSSC.....	47

Figura 23. Medición de la radiación solar	48
Figura 24. Variación del voltaje y radiación solar de la celda 1	56
Figura 25. Variación del voltaje y la radiación solar de la celda 2	58
Figura 26. Variación del voltaje y la radiación solar de la celda 3	60
Figura 27. Variación del voltaje y la radiación solar de la celda 4	62
Figura 28. Variación del voltaje y la radiación solar de la celda 5	64
Figura 29. Variación del voltaje y la radiación solar de la celda 6	66
Figura 30. Variación del voltaje y la radiación solar de la celda 7	68
Figura 31. Variación del voltaje y la radiación solar de la celda 8	70
Figura 32. Variación del voltaje y la radiación solar de la celda 9	72
Figura 33. Variación del voltaje y la radiación solar de la celda 10	74
Figura 34. Variación del voltaje y la radiación solar de la celda 11	76
Figura 35. Variación del voltaje y la radiación solar de la celda 12	78
Figura 36. Variación del voltaje y la radiación solar de la celda 13	80
Figura 37. Variación del voltaje y la radiación solar de la celda 14	82
Figura 38. Variación del voltaje y la radiación solar de la celda 15	84
Figura 39. Variación del voltaje y la radiación solar de la celda 16	86
Figura 40. Variación del voltaje y la radiación solar de la celda 17	88
Figura 41. Variación del voltaje y la radiación solar de la celda 18	90
Figura 42. Curva I-V de la celda GO1(GO/T) ₂ T1E1P2t3.....	91
Figura 43. Curva I-V de la celda GO1(GO/T) ₁ T2P1t3	92
Figura 44. Curva I-V de la celda GO1(GO/T) ₂ E2P3t3	94

RESUMEN

El objetivo general de la presente investigación fue determinar la eficiencia energética de DSSC a base de óxido de grafeno con pigmentos del zumo de la semilla de *Punica granatum* y la hoja de *Brassica oleracea var capitata f. rubra*; con la intención de contribuir con un antecedente más sobre el uso de óxido de grafeno y pigmentos naturales en DSSC. El tipo de investigación fue aplicada de nivel explicativa y diseño pre- experimental de tipo pre prueba - post prueba, considerando que la medición de los parámetros eléctricos de las DSSC fabricadas se realizó antes de ser expuestas a la radiación solar y durante la exposición a radiación solar en un período de 20 minutos, donde se observó diversas fluctuaciones de voltaje e intensidad de corriente en forma proporcional a la radiación solar, alcanzando un voltaje promedio máximo de 737,55 mV. Finalmente, se determinó que la celda solar fabricada que generó mayor eficiencia energética fue la celda GO1(GO/T)₂T2E2P3t3, alcanzando 0.018%, evidenciando una buena transferencia de electrones y estabilidad. De todas las pruebas realizadas, se observó que la eficiencia energética se ve influenciada por los componentes estructurales de la DSSC, su área y la radiación solar a la que es expuesta.

Palabras clave: DSSC, óxido de grafeno reducido, pigmento.

ABSTRACT

The general objective of the present investigation was to determine the energy efficiency of DSSC based on graphene oxide with pigments from the juice of the seed of *Punica granatum* and the leaf of *Brassica oleracea* var *capitata* f. *rubra*; with the intention of contributing a further background on the use of graphene oxide and natural pigments in DSSC. The type of research was applied at an explanatory level and a pre-experimental design of a pre-test-post-test type, considering that the measurement of the electrical parameters of the manufactured DSSCs was carried out before being exposed to solar radiation and during radiation exposure solar in a period of 20 minutes, where various fluctuations in voltage and current intensity were observed in proportion to solar radiation, reaching a maximum average voltage of 737.55 mV. Finally, it was determined that the manufactured solar cell that generated the highest energy efficiency was the GO1 (GO / T) 2T2E2P3t3 cell, reaching 0.018%, showing good electron transfer and stability. From all the tests carried out, it was observed that energy efficiency is influenced by the structural components of the DSSC, its area and the solar radiation to which it is exposed.

Keywords: DSSC, reduced graphene oxide, pigment.

I. INTRODUCCIÓN

La sociedad humana en general, depende directa e indirectamente de los servicios energéticos para el desarrollo de sus actividades cotidianas y para cubrir gran parte de sus necesidades inmediatas. Sin embargo, aproximadamente el 85% de la energía consumida proviene de fuentes no renovables como son los combustibles fósiles en su variedad de petróleo, carbón y gas natural; siendo responsables del 56,6 % de emisión de gases de efecto invernadero (GEI) (Sen y Ganguly, 2017). En este sentido, considerando que estas fuentes de energía tienen un punto de agotamiento crítico, y son altamente contaminantes; en los últimos años se ha optado por la generación de energías renovables como la energía eólica, energía hidráulica, energía mareomotriz, energía geotérmica, energía fotovoltaica, etc. De todas ellas, la energía considerada con mayor potencial es la energía generada a partir de la radiación solar, comúnmente conocida como energía fotovoltaica (Vargas, *et al.*, 2020).

Los indicios de la generación de energía fotovoltaica, se remonta al proceso conocido como “efecto fotovoltaico” descubierto en 1839 por el físico Antoine Becquerel, quien evidenció la necesidad de usar un material que absorba la energía solar y tenga la capacidad de transformarlo en energía eléctrica, entrando a tallar la hoy conocida como celda solar (Soudi, Nanayakkara, Jahed y Naahidi, 2020). Años más tarde, diversos personajes como William Grylls Adams y Richard Evans Day fabricaron la primera celda a base de selenio solidificado, y Charles Fritts logró una eficiencia de 1%. Posterior a ello, gracias a los aportes de Hertz, Einstein, Planck, R.S Olh, se logró desarrollar la primera celda solar de silicio, fabricada por Calvin Fuller y Gerald Pearson alrededor del año 1950 (Ramírez, 2019).

A partir de entonces, la materia prima convencional para fabricar las celdas solares es el silicio, dado sus propiedades semiconductoras y su estabilidad. Sin embargo, para que adquiriera las condiciones ideales de funcionamiento en una celda solar, es necesario realizar una serie de mecanismos que involucran una alta huella de carbono y costos elevados de producción a gran escala (Guzmán, 2017). El

ensamblaje de celdas solares permite fabricar los llamados paneles solares, a través de los cuales se aprovecha la energía fotovoltaica; sin embargo, “la vida útil de las instalaciones fotovoltaicas es de unos 25 a 30 años” (Baselga, 2019), pasado este periodo de tiempo, este material se convierte en un residuo difícil de recuperar y con gran capacidad de contaminación al ambiente.

Terminado el ciclo de vida de un panel solar, ciertas sustancias que componen su interior empiezan a degradarse y volverse tóxicas y corrosivas [...] entre estas sustancias están iones libres de silicio dopado con fósforo y boro, así como metales pesados como cadmio y plomo [...] las cuales pueden lixiviarse e infiltrarse en el ambiente causando severos impactos en la calidad del agua, suelo y aire (Ramírez, 2018). Sin embargo, el uso de energía fotovoltaica va en aumento, por lo cual, es de gran importancia buscar una alternativa a esta problemática ya que, en consecuencia, al incremento de la industria fotovoltaica, aumenta también los residuos generados; en promedio de un año se ha pasado a producir 6 millones de toneladas métricas en desechos de tecnología solar [...] una montaña de un tipo de basura tecnológica altamente compleja de tratar (Gámez, 2020).

Desde luego, las celdas de silicio son las que generan mayor eficiencia, siendo limitadas al 33% y claramente, las celdas de segunda y tercera generación están por debajo de este límite; sin embargo, se prevé que con las celdas de tercera generación se pueda alcanzar eficiencias superiores [...] dentro de este grupo se encuentran las celdas orgánicas (Álvarez, Martínez y Jaramillo, 2019). Respecto al tipo de celdas DSSC (Dye-Sensitized Solar Cells), la mayor eficiencia que obtuvo Min Ju Yu y Col en el año 2017 fue 11% con una celda DSSC con Cu (I/II) HTL y con respecto a las DSSC sensibilizadas con colorante natural su eficiencia rodea el 1% (Ajayan, *et al.*, 2020).

Dado este contexto, actualmente existe una exhaustiva investigación para crear prototipos de celdas solares con materiales alternativos y sensibilizados por pigmentos naturales tomando como indicio el mecanismo usado por Grätzel. Por lo cual, la presente investigación busca contribuir con un antecedente más a las

investigaciones relacionadas con la producción de células solares DSSC que reduzcan el impacto ambiental en comparación a las celdas convencionales. En este caso, como parte principal del fotoánodo de la celda se usó óxido de grafeno y se sensibilizó con pigmentos del zumo de la semilla de *Púnica granatum* y la hoja de *Brassica oleracea var capitata f. rubra*.

De acuerdo a lo expuesto anteriormente, se planteó la siguiente pregunta general: ¿Cuál es la eficiencia energética a través de DSSC con pigmentos del zumo de la semilla de *Púnica granatum* y la hoja de *Brassica oleracea var capitata f. rubra*? De esta pregunta general se desligaron las siguientes preguntas específicas: ¿El óxido de grafeno sintetizado tiene las características para ser usado en las DSSC con pigmentos del zumo de la semilla de *Punica granatum* y la hoja de *Brassica oleracea var capitata f. rubra*? ¿Cuál es el procedimiento para obtener pigmentos a partir del zumo de la semilla de *Punica granatum* y la hoja de *Brassica oleracea var capitata f. rubra* para ser usados como sensibilizadores de las DSSC? ¿Cuál es el procedimiento para fabricar DSSC con pigmentos obtenidos del zumo de la semilla de *Punica granatum* y la hoja de *Brassica oleracea var capitata f. rubrica*? ¿Cuál es el voltaje obtenido de las DSSC con pigmentos del zumo de la semilla de *Punica granatum* y la hoja de *Brassica oleracea var capitata f. rubra*?

En referencia a la justificación, como ya se mencionó anteriormente, hoy por hoy existe un elevado consumo de energía que en su gran mayoría proviene de combustibles fósiles, una fuente agotable y contaminante desde su extracción hasta su distribución, siendo el principal contaminante asociado a los combustibles fósiles, el CO₂, un gas de efecto invernadero. La tasa de emisiones de CO₂, de las instalaciones de energías renovables en comparación con una central de carbón, que emite 950 gramos de kilovatio hora [...] una fotovoltaica emite entre 60 y 150 gramos de kilovatio hora (Vargas, 2020).

En este sentido, si bien es cierto, la tecnología fotovoltaica es una de las fuentes de energía sostenible más alentadora a futuro, existen ciertos aspectos limitantes a

repotenciar, como los materiales utilizados en la fabricación de las celdas, el costo de producción, así como la disposición final de un panel solar. Siendo el silicio (monocristalino, policristalino) el material que juega el papel principal para la conversión de energía, el mayor problema surge después del uso de los paneles solares de silicio, los cuales tienen un proceso de reciclaje difícil y dañino para el medio ambiente, debido a que sus propios componentes pueden inducir a la toxicidad (Jayapradha, Barik, Jeeyaudeen, Sanjoop y Prahaladha, 2020).

Al respecto, entre las soluciones en el sector de las energías limpias y renovables se encuentra el empleo de una de las tecnologías de células solares de tercera generación conocidas por sus siglas en inglés DSSC. Las ventajas de la misma incluyen bajo costo, trabajos de fabricación simples, buen desempeño a bajo nivel de iluminación y brindan opción del uso de tintes multicolores ya sean sintéticos o naturales (Omar, Ali y Abdrahim, 2020).

Las celdas DSSC actualmente se desarrollan de manera muy dinámica; en áreas de pequeños dispositivos (100cm^2), su eficiencia ha alcanzado más del 11% y en áreas submodulares más del 6%. Tal es el caso que diversas compañías comerciales muestran interés en este campo, presentando los primeros prototipos modulares con diseños flexibles, en plásticos, hojas de metal y módulos basados en vidrio, de tal forma que tengan una amplia variedad de aplicaciones, en dispositivos móviles, como cargadores de celulares, laptops, equipos de radiocomunicación, entre otros (Armendáriz, *et al.*, 2014). Sin embargo, para obtener estas eficiencias, las celdas DSSC convencionalmente son sensibilizadas con moléculas absorbentes de luz, comúnmente conocidos como complejos de rutenio, con los cuales han mostrado eficiencia de hasta 12.3% (Gaytan, Martínez, Aguilera y Pérez, 2019).

Materiales a base de rutenio como N719, N3, CYC-B11 y C106 se han considerado los materiales de tinte más adecuados para DSSC. Con este tipo de tintes o pigmentos, la mayor eficiencia que obtuvieron Min Ju Yu y Col en el año 2017, fue 11% con una celda DSSC con Cu (I/II) HTL. De forma paralela, con respecto a las

DSSC, con pigmento natural, las mayores eficiencias se han obtenido son con pigmentos naturales de Pomegranate, 2%; de Blackberry, 1.4%, de Granberry, 1.2% y con pigmento natural de Blueberry 0.4% (Ajayan, *et al.*, 2020). Es evidente la diferencia de las eficiencias, sin embargo, la facilidad de fabricación y el respeto por el medio ambiente, hace que las DSSC con pigmentos naturales sean puras y libres de metales, siendo más prominentes en la comunidad científica. Arilamina, perileno y la antocianina son algunos de los colorantes orgánicos libres de metales más populares (Ajayan, *et al.*, 2020).

Por otro lado, uno de los materiales usados actualmente para el diseño de celdas solares es el grafeno. Entre las diversas propiedades que posee el grafeno están las electrónicas por su comportamiento entre conductor metálico y semiconductor, facilitando la conductibilidad eléctrica; ópticas por su gran capacidad de absorción de luz; térmicas por su gran conductividad, muy idóneo para disipar calor y estable térmicamente; mecánicas por su carácter elástico y su capacidad de doblarse sin problemas, entre otras (Coelho, 2017). A partir de un fotón único absorbido, se puede crear múltiples pares de electrones y huecos (electrones excitados), incrementando la señal eléctrica, dicha característica permite que el grafeno tenga estabilidad y mayor captación de energía solar viéndose reflejado en la eficacia de un sistema fotovoltaico de grafeno (Tielrooj, *et al.*, 2013). Todas estas características del grafeno lo convierten en un material prometedor en la mejora de la eficiencia de las celdas DSSC.

En este sentido, dada la toxicidad, el alto costo de producción y la poca abundancia de los materiales y pigmentos sensibilizadores usados convencionalmente en la fabricación de celdas solares, el uso del grafeno como parte estructural de las celdas DSSC, así como el uso de pigmentos naturales como sensibilizadores orgánicos, son una alternativa atractiva para ser usados en remplazo de los agentes reductores tóxicos. En conjunto, la obtención de este tipo de celdas es de bajo costo, son de fácil disposición y amigable con el medio ambiente. Asimismo, dado las

propiedades conductoras del grafeno, este se convierte en un compuesto prometedor para reemplazar al silicio en la generación de celdas solares.

Por ende, con la presente investigación se pretendió dejar un antecedente a futuras investigaciones sobre uso del óxido de grafeno en la fabricación de celdas solares con baja demanda de tecnología de fabricación y el uso de pigmentos naturales de fácil acceso, extraídos de la semilla de la *Punica granatum* y la hoja de *Brassica oleracea var. capitata f. rubra*.

Dado este contexto, el objetivo general de la presente investigación fue determinar la eficiencia energética a través de DSSC con pigmentos del zumo de la semilla de *Punica granatum* y la hoja de *Brassica oleracea var capitata f. rubra*. A partir de dicho objetivo general, se plantearon los siguientes objetivos específicos: Caracterizar el óxido de grafeno sintetizado para ser usado en las DSSC con pigmentos del zumo de la semilla de *Punica granatum* y la hoja de *Brassica oleracea var. capitata f. rubra*. Obtener pigmentos a partir del zumo de la semilla de *Punica granatum* y de la hoja de *Brassica oleracea var. capitata f. rubra* para ser usados como sensibilizadores de las DSSC. Fabricar DSSC con pigmentos obtenidos del zumo de la semilla de *Punica granatum* y la hoja de *Brassica oleracea var capitata f. rubra* y determinar el voltaje de las DSSC con pigmentos del zumo de la semilla de *Punica granatum* y la hoja de *Brassica oleracea var. capitata f. rubra*.

En relación a los objetivos mencionados y en respuesta a las preguntas planteadas anteriormente, la hipótesis general de esta investigación fue que las DSSC con pigmentos del zumo de la semilla de *Púnica granatum* y la hoja de *Brassica oleracea var capitata f. rubra* tienen una eficiencia energética promedio de 0.01%. Asimismo, las hipótesis específicas fueron las siguientes: Las características del óxido de grafeno sintetizado le permiten ser usado en las DSSC con pigmentos del zumo de la semilla de *Punica granatum* y la hoja de *Brassica oleracea var. capitata f. rubra*. El procedimiento usado para obtener pigmentos a partir del zumo de la semilla de

Punica granatum y de la hoja de *Brassica oleracea var. capitata f. rubra* es adecuado para usarlos como sensibilizadores de las DSSC. El procedimiento usado para fabricar DSSC con pigmentos obtenidos del zumo de la semilla de *Punica granatum* y la hoja de *Brassica oleracea var. capitata f. rubrica* es adecuado. Las DSSC con pigmentos del zumo de la semilla de *Punica granatum* y la hoja de *Brassica oleracea var. capitata f. rubra* tienen un voltaje promedio de 0,5 V.

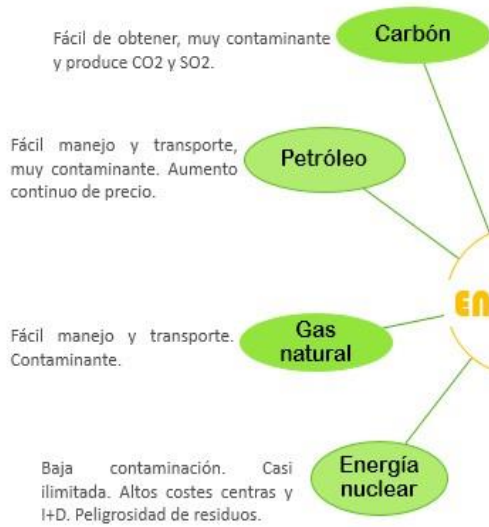
II. MARCO TEÓRICO

La generación de energía renovable es un factor clave para la agenda sostenible global y el desarrollo de cada país; ya que cubre diversos ámbitos, como recursos energéticos, niveles económicos, plan de desarrollo energético y política de consumo de energía. Siendo así, el objetivo básico de la transformación energética global es reducir significativamente las emisiones de CO₂. (Ahmad y Zhang, 2020). Por lo cual, se reconoce a las energías renovables (solar, eólica, geotérmica, biomasa y otras formas) (Ver Figura 1) como la mejor opción para mitigar los problemas ambientales asociados a las emisiones de CO₂ (Dong, Dong y Jiang, 2019) y hay muchas expectativas para un futuro próximo (Ver Figura 2).

En este sentido, países como China, Alemania, India, Brasil y estados miembros de la Unión Europea están incrementando la energía renovable y promocionando trabajos en el sector energético (Ahmad y Zhang, 2020). Asimismo, Perú en relación a los Recursos Energéticos Renovables (RER) en el Sistema Eléctrico Interconectado Nacional (SEIN) la producción de energía eléctrica según el tipo de generación, el 46.3% es gas natural, el 45.8% hidráulica, 2.2% eólica, el 1.8% minihidráulica, 0.5% solar, 0.3% biomasa – biogás y otros el 3.1% (OSINERGMIN, 2017).

ENERGÍAS NO RENOVABLES

Energías en cantidad limitada que una vez consumidas no pueden sustituirse.



ENERGÍAS RENOVABLES

Energías que se obtienen de fuentes naturales virtualmente inagotables.



Figura 1. Comparación de energías no renovables vs renovables

Fuente: Baselga, 2019

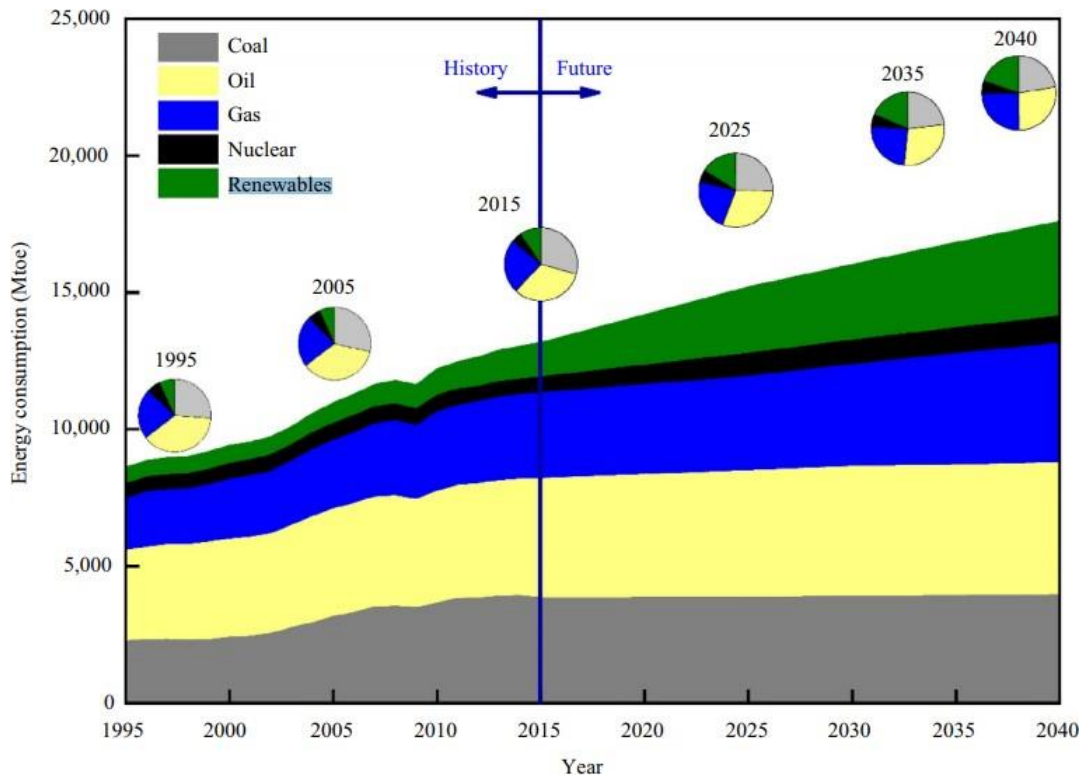


Figura 2. Estimación de tipo de energía a consumir

Fuente: Dong, Dong y Jiang, 2019

De todos los tipos de energía renovable, la energía que tiene como fuente el sol, es la más abundante y con mayor potencial de uso. La energía solar es la energía que se genera en el núcleo del sol por la conversión de hidrógeno en helio [...] la cual se libera al espacio en forma de radiación [...] siendo la energía libre de carbono más grande del planeta [...] La energía que llega a la tierra en 1 hora es 4.3×10^{20} J cuando la energía consumida en el planeta en un año es 4.1×10^{20} J (Foster, Ghassemi y Cota, 2010). La radiación solar medida fuera de la atmósfera terrestre es la denominada constante solar (1367 W/m^2), y la radiación solar máxima que alcanza la superficie terrestre 1000 W/m^2 .

En relación a la forma como viajan los fotones se hace referencia la radiación electromagnética. La radiación electromagnética es un tipo de energía que abarca muchas formas, y se describe como un campo oscilante y su correspondiente campo magnético, que se propagan en el espacio viajando en el vacío a la velocidad de la luz, caracterizándose por una longitud de onda y una frecuencia de oscilación (Aldabe, Aramendía, Bonazzola, Y Lacreu, 2004).

En la misma línea, el espectro electromagnético es el ámbito de longitudes de onda o su equivalente en frecuencias que abarca muchos tipos de radiación electromagnética. Cada onda electromagnética emitida o absorbida se caracteriza por el valor de su longitud (λ) de onda y frecuencia expresada en ciclos por segundo (ν). Los valores de longitud de onda conocidos se extienden aproximadamente entre 10^{-18} y 10^7 m (Ver Figura 3). Siendo el espectro visible (perceptible por el ojo humano) una pequeña fracción que se encuentra entre las regiones ultravioleta e infrarrojo (Ver Figura 4) (Picado y Álvarez, 2008).

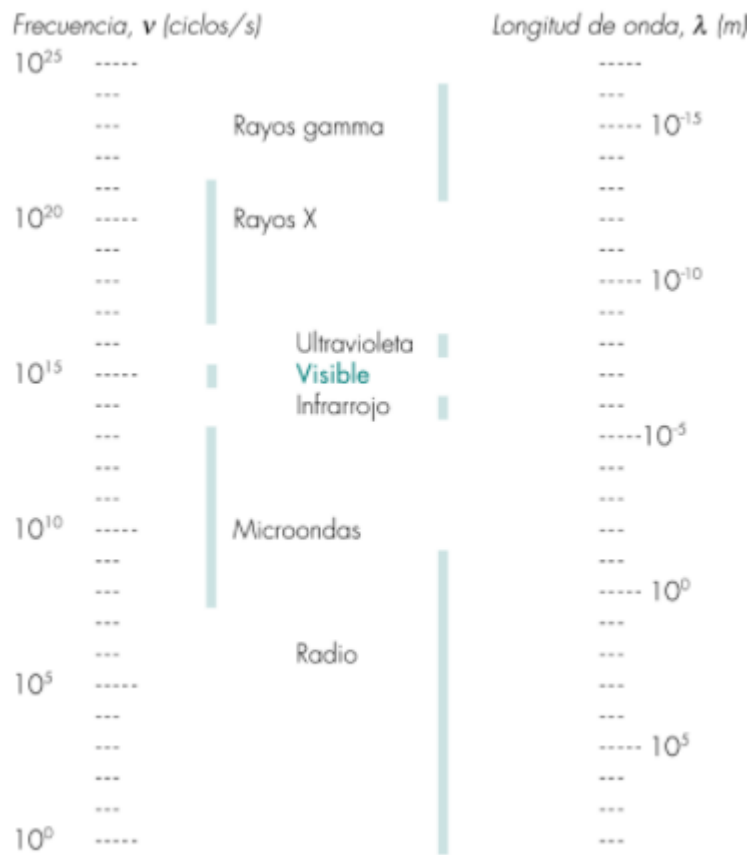


Figura 3. Zonas de espectro electromagnético

Fuente: Picado y Álvarez, 2008

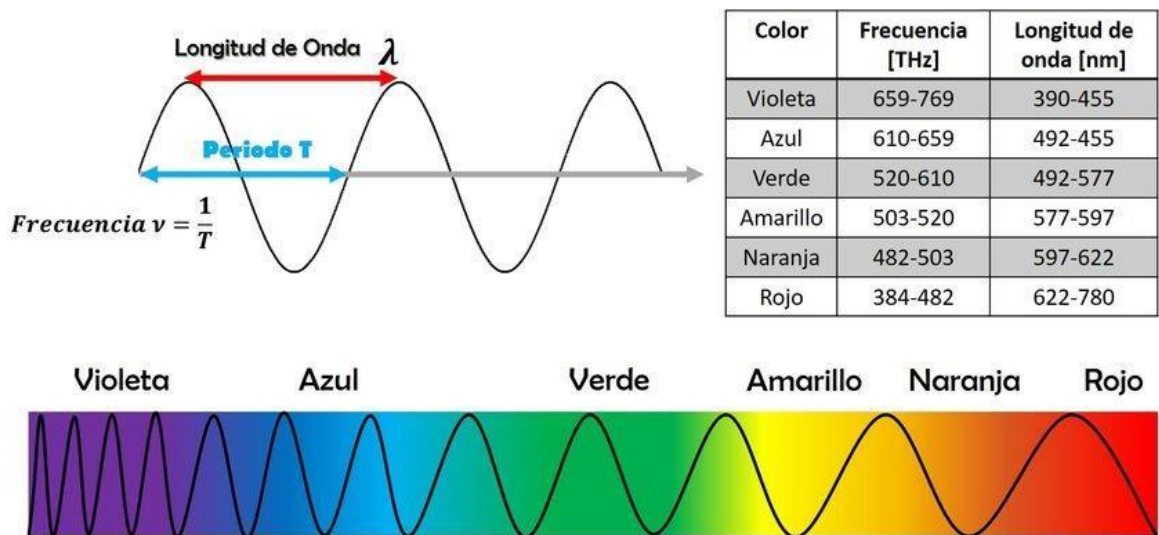


Figura 4. Espectro electromagnético en la región de luz visible

Fuente: Ibarra, 2017

Conociendo estos términos, la energía solar fotovoltaica consiste en transformar la radiación solar en electricidad mediante el uso de celdas fotovoltaicas; estas celdas componen los paneles fotovoltaicos, elemento fundamental para un sistema de generación fotovoltaica (Vargas, *et al.*, 2020).

La aplicación de tecnologías fotovoltaicas con alta eficiencia es un reto; la reducción del precio de generación de sistemas fotovoltaicos varía de acuerdo a la generación de tecnología (Álvarez, Martínez y Jaramillo 2019). A continuación, se describe este tipo de tecnologías referidas por este autor.

La primera generación de tecnologías fotovoltaicas se basa en el uso de semiconductores en estado sólido con silicio cristalino. El fundamento principal para aplicar esta tecnología ha sido la abundante disposición de silicio, sin embargo, esto está trayendo dificultades por los costos elevados y el tiempo requerido para la fabricación de celdas solares, así como su elevada fragilidad.

La segunda generación de tecnologías fotovoltaicas en comparación a la primera, la tecnología aplicada en este caso es más económica, pero es menos eficiente. El costo de producción oscila generalmente entre 2,3 – 2,5 USD/W y en el mejor de los casos 1,25 USD/W. Sin embargo, también tiene sus limitaciones como es caso de las películas delgadas de Teluro de cadmio (CdTe), se presenta deficiencias en la disponibilidad de teluro y la toxicidad del cadmio; este mismo problema se presenta en el uso de cobre, indio, galio y selenio.

La tercera generación de tecnologías fotovoltaicas propone el uso de películas delgadas a base de materiales durables, no tóxicos y de alta eficiencia. La búsqueda de la eficiencia se relaciona con el mecanismo de operación para evitar las restricciones por celdas de unión simple. Hasta ahora, la celda con mayor concentración solar y mayor eficiencia es la de tipo multifunción teniendo como base el arseniuro de galio (GaAs) y otros materiales de los grupos II al V de la tabla

periódica. Dentro de este tipo de tecnología, se encuentran también las celdas orgánicas, celdas concentradoras de tres uniones, o tipo multifunción.

Una celda fotovoltaica es un dispositivo formado por una lámina de material semiconductor, cuyo grosor varía entre los 0.25 mm y los 0.35mm generalmente de forma cuadrada con una superficie de aproximadamente 100cm² (ECA Instituto de Tecnología y formación, Méndez y Cuervo 2007).

Las celdas fotovoltaicas se pueden dividir en dos categorías: gruesas y de película delgada. Las gruesas parten de un lingote de silicio dopado de boro hasta obtener un prisma rectangular (obleas) y recortarlas en rebanadas de 0.3mm de espesor. Las celdas de películas delgadas tienen tecnología orientada a usar una menor cantidad de materia prima y energía de fabricación y, en consecuencia, reducir sus costos (Micheloud y Vicini, 2012).

Las celdas de película gruesa son las conocidas como celdas de silicio; entre ellas están las celdas de silicio monocristalino que son celdas con una estructura atómica muy ordenada, de color azul metálico; su proceso de fabricación requiere un alto consumo de energía lo que las hace más costosas, sin embargo, debido a su eficiencia son las más utilizadas en el mercado. Las celdas de silicio policristalino que son celdas que se obtienen al cortar longitudinalmente obleas de un lingote cilíndrico, su estructura atómica no está ordenada como las monocristalinas, haciéndolas perder su eficiencia y reducir su costo. Se encuentran también las tiras de silicio que son tiras delgadas extraídas a partir del silicio fundido y al no requerir una solidificación de lingotes, hay un ahorro de fabricación en comparación a las policristalinas.

Las celdas de película delgada abarcan las celdas de silicio amorfo; celdas con una estructura atómica que se aleja de una estructura cristalina pura ya que es bastante desordenada, teniendo tendencia a capturar cargas libres que reducen a la eficiencia de conversión, siendo su fabricación más barata que las celdas monocristalinas y policristalinas. Celdas multi-uniión como las de arseniuro de galio

(GaAs), que son celdas compuestas por múltiples películas delgadas con semiconductores diferentes para cada una. Celdas de Teluro de cadmio (CdTe) que como su nombre lo indica, son celdas con cadmio dentro de las mismas, el cual sería tóxico si se llegase a liberar y las celdas a base de cobre, indio, galio y selenio que son celdas con menor costo a las de silicio, sin embargo, en casos como el indio, la demanda supera a la producción (Ver Figura 9).

A este grupo de celdas de película fina, se suman también las Celdas Solares Sensibilizadas por Colorantes (DSSC); celdas solares que contienen un fotosensibilizador o tinte unido a un material semiconductor, con el fin de absorber la luz, mientras el transporte de carga se lleva a cabo en el semiconductor, el cual tiene como soporte vidrio conductor (ITO) y un electrolito con moléculas de par redox que se coloca entre electrodos (Olmedo, 2016).

A este tipo de celdas también se los conoce como celdas Graetzel. Al respecto, Martínez, López y Gómez (2016) señalan que este tipo de celdas están constituidas por un electrodo de trabajo mesoporoso, son de fácil fabricación, de bajo costo y su principio de funcionamiento está basado en procesos de transferencia interfacial de electrones. Al incidir sobre el fotoelectrodo la radiación es absorbida por el sensibilizador o colorante, anclado sobre el semiconductor, que pasa a su estado excitado. Existe una similitud entre la operación de una celda DSSC con la fotosíntesis (Ver Tabla 1).

Tabla 1. Relación de los compuestos de una celda DSSC con la Fotosíntesis

Subsistema	Celda solar DSSC	Fotosíntesis
Aceptor de electrones	Nanopartículas de TiO_2	Dióxido de carbono
Donante de electrones	Electrolito triyoduro	Agua
Absorbente de electrones	Colorante	Clorofila

Fuente: Armendáriz, *et al.*, 2014

Los principales componentes de una celda solar DSSC, mencionados anteriormente, se describen a continuación:

El sustrato o soporte mecánico es el encargado de proporcionar resistencia mecánica al óxido conductor transparente, y debe permitir incidencias de luz con mínimo de reflexión, recolectar los electrones del óxido semiconductor con la mínima resistencia; los materiales semiconductores, son elementos que tienen una conductividad eléctrica intermedia entre conductores y aislantes; el fotosensibilizador es el encargado de garantizar la eficacia de la captación de la luz en una DSSC y se puede agrupar en fotosensibilizadores de complejo metálico, fotosensibilizadores orgánicos y fotosensibilizadores naturales; cabe señalar que un colorante sensibilizador debe poseer al menos un grupo de anclaje para adsorberse en el semiconductor (COOH, SO₃H, PO₃HO, OH, entre otros) y una alta absorción de luz visible y cubrir una amplia zona del espectro solar.

Un electrolito es un medio colorante cuya función general es mover los electrones desde el contraelectrodo al tinte oxidado para regenerar el tinte después de la inyección de electrones en la banda de conducción de los semiconductores, siendo el más destacado en las celdas DSSC es el par redox I⁻/I₃⁻ disuelto típicamente en acetonitrilo (ACN). Finalmente, está el contraelectrodo que tiene como función principal transportar los electrones que llegan desde el circuito externo de regreso al electrolito redox y transportan la fotocorriente a lo ancho de la celda solar, este debe tener alta actividad catalítica y conductividad eléctrica, ya que facilita la reducción de las especies redox que participan en la regeneración del sensibilizador (Gong, Sumathy, Qiao y Zhou, 2017; Hosseinnezhad, *et al.*, 2020; Ikpesu, Iyuke, Daramola y Oyetunde, 2020; Prat, Calderer y Rossel, 2009; Roslan, *et al.*, 2018; Sánchez, 2010).

Cabe señalar que una celda DSSC tiene un principio de funcionamiento específico que incluye seis reacciones principales; la absorción, inyección de electrones, transporte de electrones, reducción del triyoduro, regeneración del tinte y la recombinación Ikpesu, *et al.*, (2020).

Los sensibilizadores de colorantes naturales son moléculas de pigmento o tintes obtenidos principalmente de plantas y en algunos casos de animales o minerales, con o sin químicos y tienen un grupo hidroxilo en su estructura que exhibe su solubilidad en el agua (Ludín, *et al.*, 2014). Las plantas contienen varios colores que consisten en pigmentos listos para ser extraídos y aplicados en una celda solar. Actualmente se presentan como sustitutos de los fotosensibilizadores convencionales, debido a su alta reducción de síntesis química, su abundancia, su facilidad de obtención, suelen tener un amplio rango de absorción en la región PAR (Radiación Fotosintéticamente Activa) (400- 700nm), son más baratos y respetuosos con el medio ambiente. Entre los fotosensibilizadores más destacados están la clorofila, antocianina, carotenoide, flavonoide, betalaína, entre otros (Ver Figura 5) (Roslan, *et al.*, 2018).

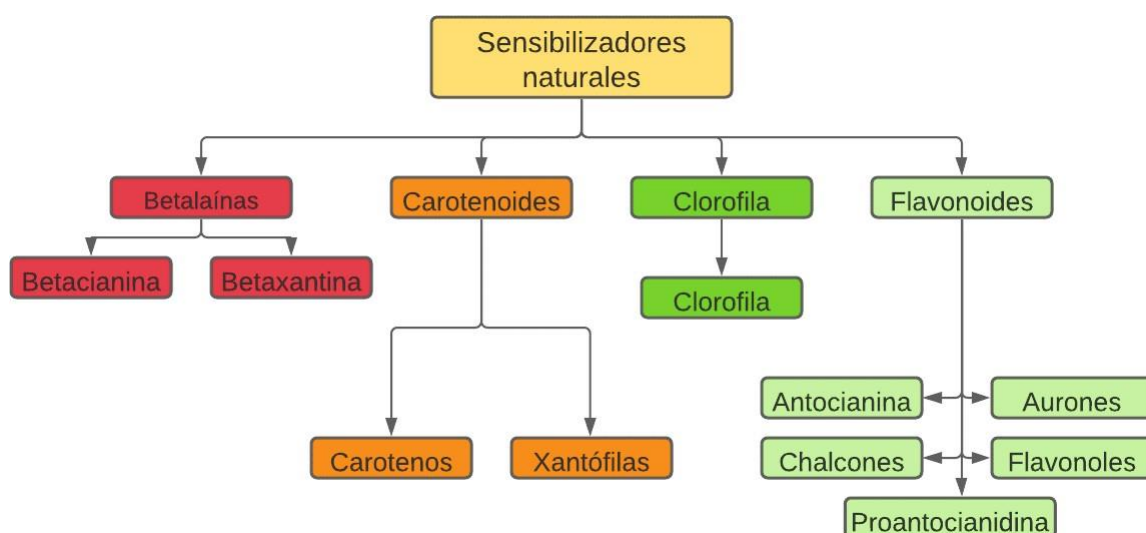


Figura 5. Diferentes tipos de pigmentos en las plantas

Fuente: Roslan, *et al.*, 2018

En una celda DSSC, el pigmento recubre el semiconductor, absorbe la luz y excita el electrón del orbital molecular más alto (HOMO) al más bajo desocupado, orbital molecular (LUMO) produciendo así una combinación de un electrón excitado y un agujero de electrones que se conoce como excitón. Los HOMO es la parte de la celda con el nivel de energía más alto, mientras que el LUMO tiene el nivel de energía más bajo de la celda Ikpesu, *et al.*, (2020).

A continuación, se presentan investigaciones relacionadas con el uso de pigmentos o colorantes naturales con sensibilizadores de celdas DSSC:

Azwar, *et al.*, 2018, fabricaron DSSC sensibilizadas con pigmentos obtenidos del extracto de *Piper ornatum* y *Piper betle*; y como semiconductores, dióxido de titanio (TiO_2) y dióxido de estaño (SnO_2), con el fin de comparar su rendimiento fotovoltaico. La estructura mecánica sobre la que se trabajó fue un vidrio FTO (Óxido de estaño dopado con Fluor) y como contraelectrodo platino (Pt) pulverizado sobre el FTO. La eficiencia resultante de la combinación de *Piper ornatum* con el semiconductor TiO_2 fue 0.032%, con la combinación de *Piper ornatum* y SnO_2 de 0.022%, para la combinación de *Piper betle* con TiO_2 su eficiencia fue 0.034% y con la combinación de *Piper betle* y SnO_2 0.014%.

Obi, Frolova y Fuierer (2020) obtuvieron disolventes extraídos de frutas de tuna (*Opuntia phaeacantha*) y mora (*Morus rubra*) para sensibilizar celdas solares y evaluar el desempeño fotovoltaico. Las células solares se prepararon sobre un sustrato FTO utilizando nanopartículas TiO_2 películas mesoporosas y colorantes de frutas como sensibilizadores tanto en forma cruda como separada utilizando metanol y agua en proporciones (100: 0, 90:10, 70:30, 40:60, 0: 100, peso) como disolvente de extracción para obtener betalaína y antocianina. Basado en el desempeño fotovoltaico (PV), se encontró que el metanol acuoso (90% metanol / 10% agua) era la mejor extracción solvente para la betalaína de la tuna, mientras

que el metanol al 100% fue mejor para la antocianina de la mora. Se logró una eficiencia máxima general de 0.82% a partir de una mezcla de cóctel 1: 1 de extractos de antocianina y betalaína, atribuida en parte a un espectro de absorción ampliado y aumentado. Una de las principales conclusiones a las que se llegó en este estudio fue que, en este caso, no hubo un beneficio notable de eficiencia obtención del colorante purificado y extracto puro.

Por su parte, Erande *et al.* (2020), extrajo colorante natural (específicamente antocianina) de *Punica granatum* para usarlo como sensibilizar las celdas DSSC; se usó TiO_2 como semiconductor, solución electrolítica de yoduro de potasio y yodo y se formaron contraelectrodos de carbón con llama de vela. Las estructuras y propiedades morfológicas del TiO_2 se caracterizaron por diferentes técnicas; entre ellas difracción de rayos X (XRD) para observar su estructura cristalina y barrido de electrones. Microscopía (SEM), para observar su tamaño y forma de la película de TiO_2 . Asimismo, la absorción en el TiO_2 del colorante extraído se caracterizó por espectroscopia UV-Vis-IR a una longitud de onda entre 200 - 800nm; la película desnuda de TiO_2 mostró una energía de banda prohibida de 3,42 eV y la película de TiO_2 con colorante una longitud de banda prohibida de 3,23 eV. Los resultados mostraron que la mayor eficiencia de fotoconversión fue 0.2% para las DSSC sensibilizadas con colorante natural.

A nivel nacional, Condori (2019) fabricó prototipos de celdas solares Grätzel a base de nano partículas (NPs) de dióxido de titanio (TiO_2) y colorante orgánico natural de maíz morado (*Zea mays L.*) en un sustrato de vidrio FTO, con una preparación de contraelectrodo a partir de una solución líquida de ácido hexacloroplatínico, grafito y hoja de aluminio y electrolito a base de yodo a 0.5 M; realizando un ensamblado y sellado manual. Una vez elaborado los prototipos se sometieron a pruebas de corriente y voltaje lográndose e identificar que la celda solar que empleaba como electrodo una hoja de aluminio no se obtienen resultados óptimos mientras que la celda que utiliza como electrodo el grafito presenta una corriente de 80 mA, las

eficiencias de los prototipos emiten resultados del 0.003%, 0.003%, 0.004% que equivalen a un área de 0.5 cm² cada uno.

Asimismo, a nivel local, Silva (2018) determinó el nivel de correlación entre los parámetros de eficiencia de las células fotovoltaicas nanoestructuradas a base de dióxido de titanio (TiO₂), sensibilizadas con pigmentos nativos peruanos. Para ello, se desarrollaron diez prototipos de celdas fotovoltaicas formando películas delgadas de TiO₂ sobre placas de vidrio de FTO formando los electrodos y sensibilizadas con extracto de los colorantes nativos de Aguaymanto (*Physalis peruviana*) y Camu Camu (*Myrciaria dubia*) y se usó una solución electrolítica de yoduro de potasio como electrolito y como contraelectrodo una capa formada de hollín. Estos prototipos fueron sometidos a pruebas y comparaciones para identificar el prototipo de mayor eficiencia, dando como resultado el prototipo de la mayor eficiencia se obtuvo con la celda sensibilizada al pigmento de Aguaymanto con un tiempo de exposición de 2h 39 m 11.07s obteniendo un valor medio de 2.33E⁻⁶ %.

Las investigaciones mencionadas anteriormente muestran el uso de diversos pigmentos como sensibilizadores de las DSSC, destacando el uso de antocianina; así como las diversas eficiencias obtenidas en cada caso; sin embargo, esta no siempre se debe al uso del colorante utilizado.

En referencia a los pigmentos antociánicos, las antocianinas son flavonoides polifenólicos basados en anillos que actúan como protector solar y antioxidantes en las plantas y se comportan tintes absorbentes de luz en la región visible (Hosseinnezhad, *et al.*, 2020). La antocianina es la responsable de dar color a las flores, frutos y hojas de plantas en el rango de rojo-púrpura; también se puede encontrar en otros órganos vegetales como tubérculos, raíces tallos y semillas de plantas [...] La sensibilización de semiconductores de banda ancha utilizando pigmentos, a menudo se atribuye a la antocianina (Ludín, *et al.*, 2014).

La antocianina contiene grupos carbonilo e hidroxilo que limitan con la capa del óxido semiconductor, ayudando que se una a la capa del TiO₂ covalentemente y permita la migración de electrones a la banda de conducción del semiconductor (Gómez, Jaramillo, Schot, Arratia-Pérez y Zárata, 2017; Jalali, Arkián, Golshan, Jalali y Osfouri, 2020) (Ver Figura 6).

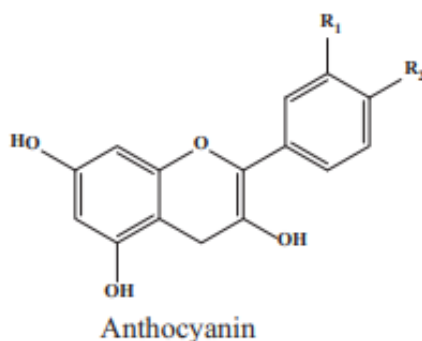


Figura 6. Estructura de la antocianina.

Fuente: Ludín, *et al.*, 2014

La antocianina se puede encontrar en diversas frutas, en el caso de la *Punica granatum*; la antocianina es considerada la responsable del color rojo del fruto y de sus semillas; el color rojo depende de la concentración y el grupo de antocianina siendo la más importante la delfinidina; asimismo, presenta grupos fenólicos por la acción antioxidante de este grupo (Espín, Soler, Wichers y García, 2000).

La *Punica granatum* es una fruta ligera con contenido moderado en caloría y un contenido en agua muy alto que supera el 80% de su peso. La variedad más consumida en el Perú es *Wonderfull-California* (Ver Tabla 2) que presenta un color de los arilos rojo oscuro con un alto contenido de jugo, su sabor es agridulce y tiene un alto rendimiento por encima de 40 Tm/ha (Ludeña, 2017) (Ver Figura 7).

Tabla 2: Clasificación taxonómica de la granada

Taxonomía	
Reino	<i>Plantae</i>
Filum	<i>Magnoliophyta</i>

Clase	<i>Magnoliopsida</i>
Orden	<i>Myrtales</i>
Familia	<i>Punicaceae</i>
Género	<i>Punica</i>
Especie	<i>Punica Granatum</i>

Fuente: Ludeña, 2017

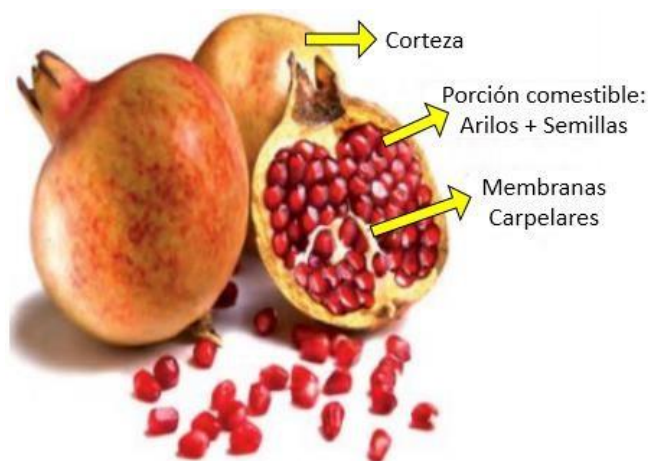


Figura 7. Partes de la granada

Fuente: Ludeña, 2017

Por otro lado, la *Brassica oleracea var. capitata f. rubra* conocida comúnmente como col roja es una hortaliza oriunda de Europa Occidental y Meridional (Valadez, 1994). Pertenece a la familia de las *Brassicaceae* [...] (Ver Tabla 3) sus hojas son de color rojo encendido-morado por su perfil fitoquímico a base de flavonoides y la presencia del pigmento antocianina, de cuyos componentes más abundantes destacan la cianidina (Salinas, López, Valencia y Cerón, 2015; Montañez, Espitia, Castellanos y Devia, 2015). La antocianina posee grupos – OH que se anclan al TiO_2 en una celda DSSC (Ver Figura 9).

Tabla 3. Taxonomía y morfología de la col morada (*Brassica oleracea* var. *capitata* f. *rubra*)

Nombre común	Col morada
Reino	Plantae
División	Magnoliophyta
Clase	Magnoliopsida
Orden	Brassicales
Familia	Brassicaceae
Género	Brassica
Especie	B.Oleracea
Variedad	Capitata
Forma	Rubra

Fuente: Sisalima, 2009.



Figura 8. *Brassica oleracea* var. *capitata* f. *rubra*

Fuente: Montañez, Espitia, Castellanos y Devia (2015)

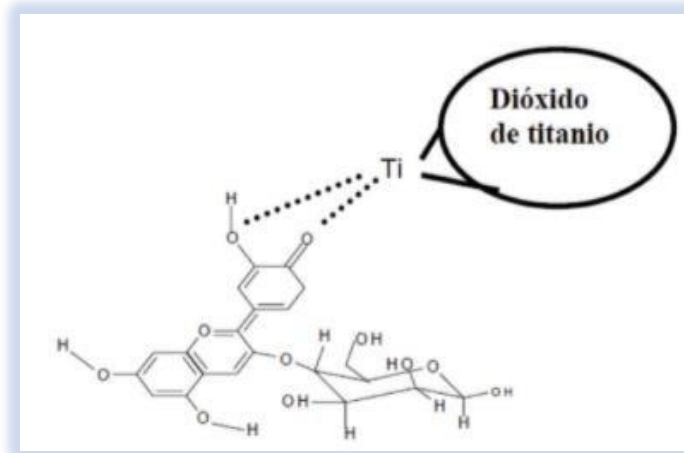


Figura 9. Anclaje de antocianina en la película de TiO_2

Fuente: Armendáriz, *et al.* (2014)

En referencia a los semiconductores, uno de los más conocidos es el dióxido de titanio (TiO_2); es el óxido semiconductor con mayor potencial de aceptor de electrones para celdas DSSC. El TiO_2 es químicamente estable, no tóxico y disponible en grandes cantidades y tiene gran resistencia a la corrosión o descomposición en presencia de reacciones electroquímicas (Kalyanasundaram, 2010).

Sin embargo, actualmente, se está optando por buscar nuevos materiales semiconductores, entre los cuales se encuentra el grafeno que puede usarse como semiconductor junto con el TiO_2 . El grafeno como tal, es un nanomaterial bidimensional con una capa única aislada de hexágonos de carbono (Ver Figura 10). El carbono ocupa un vértice de hexágono y tiene fuertes enlaces covalentes con otros tres, con los que comparte tres electrones (Graphenano, 2017). El cuarto electrón forma un orbital perpendicular al grafeno, las propiedades del grafeno provienen de la regularidad de su estructura, fortaleza de los enlaces covalentes, la disposición de la red en dos dimensiones y de la disponibilidad a la conducción del cuarto electrón que queda libre de los enlaces covalentes y se puede mover libremente por toda la lámina de grafeno (Vega, 2018).

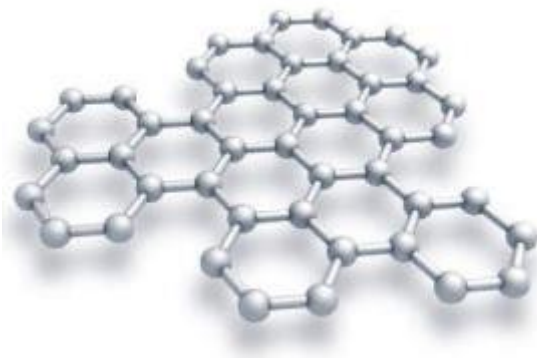


Figura 10. Lámina de grafeno
Fuente: Velazco, *et al.* (2016)

Entre los diversos métodos utilizados para sintetizar grafeno se encuentra es el método Hummers que consiste en la preparación de óxido de grafeno a partir de la exfoliación del óxido de grafito (Wypych, 2019) (Ver Figura 17). Cabe señalar que el grafito es un mineral compuesto exclusivamente por carbonos hibridados sp^2pz con enlaces π , que se encuentran en rocas metamórficas o ígneas. Es un buen conductor de calor y electricidad, tiene rigidez y resistencia regularmente alta, así como resistente a la corrosión (Jara, Betemariam, Woldetinsae y Yong, 2019). Estas propiedades especiales le permiten una variedad de aplicaciones como es la obtención de óxido de grafeno.

El óxido de grafeno (GO), contiene funciones hidrofílicas de grupos tradicionales que permiten su procesamiento más fácil en grandes cantidades a bajo costo. Los grupos funcionales que contiene (hidroxilo, epoxi, carbonilo y carboxilo) el GO le proporcionan una amplia estabilidad para permitir una mejor incorporación y uniformidad en la distribución dentro del nanocompuesto. A pesar de las ventajas, los grupos funcionales que contienen oxígeno deben eliminarse para restaurar las propiedades intrínsecas del grafeno, especialmente los componentes eléctricos (Agarwal y Zetterlund, 2021). Por lo cual, al preparar el óxido de grafeno no solo se emplea la exfoliación térmica sino también la exfoliación química, así como su reducción (Ver Figuras 11 - 12).

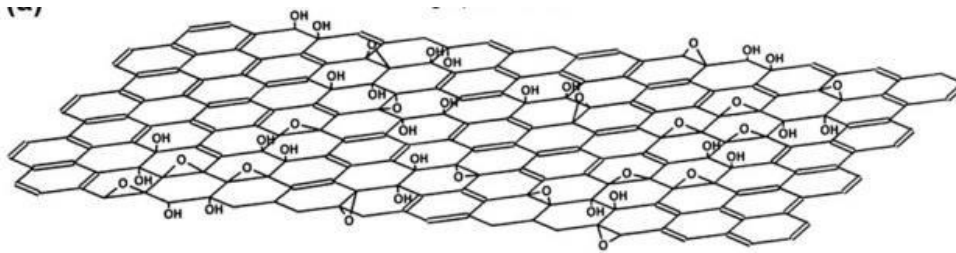


Figura 11. Óxido de grafeno
Fuente: Agarwal y Zetterlund (2021)

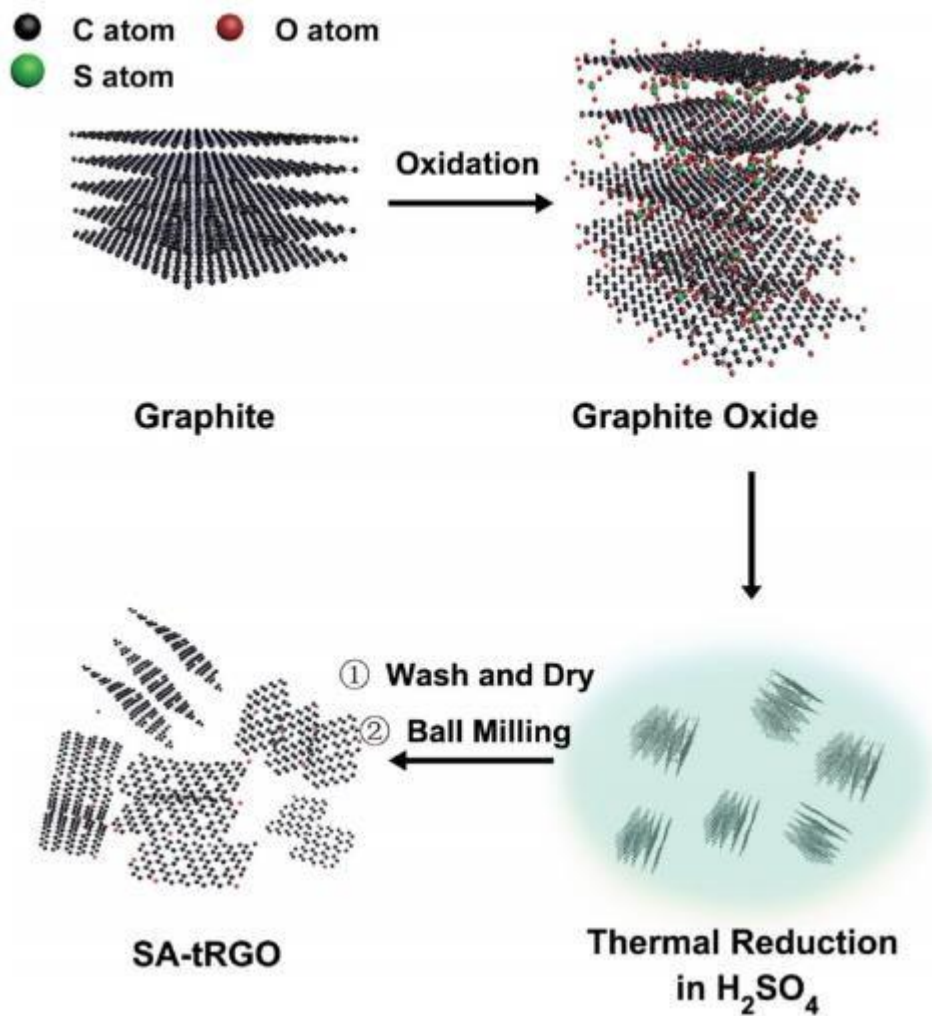


Figura 12. Obtención de grafeno a partir de grafito

Fuente: Wypych (2019)

El grafeno se puede incorporar al TiO_2 como compuesto para mejorar el rendimiento fotovoltaico aumentando la recogida de la carga. [...], la introducción de grafeno en nanomateriales de TiO_2 aumentan eficazmente el transporte de electrones y reducen la recarga de la carga lo que conduce a un mayor rendimiento del dispositivo (Adil, Khan y Kalpana, 2018).

Existen diversas investigaciones que evidencian el uso de grafeno y dióxido de titanio (Gr- TiO_2) como electrodo principal. Al respecto, Kazmi, Hameed, Ahmed, Arshas y Azam (2017) sintetizaron nanocompuestos de grafeno por el método Hummers. Donde se usó vidrio FTO como sustrato, pasta de Gr- TiO_2 como película semiconductor, tinte de rutenio N719 como sensibilizador y platino (Pt) como contraelectrodo. Asimismo, como técnicas de caracterización de la celda se usó difracción de rayos X donde se observó la estructura cristalina de nanocompuestos puros de TiO_2 y Gr- TiO_2 para diferentes porcentajes de grafeno. El resultado que se obtuvo al introducir la película de grafeno junto al TiO_2 , fue que la eficiencia de conversión de energía incrementó de 4,98% a 7,68%. Dicha investigación concluyó que la película de grafeno mejora el rendimiento de una DSSC y esto se asocia al aumento de la conductividad con el porcentaje óptimo de grafeno.

Por otro lado, Siddick, Lai y Juan (2018), estudiaron, analizaron y discutieron el rendimiento de las DSSC basadas en un fotoánodo de grafeno-titanio (TrGO). El sustrato utilizado fue vidrio FTO; el óxido de grafeno se sintetizó por el método Hummers y se utilizó como fotoánodo junto al TiO_2 ; asimismo, las celdas fueron sensibilizadas con N719 (tinte sintético) y tinte de clorofila (tinte orgánico) y para caracterizar sus propiedades estructurales del grafeno se utilizó espectroscopia Raman; el TrGO mostró dos amplias bandas de vibración de 1200 a 1700 cm^{-1} , en la banda D mientras que en la banda G se originó a 1583 cm^{-1} . con una intensidad de bandas G y D (IG/ID) de 0,38, mostrando un bajo nivel de defecto, alta

cristalinidad y pequeño tamaño de rOG en TrGO. Asimismo, en la banda 2D a 2600cm^{-1} se detectó TrGO-1, evidenciando capas rGO entre otras capas se evidencio también el TiO_2 , TrGO-2 y TrGO-1 a diferentes longitudes de onda. Finalmente, como resultado que el dispositivo DSSC con tinte N719 mostro $9,15\text{ mAcm}^{-2}$ de fotocorriente con una eficiencia del 3,95% y dispositivo DSSC fabricado con tinte verde generó una densidad de fotocorriente de $3,43\text{ mAcm}^{-2}$ y una eficiencia de 0,67%.

Por su parte, Patil [et. al] (2019) estudiaron la Influencia de nanofibras compuestas de óxido de grafeno- TiO_2 reducidas en células solares sensibilizadas con colorante a base de indolina orgánica DN350. El óxido de grafeno se sintetizó por el método Hummer, se utilizó vidrio FTO como sustrato y como electrodo el compuesto rGO- TiO_2 . Mediante el análisis de microscopía electrónica de transmisión (TEM) se observó la buena dispersión (buena combinación) del rGO sobre el TiO_2 y la naturaleza cristalina del rGO- TiO_2 . Los resultados mostraron que los compuestos de nanofibras que contenían 4mg de rGO- TiO_2 alcanzaron una eficiencia de 4,43%, llegando a la conclusión de que las celdas orgánicas basadas en indolina DN350 son altamente eficientes utilizando nanofibras compuestas de óxido de grafeno reducido (rGO)- TiO_2 debido a su efectiva conversión de energía.

Entre las técnicas conocidas para caracterizar grafeno esta la Espectroscopía UV-visible que se basa en el análisis de la cantidad de radiación electromagnética (en el rango de longitudes de onda de ultravioleta y visible) que puede absorber o transmitir una muestra en función de la cantidad de sustancia presente. Para este tipo de análisis se hace uso de un espectrofotómetro que cuenta con una fuente de luz, sistema óptico, compartimiento de la muestra y el detector que permiten medir su absorbancia a la longitud de onda del máximo y extrapolar en la curva de calibrado el valor de la concentración (Aznar, Cabanelas y Serrano, 2009).

Finalmente, la eficiencia energética de una celda solar se define como la relación entre la potencia entregada (P_{max}) y la potencia de luz incidente (P_{in}). La eficiencia

de fotoconversión se calcula utilizando la siguiente expresión (ver Ec. 1) (Aksoy, Gorgun, Caglar, Kamuran y Caglar, 2019).

$$n = \frac{P_{MAX}}{P_{in}} = \frac{FF \cdot J_{sc} \cdot V_{oc}}{P_{in}} \quad (1)$$

Donde:

V_{oc} = Voltaje del circuito abierto

J_{sc} = Corriente total del cortocircuito

FF= Factor de relleno de un dispositivo o Factor Fill

P_{MAX} = Potencia máxima

P_{in} = Potencia incidente (La potencia incidente (P_{in}) viene a ser el producto de la irradiancia y el área de la celda (Martínez, 2017).

El factor de relleno de una DSSC se calcula se calcula con la siguiente expresión. (Ver Ec. 2)

$$FF = \frac{P_{MAX}}{J_{CS} \cdot V_{oc}} = \frac{V_{max} \cdot J_{max}}{J_{cs} \cdot V_{oc}} \quad (2)$$

La tecnología fotovoltaica en relación a las celdas solares es bastante prometedora, sin embargo, el objetivo es mejorar su rendimiento, reduciendo el costo. El Laboratorio Nacional de energías renovables (NREL, EEUU) muestra una cronología del desarrollo de las tecnologías desde 1980 (Ver Figura 14).

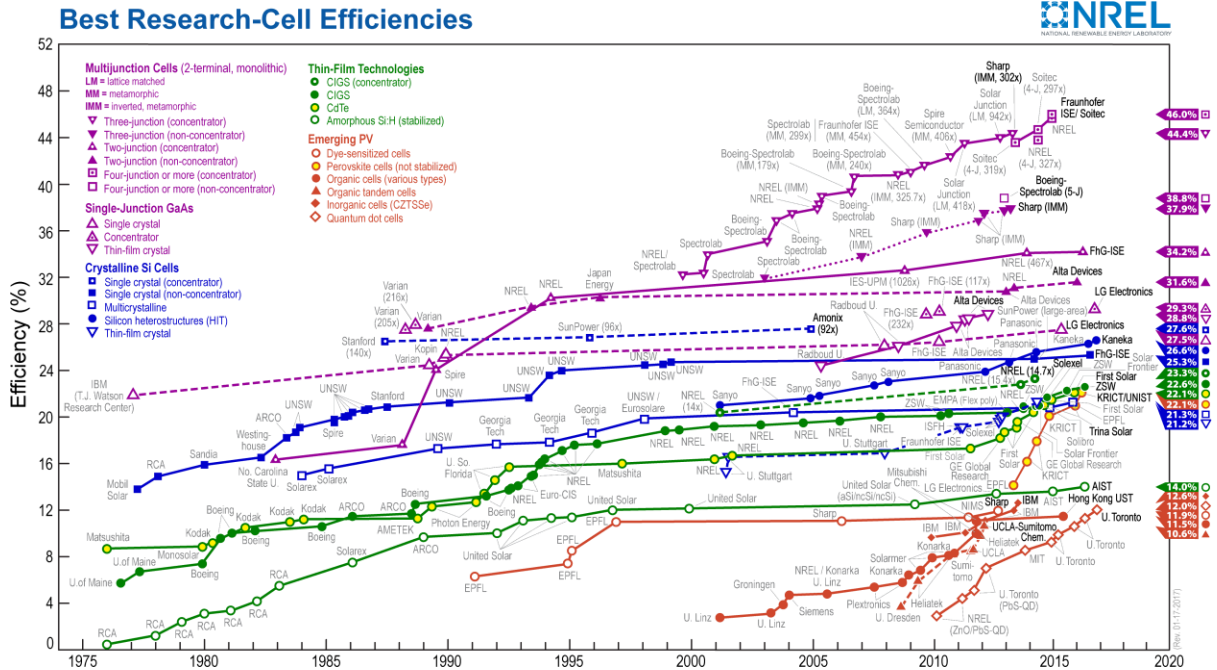


Figura 13. Eficiencia de celdas solares

Fuente: NREL (2020)

En la figura anterior se observa que, a mediados de la década de 1980, las celdas solares de GaAs (Arseniuro de galio) superaron en eficiencia a las celdas solares de silicio, llegando a tener aproximadamente 28% de eficiencia. Asimismo, la figura muestra que actualmente, las celdas solares más eficientes son las celdas fotovoltaicas de unión múltiple, utilizando capas arseniuro de galio, fosforo de galio indio y germanio. Por el contrario, las celdas que actualmente presentan menor eficiencia son las de tecnología fotovoltaica emergente en las que se encuentran las DSSC.

III. METODOLOGÍA

3.1. Tipo y diseño de investigación

Tipo

La investigación aplicada es un tipo de investigación con énfasis hacia la toma de decisiones importantes y a largo plazo (Namaforoosh, 2005) en la que se emplea conocimiento teórico desarrollando tecnología e invenciones para resolver problemas concretos y mejorar las condiciones de vida (Rodríguez, 2005). En este sentido, la presente investigación fue de tipo aplicada, ya que, como referencia, hay diversas investigaciones respecto al uso del óxido de grafeno como parte de la estructura de las celdas solares (fotoánodo - contraelectrodo); y el uso de pigmentos naturales para sensibilizar las celdas DSSC; con el fin de mejorar su eficiencia y ser una alternativa a las celdas fotovoltaicas convencionales.

Nivel

La investigación explicativa busca establecer las causas que desarrolla el objeto de estudio dando un nuevo enfoque al conocimiento actual (Rodríguez, 2005). En este sentido, la presente investigación fue de nivel explicativo ya que pretendió explicar cuál es el resultado que se obtiene si se hace la medición del voltaje generado por una celda solar DSSC fabricada antes de exponerlo a la radiación solar (O_1) y la medición del voltaje generado de la celda solar DSSC, expuesta a radiación solar (O_2).

Diseño

La investigación pre-experimental [...] consiste en administrar un tratamiento o estímulo en la modalidad de postprueba o en la de preprueba- postprueba (Ávila, 2006). Siendo así, el diseño de la presente investigación fue pre-experimental de tipo preprueba - postprueba ya que se midió el voltaje generado por las celdas solares antes de exponerlos a la radiación solar y después de exponerlos a la radiación solar, para la posterior determinación de la eficiencia energética.

GE: $O_1 \rightarrow X \rightarrow O_2$

GE: Grupo experimental (celda solar)

O₁: Medición previa al tratamiento experimental (Medición del voltaje de la celda solar fabricada sin exponerlo a la radiación solar)

X: Tratamiento experimental (Exposición de la celda fabricada a la radiación solar)

O₂: Medición posterior al tratamiento experimental (Medición del voltaje de la celda solar fabricada expuesta a radiación solar)

3.2. Variable y operacionalización

En la siguiente tabla se clasifican las variables que se estudiaron en la investigación:

Tabla 4. Variables de la investigación

Variables de investigación	Tipo de variables
Celdas solares DSSC	Variable independiente
Eficiencia energética	Variable dependiente

Las definiciones, dimensiones, indicadores y escala de medición de las variables se pueden visualizar en Anexo 1.

3.3. Población, muestra, muestreo y unidad de análisis

Población

La población estuvo constituida por todas las celdas solares fabricadas a base de óxido de grafeno y sensibilizadas con pigmento extraído del zumo de la semilla de *Punica granatum* y de la hoja de *Brassica oleracea var. Capitata f. rubra*.

Muestra

La muestra que se tomó fue 18 celdas distribuidas de la siguiente manera:

Tabla 5. Muestras consideradas en la investigación

Descripción	Cantidad de Celdas
DSSC a base de óxido de grafeno, sensibilizadas con pigmento extraído del zumo de la semilla de <i>Punica granatum</i> .	6
DSSC a base de óxido de grafeno, sensibilizadas con pigmento extraído del zumo de la hoja de <i>Brassica oleracea var. Capitata f. rubra</i> .	6

DSSC a base óxido de grafeno, sensibilizadas con pigmento extraído del zumo de la semilla de <i>Punica granatum</i> y de la hoja de <i>Brassica oleracea var. Capitata f. rubra</i> .	6
Total	18 celdas

- **Criterios de inclusión**

Se consideró como fuente luminosa la luz solar, el tiempo de radiación 20 minutos como máximo entre las 10:00 am hasta las 15:00 pm y radiación artificial a condiciones normales para la pre- prueba. Asimismo, Los materiales utilizados como sustratos fueron polímeros de plástico con características flexibles y resistentes. El fotoánodo se elaboró a base de óxido de grafeno reducido y nanopartículas de TiO_2 , el electrolito que se utilizó I_3/I^- , y el pigmento fue extraído de zumo de la semilla de *Punica granatum* y de la hoja de *Brassica oleracea var. Capitata f. rubra*. Asimismo, se consideró las celdas con voltaje mayor o igual a 0.2 V.

- **Criterios de exclusión**

El tiempo de radiación no debe ser mayor a 20 min y no debe estar fuera del horario de exposición entre las 10:00 am hasta las 15:00 pm. Asimismo, no se considerará como sustratos polímeros plásticos que no presenten flexibilidad y resistencia; como parte fundamental del fotoánodo se descarta otro compuesto diferente al óxido de grafeno, así como el uso de nanopartículas diferentes al TiO_2 y como electrolito, compuestos diferentes al par redox (I_3/I^-). Se restringe también el uso de otros pigmentos diferentes a los mencionados durante la investigación y se descartará las celdas que tengan un voltaje menor a 0.2 V.

Muestreo

Una muestra puede ser obtenida de dos maneras: probabilístico y no probabilístico. Las técnicas de muestreo probabilístico [...] permiten una selección al azar en cambio, en las técnicas de muestreo de tipo no probabilístico, la selección de los sujetos a estudio dependerá de ciertas características, criterios, etc. [...] por su parte el muestreo estratificado aplica [...] agrupar en forma aleatoria sujetos por características de interés [...] (Manterola y Otzen,2017).

La técnica de muestreo aplicada en la presente investigación es probabilística estratificada ya que la muestra se divide en tres estratos; celdas solares a base de óxido de grafeno reducido sensibilizadas por pigmento extraído del zumo de la semilla de *Punica granatum*; celdas solares a base de óxido de grafeno reducido sensibilizadas por pigmento extraído del zumo de la hoja de *Brassica oleracea var. capitata f. rubra* y celdas solares a base de óxido de grafeno reducido sensibilizadas por la combinación del pigmento del zumo de la semilla de *Punica granatum* y de la hoja de *Brassica oleracea var. capitata f. rubra*.

Unidad de análisis

Una celda solar a base de óxido de grafeno, sensibilizada con pigmentos extraídos del zumo y extracto de la semilla de *Punica granatum* y de la hoja de *Brassica oleracea var. capitata f. rubra*.

3.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

Tabla 6. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

ETAPA	FUENTE	TÉCNICA	INSTRUMENTO	RESULTADO
Síntesis de óxido de grafeno y caracterización	Grafito	Experimentación - Observación	Instrumento N°1 Reporte para la síntesis de óxido de grafeno (Anexo 2)	Óxido de grafeno sintetizado y caracterizado
Obtención de pigmentos de antocianina	Semilla de <i>Punica granatum</i> Hoja de <i>Brassica oleracea</i> <i>var. capitata f. rubra</i>	Experimentación	Instrumento N°2 Reporte para la obtención de pigmentos (Anexo 2)	Pigmentos de antocianina
Fabricación de la celda solar	Sustrato Semiconductor Pigmentos de antocianina Electrolito Contraelectrodo	Experimentación	Instrumento N°3 Registro de la fabricación de la celda solar (Anexo 2)	Celda solar DSSC
Generación de energía eléctrica	Fuente luminosa	Observación	Instrumento N°4 Registro de datos obtenidos para determinar la eficiencia energética de las celdas DSSC (Anexo 2)	Voltaje, intensidad de corriente y eficiencia de la energía de la celda solar fabricada

Tabla 7. Validación de instrumentos

Especialistas	Calificación
Dr. Benites Alfaro, Elmer Gonzalo	90%
Dr. Castañeda Olivera, Carlos Alberto	90%
Dr. Peralta Medina, Juan Alberto	95%
Alfa de Cronbach	1

3.5. Procedimientos

La investigación se dividió en cuatro etapas, en la primera etapa se sintetizó el óxido de grafeno y se caracterizó por espectrofotometría UV- visible, en la segunda etapa se obtuvo los pigmentos del zumo de la semilla de *Punica granatum* y de la hoja *Brassica oleracea var capitata f. rubra*. En la tercera etapa se fabricó las celdas y la última etapa se generó energía eléctrica, determinando las características de la incidencia energética y la medición de los parámetros eléctricos (Ver Figura 15).

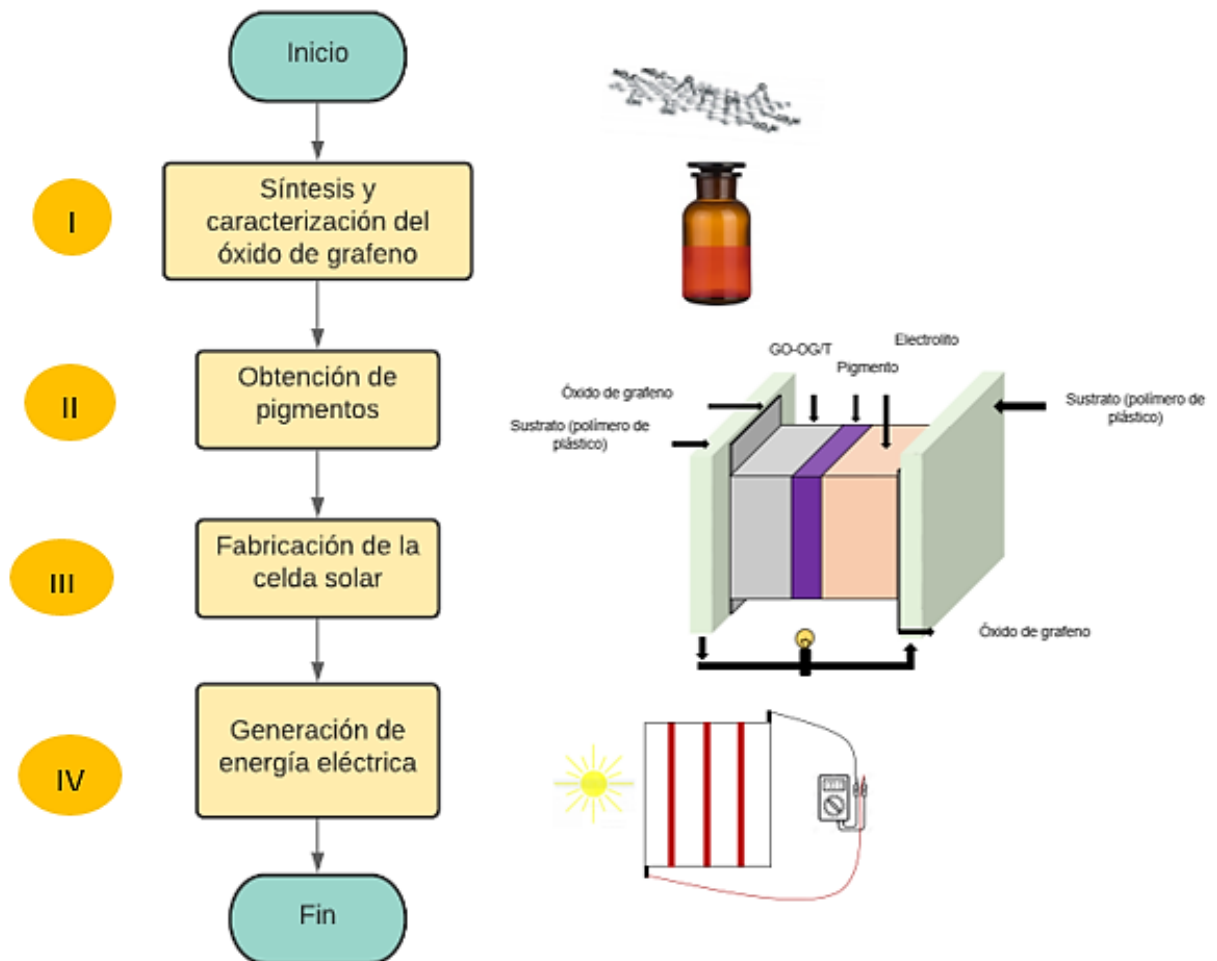


Figura 14. Etapas de la fabricación y medición de la eficiencia energética de la celda solar DSSC

Etapas I: Síntesis y caracterización del óxido de grafeno

El óxido de grafeno se sintetizó a partir de grafito por el método Hummers: (Ver Figura 17)

- En un vaso precipitado (1L) se colocó 20g de grafito en polvo, se añadió 40mL de ácido sulfúrico (H_2SO_4), 3g de nitrato de sodio ($NaNO_3$) y se mantuvo en agitación continua en un baño de hielo durante 2 horas.
- Se agregó lentamente a la solución 6g de permanganato de potasio ($KMnO_4$) a una temperatura bajo $15^\circ C$ y se mantuvo en agitación continua en un baño de hielo durante 2 horas.
- Se procedió a quitar la solución del baño de hielo y a mantenerlo en agitación durante 30min a $40^\circ C$. Seguidamente se añadió 250mL de agua desionizada a la solución y se mantuvo en agitación continua durante 2h.
- Se agregó a la solución, 25mL de peróxido de hidrógeno (H_2O_2), a temperatura ambiente y se agitó por 1 hora para luego completar con agua destilada hasta 1L aproximada y nuevamente se procedió a agitar por 2 horas.
- Se dejó decantar la solución por un promedio de 12 horas y pasado este tiempo se transfirió el agua trasparente a otro envase y se descartó.
- El sólido generado se lavó con ácido clorhídrico (HCl) al 5% en agua desionizada, dejando decantar la solución por un promedio de 12 horas; y posterior a ello, se repitió el mismo proceso por cuatro o cinco veces con agua destilada, hasta que el sobrenadante tenga una apariencia completamente transparente.
- Se agregó 400mL de agua desionizada y se llevó al ultrasonido durante 1 hora, se volvió a lavar, se filtró; llegando a obtener como sólido resultante óxido de grafeno (Ver Figura 16).



Figura 15. Óxido de grafeno

- Posterior a ello, se agregó a la solución 3g de ácido ascórbico y 100mL de agua desionizada, y se llevó al ultrasonido por 1 hora.
- Finalmente, el producto se lavó con agua destilada y se secó a 110°C durante 1 hora, abriéndose óxido de grafeno reducido (OGr) (Ver Figuras17 - 18).



Figura 16. Óxido de grafeno reducido

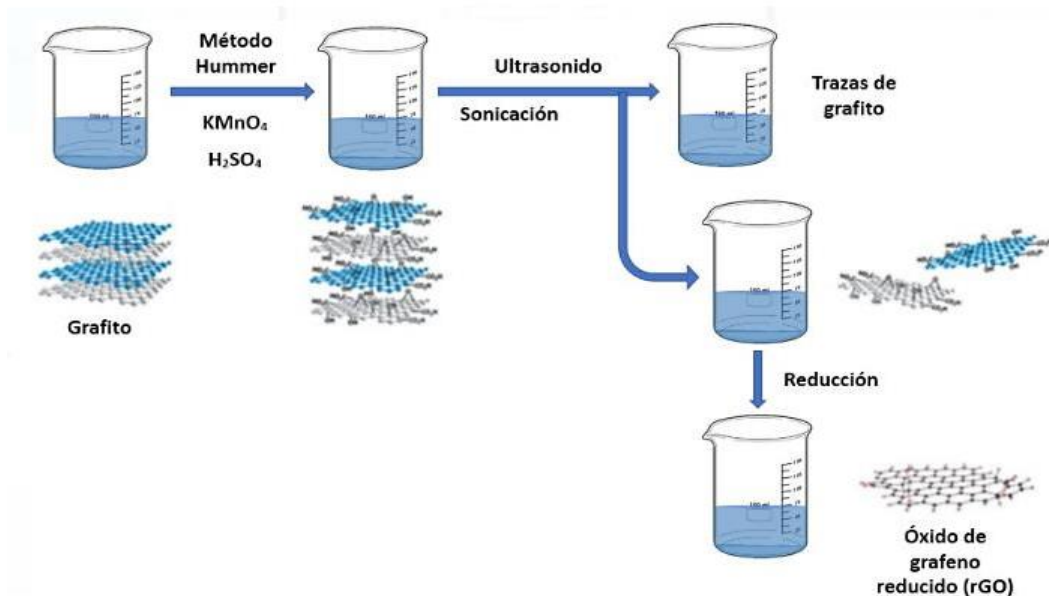


Figura 17. Proceso de síntesis de óxido de grafeno

El grafeno sintetizado fue caracterizado por espectrofotometría UV- visible, obteniendo las bandas de absorción.

En complemento al Oxido de grafeno reducido se sintetizó también nanopartículas de TiO_2 .

Obtención de nanopartículas de dióxido de titanio (TiO_2):

- Se colocó 20g de TiO_2 en un vaso precipitado (1L), se agregó 250mL de agua desionizada y se llevó a agitación continua durante 1 hora.
- Se añadió 10mL de peróxido de hidrógeno (H_2O_2) y se llevó a sonicar durante 30min, se filtró y se llevó a secar durante 1hora a 80°C (Ver Figura 18).

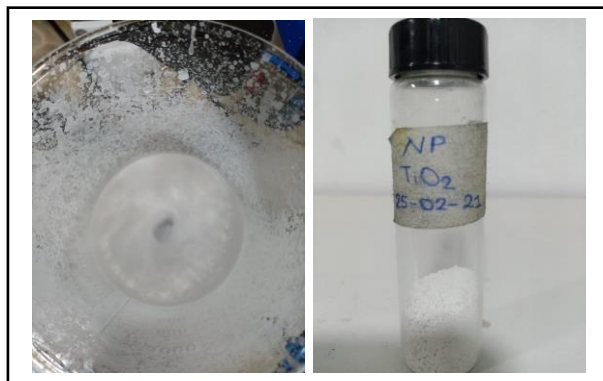


Figura 18. Nanopartículas de TiO_2

Etapa II: Obtención de pigmentos de antocianina de la semilla de *Punica granatum* y la hoja de *Brassica oleracea var. capitata f. rubra*

El fruto de *Punica granatum* más conocida por su nombre común granada, y las hojas de *Brassica oleracea var. capitata f. rubra* conocida por su nombre común col morada, se obtuvieron de en un abastecimiento de frutas y verduras, y la extracción de sus pigmentos se realizó de la siguiente manera:

El fruto de granada se lavó para reducir las partículas de polvo, se dejó secar a temperatura ambiente y se procedió a partirlo y desgranar sus semillas, tomándose una muestra de 50g. Seguidamente, se añadió 2mL de etanol, se lo dejó remojar por 15min y se procedió a tritularlo en un mortero de porcelana hasta obtener el pigmento respectivo. Posterior a ello, el pigmento extraído, se filtró y se colocó en un frasco de vidrio ámbar de 10mL, para ser usado posteriormente durante la fabricación de las celdas (Ver Figura 19).

Por otro lado, para la obtención de pigmentos de antocianina a partir de la hoja de la col morada, el procedimiento fue similar, se tomó 100g de hojas de col morada, se lavaron con agua desionizada y se llevaron a una temperatura de 60°C durante 5min para eliminar impurezas. Seguidamente, la muestra se dispuso en un mortero de porcelana para obtener el pigmento (zumo). Posterior a ello se filtró los restos y se colocó el pigmento extraído en un frasco de vidrio ámbar de 10mL (Ver Figura 20). Asimismo, para la obtención del pigmento

combinado, se siguió el mismo procedimiento, triturando al mismo tiempo las hojas de la col y las semillas de la granada.

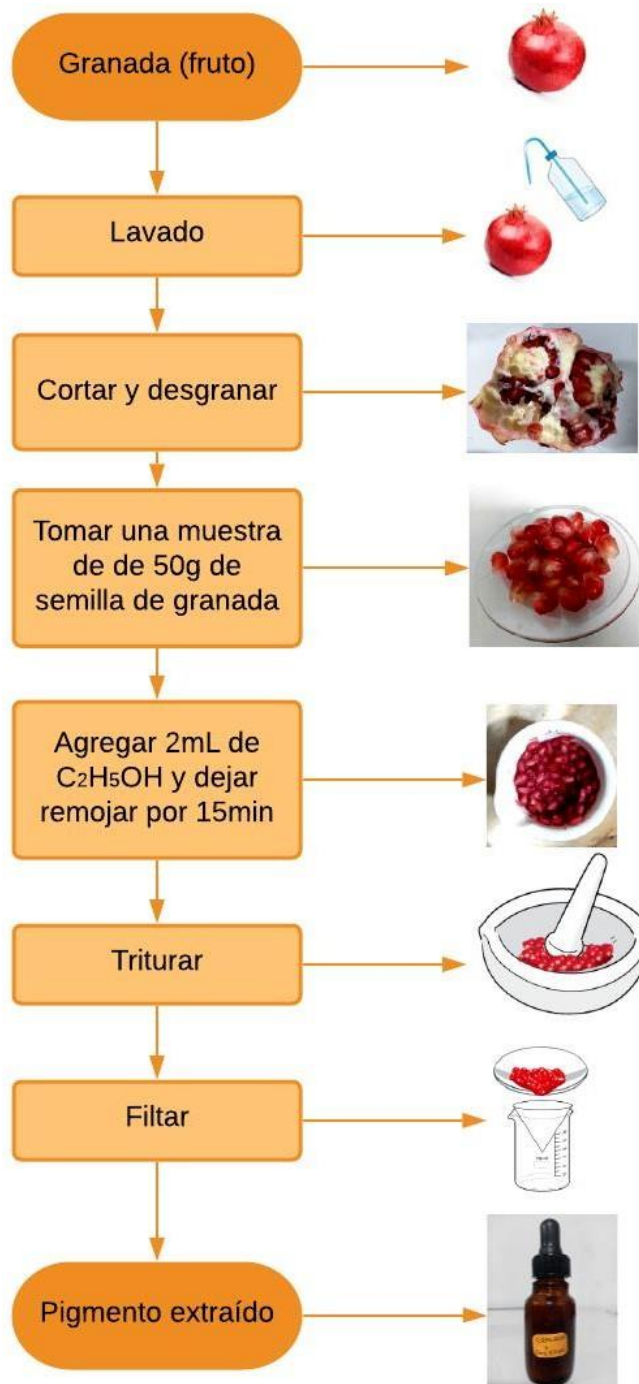


Figura 19. Proceso de extracción de pigmento de la semilla de *Punica granatum*.



Figura 20. Proceso de extracción de pigmentos de la hoja de *Brassica oleracea* var. *capitata f. rubra*

Etapla III: Fabricación de la celda solar DSSC

La celda solar fue ensamblada tipo sándwich, en primer lugar, se acondicionó los sustratos (mica de plástico) de 48cm^2 con iones de cobre, y luego en forma de líneas horizontales se transfirió la película de óxido de grafeno reducido, la película de TiO_2 más óxido de grafeno reducido y la película de TiO_2 , sometiéndolo a un proceso térmico de 800°C durante 1min por cada deposición. Posterior a ello, se añadió la solución electrolítica preparada a partir KI 0.5M (yoduro de potasio) y yodo I_2 (0.5M), se dejó secar por un tiempo aproximado 30min y se añadió el pigmento respectivo el cual también se dejó secar por 30min. Luego se procedió a colocar cinta de cobre en los bordes y se conectó en serie cada línea horizontal con las respectivas transferencias mencionadas anteriormente. Finalmente, se cubrió con el contraelectrodo hecho a base de iones de cobre y de óxido de grafeno reducido y se procedió a sellar a una temperatura de 120°C (Ver Figura 21).

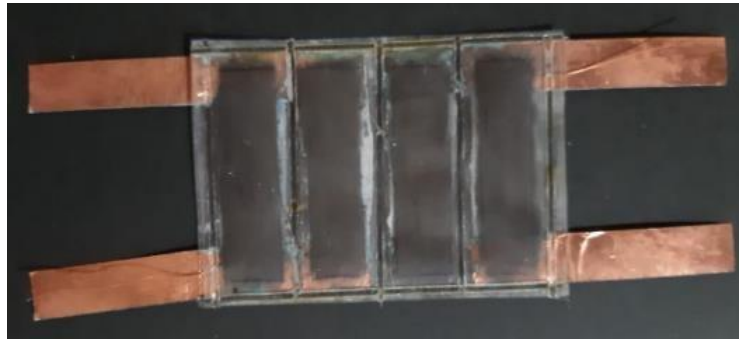


Figura 21. Celda Solar fabricada

Tabla 8. Características de fabricación de la celda solar DSSC

CARACTERÍSTICAS DE LA FABRICACIÓN		
Material	Código	Descripción
Óxido de grafeno reducido	GO1	1 mg
	GO2	2 mg
Dióxido de titanio (TiO ₂)	T1	1 mg
	T2	2 mg
Pigmento	P1	Zumo de <i>Punica granatum</i> + etanol
	P2	Zumo de <i>Brassica oleracea var. capitata f. rubra</i> + etanol
	P3	Zumo de <i>Brassica oleracea var. capitata f. rubra</i> + zumo de <i>Punica granatum</i> + etanol
Electrolito	E1	0.5 mL
	E2	0.8 mL
	E3	1 mL
Tiempo de secado	t1	10 min
	t2	20 min
	t3	30 min

Tabla 9. Combinación de pasta para el fotoánodo

(*) COMBINACIONES DE PASTA-FOTOÁNODO		CODIGO
Óxido de Grafeno	GO	GO
Óxido de Grafeno / Dióxido de Titanio (1mg)	GO/TiO ₂	(GO/T) ₁
Óxido de Grafeno / Dióxido de Titanio (2mg)	GO/TiO ₂	(GO/T) ₂

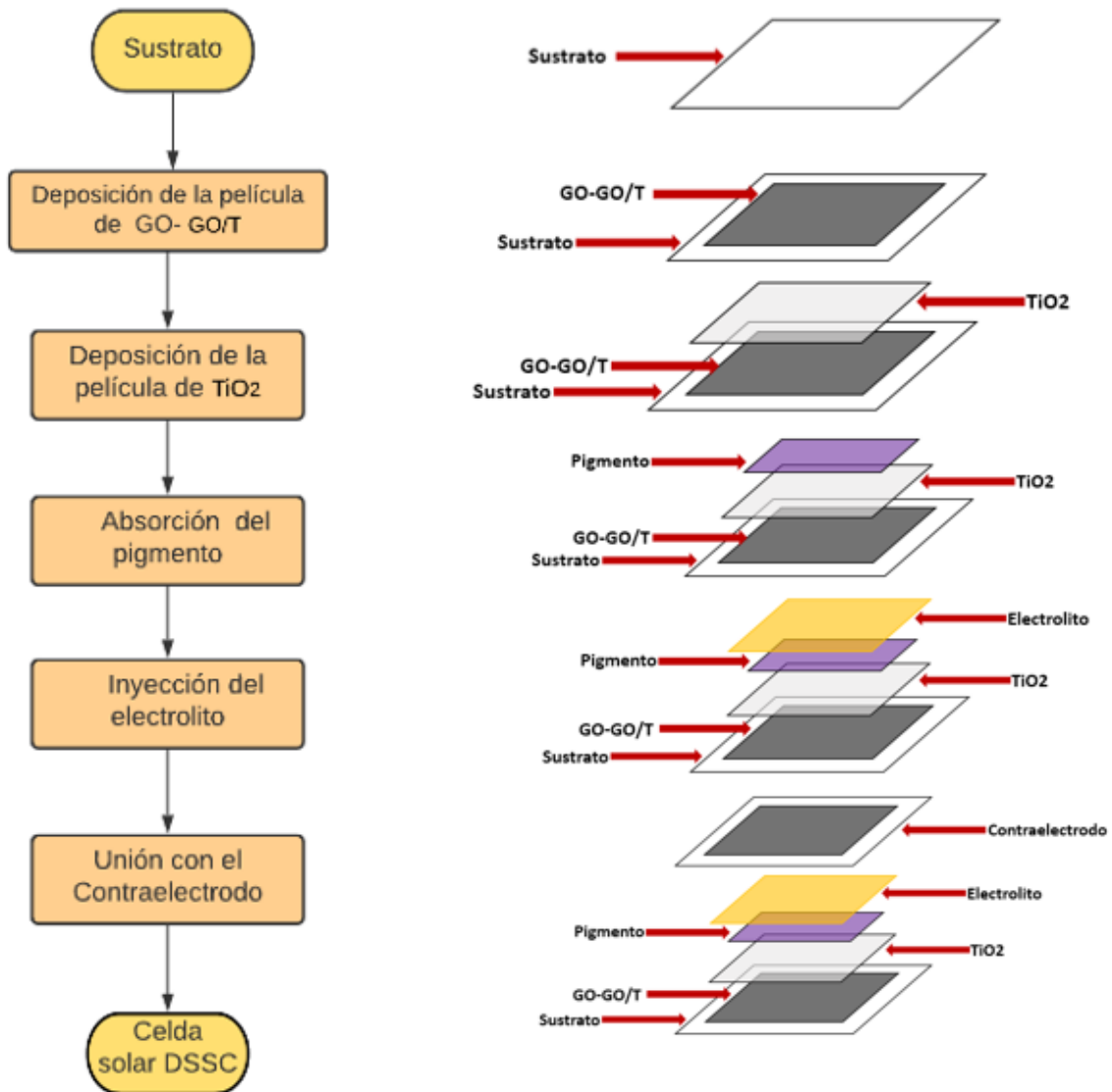


Figura 22. Proceso de fabricación de celda solar DSSC

Etapa V: Generación de energía eléctrica

Después de fabricada la celda solar, esta se expuso a una fuente luminosa por un determinado periodo de tiempo, y en forma paralela, se midió la radiación solar (W/m^2) con un piranómetro, el voltaje y la intensidad de corriente con un voltímetro.



Figura 23. Medición de la radiación solar

3.6. Método de análisis de datos

El análisis de datos se realizó con el programa Microsoft Excel 2016, donde se hizo el registro de los datos y resultados obtenidos para poder generar tablas comparativas de los parámetros medidos en cada grupo común de celdas solares y poder interpretar cada tabla. En la misma línea, tomando en cuenta los parámetros de la intensidad de corriente (mA) y el voltaje (mV) se generó figuras de las curvas I-V para poder ver su variación e identificar la corriente cortocircuito (I_{sc}), voltaje de circuito abierto (V_{oc}) y el punto de potenciamáxima, (MPP); así como poder calcular automáticamente el factor de llenado (FF) y la eficiencia energética promedio. Así también en como parte de la estadística descriptiva, se determinó los datos estadísticos descriptivos (media y desviación estándar) de corriente y voltaje. Cabe señalar también, que, con respecto a la caracterización del óxido de grafeno, se obtuvo los resultados de la Espectrofotometría UV- visible de laboratorio y la interpretación se realizó en base a referencias bibliográficas.

Con respecto al método de análisis inferencial; este se realizó en el software IBSPSS versión 21. Para la prueba de normalidad se aplicará Shapiro Wilk

considerando que la muestra fue menor a treinta y cinco y cinco se realizó la contratación de la hipótesis donde la hipótesis alterna H_i : Las celdas solares fabricadas a base de óxido de grafeno reducido y sensibilizadas con pigmentos del zumo de la semilla de *Púnica Granatum* y la hoja de *Brassica oleracea var capitata f. rubra* generan un voltaje promedio de 0.5 V y la hipótesis nula H_0 : Las celdas solares fabricadas a base de óxido de grafeno reducido y sensibilizadas con pigmentos extraído del zumo de la semilla de *Púnica Granatum* y la hoja de *Brassica oleracea var capitata f. rubra* no tienen un voltaje promedio de 0.5 V. Dado que los datos obtenidos mostraron una distribución normal, ya que su significancia fue superior a 0.05, se aplicó la prueba paramétrica, T de student si la significancia ($p < 0.05$) se rechaza la hipótesis nula, aceptando la hipótesis alterna (Ver Anexo 4).

3.7. Aspectos éticos

Como parte de la ética profesional, en la presente investigación se dio cumplimiento a los principios de investigación establecidos por CONCYTEC, y el código en investigación de la Universidad César Vallejo, Resolución de Consejo Universitario N° 0126-2017/UCV, en este sentido, se trabajó con datos verídicos, sin manipular resultados a conveniencia, con el fin de contribuir a investigaciones posteriores. Las fotografías, datos, resultados y todas las evidencias que se muestran están relacionados con un laboratorio especializado. Asimismo, toda la información contemplada está debidamente citada y referenciada en estilo ISO 690 y 690-2 y se adjunta los resultados de similitud de Turnitin.

Por otro lado, se aplicó el principio de respeto al ecosistema, aprovechando un recurso natural que es el sol, fuente básica de energía renovable, se tomó en cuenta las consideraciones éticas para la flora, utilizando partes de las plantas, que en ambos casos estaban en su estado de producto comestible, y fueron adquiridos en un mercado de frutas y verduras. En el caso de la *Punica Granatum* se tuvo en cuenta que el fruto este fresco, maduro y que su área natural de cultivo corresponda al territorio nacional; de la misma manera, para la obtención de las hojas de la *Brassica oleracea var. Capitata f. rubra*, se tuvo en cuenta que estén en un estado comestible, frescas y que su área natural de cultivo corresponda al territorio nacional.

Asimismo, se trató de reducir en gran medida el impacto ambiental asociado a las celdas solares convencionales, si bien es cierto que el periodo de vida útil de una celda solar DSSC es menor que el de una celda convencional; en este caso, para compensar dicho suceso, en la fabricación de la celda, se usó un polímero plástico como estructura, grafeno como corazón de las celdas, un material prometedor en remplazo al silicio, dióxido de titanio (TiO₂) un compuesto no tóxico y pigmentos naturales para sensibilizar dichas celdas, con

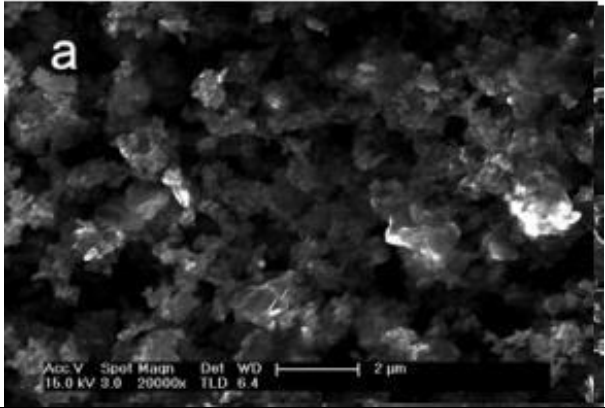
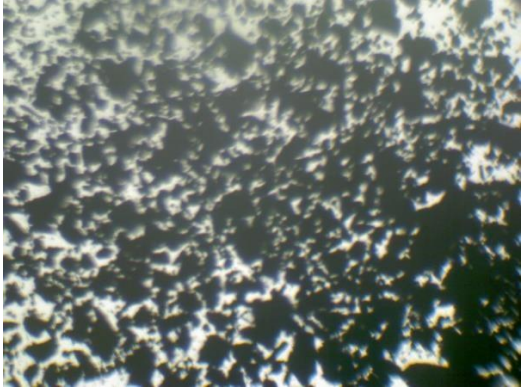
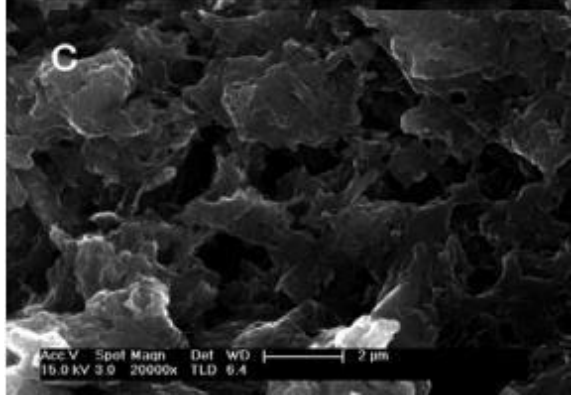
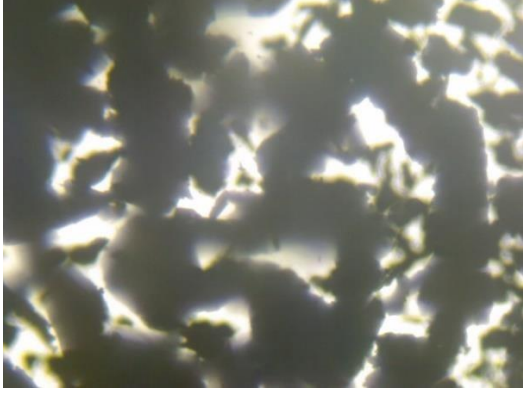
el fin de que al terminar su periodo de vida de dichas celdas, estas puedan ser sometidas a un proceso de recuperación.

Finalmente, desde una perspectiva general, esta investigación muestra una alternativa de beneficio ambiental, que promueve el uso de recursos renovables para generar energía eléctrica y la asequibilidad de las personas a la misma.

IV. RESULTADOS

A continuación, se muestra la morfología del óxido de grafeno reducido sintetizado en laboratorio, el cual se usó en la fabricación de las celdas solares DSSC.

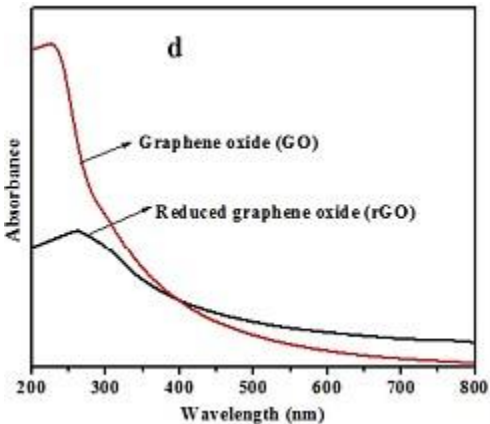
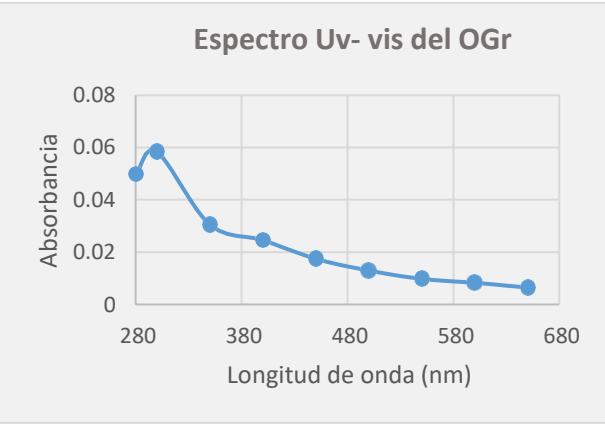
Tabla 10. Morfología del Óxido de grafeno reducido

Referencia teórica	Caracterización en laboratorio
<p>Imagen SEM de óxido de grafeno reducido sintetizado en NH₃/ Hidrato de hidracina (K-rGO -B) en solución acuosa.</p>	<p>Óxido de grafeno sintetizado por el método Hummers visto en un microscopio trinocular con 10X y una cámara de 5 megapíxeles.</p>
	
<p>Imagen SEM de óxido de grafeno reducido sintetizado en KOH/ Hidrato de hidracina (N-rGO -B)</p>	<p>Óxido de grafeno sintetizado por el método Hummers visto en un microscopio trinocular con 40X y una cámara de 5 megapíxeles.</p>
	
<p>Las estructuras muestran una morfología diferente, considerenado que para sintetizar el grafeno de la imagen (a) se usó una solución acuosa hidratada, observandose partículas aglomeradas con poros dilatados.</p>	<p>El óxido de grafeno reducido sintetizado en laboratorio por el método Hummers, observado en el microscopio con 10X aparentemente se ve agomerado, sin embargo al llevarlo a</p>

En el caso de de la imagen (c) por el contrario se observa estructuras en forma de escamas, que pueden generar un área de interfaz del contraelectrodo más pequeña (Xu, *et al.*, 2016).


40X muestra un parecido a la imagen (c) con estructuras de naturaleza escamosa y esponjosa.

Tabla 11. Caracterización del óxido de grafeno reducido por espectrofotometría UV-vis

Referencia teórica	Caracterización de óxido de grafeno con espectrofotómetro Uv - visible digital marca LOOBAa – Modelo L6S
 <p>El corrido para la caracterización se realizó en solución acuosa de 0.4g/L y el intervalo de longitud de onda de 200 a 800nm (rango de absorción del grafeno), observándose la absorción pico a 226nm (Tarko y Delele, 2017).</p>	 <p>El corrido se realizó con una muestra líquida de 0.25g/mL con un intervalo de barrido de 280 a 650nm, observándose la absorción pico a 300nm.</p>

A continuación, se muestran los voltajes generados por las celdas solares fabricadas y sensibilizadas con pigmentos extraídos del zumo de la *hoja de Brassica oleracea var. capitata f.rubra*, del zumo de la semilla de *Punica granatum* y la combinación de los mismos, antes de ser expuestos a la radiación solar (T_0). Cabe mencionar que dichas mediciones se realizaron en la ciudad de Lima en el distrito de Los Olivos, en época de invierno.

Tabla 12. Medición de parámetros eléctricos antes de ser expuestos a radiación solar

Medición de parámetros eléctricos en T_0				Medición
Código	Celda	Voltaje (mV)	Intensidad de corriente (mA)	
GO1(GO/T)2T1E2P2t2	1	646	0.013	
GO1(GO/T)1T1E1P2t1	2	680	0.002	
GO(GO/T)1T2E1P2t2	3	512	0.001	
GO2(GO/T)1T1E1P2t1	4	560	0.001	
OG2(OG/T)2T1E2P2t2	5	406	0.004	
GO1(GO/T)2T1E1P2t2	6	431	0.010	
GO2(GO/T)1T1E2P1t1	7	418	0.004	
GO1(GO/T)1T1E1P1t1	8	460	0.002	
GO1(GO/T)2T2E2P1t3	9	572	0.003	
GO1(GO/T)2T1E2P1t2	10	563	0.003	
GO1(GO/T)1T2E2P1t3	11	426	0.011	
GO1(GO/T)2T1E1P1t2	12	685	0.003	
GO2(GO/T)2T2E1P3t2	13	544	0.003	
GO1(GO/T)2T2E2P3t3	14	463	0.004	
GO1(GO/T)2T1E1P3t3	15	723	0.005	
GO1(GO/T)2T1E2P3t3	16	406	0.010	
GO1(GO/T)2T1E2P3t2	17	463	0.004	
GO1(GO/T)2T2E2P3t3	18	430	0.034	

A continuación, se muestran los voltajes obtenidos de las celdas solares fabricadas y sensibilizadas con pigmento extraído del zumo de la *hoja de Brassica oleracea var. capitata f.rubra*, en un periodo de 20 min en exposición a la radiación solar. Cabe mencionar que dichas mediciones se realizaron en la ciudad de Lima en el distrito de Los Olivos, en época de invierno. Siendo así, para medir la radiación solar se usó un piranómetro de la marca SENTRY. modelo ST530, para medir el voltaje un multímetro digital de la marca UNI-T y para la intensidad de corriente, un multímetro digital Prasek PR-75

Tabla 13. Medición del voltaje, amperaje y radiación solar de la celda 1

Código	Tiempo (min)	Voltaje (mV)	Intensidad de corriente (mA)	Radiación solar (W/m ²)	Celda
GO1(GO/T)2T1E2P2t3	To	646	0.013	-	
	1 min	678	0.013	60.38	
	2 min	628	0.011	54.83	
	3 min	659	0.012	58.41	
	4 min	643	0.013	57.02	
	5 min	723	0.014	63.07	
	6 min	678	0.012	60.26	
	7 min	675	0.013	59.63	
	8 min	710	0.014	61.51	
	9 min	716	0.013	62.09	
	10 min	779	0.013	64.23	
	11 min	795	0.014	65.58	
	12 min	778	0.013	63.6	
	13 min	707	0.013	60.71	
	14 min	641	0.011	56.6	
	15 min	620	0.012	51.91	
	16 min	636	0.013	55.9	
	17 min	651	0.01	57.25	
	18 min	655	0.013	57.46	
	19 min	657	0.013	58.06	
20 min	718	0.013	62.24		
Promedio		687.35	0.013	59.54	

En la Tabla 13 se observa la variación del voltaje e intensidad de corriente de la celda 1 durante 20 min en exposición a la radiación solar (desde las 10:22 a.m. hasta las 10:42 a.m.) en un día nublado con una temperatura de 18°C. Dicha celda estructuralmente está conformada por una capa de óxido de grafeno reducido (0.01g), una capa de la combinación de óxido de grafeno más TiO₂ (0.02g) y una capa TiO₂ (0.01g). Asimismo, la cantidad de electrolito (I₃/I⁻) aplicado fue 0.8 mL y se usó el pigmento extraído del zumo de la hoja de *Brassica oleracea var. capitata f.rubra* con un tiempo de secado de 30 min para su posterior sellamiento con un contraelectrodo que contenía óxido de grafeno reducido (0.01g) sobre el sustrato (mica). Inicialmente (T₀) antes de exponerlo a la radiación solar, el voltaje generado por la celda fue 646 mV; en el minuto 11 se generó el mayor voltaje (795mV) con una intensidad de corriente de 0.014 mA y una radiación solar de 65.58 W/m²; llegando a los 20 min con 718 mV con una intensidad de corriente de 0.013 y 62.24 W/m² de radiación solar. En promedio, el voltaje de la celda fue 687.35 mV, con una intensidad de corriente de 0.013mA y una radiación solar de 59.54 W/m².

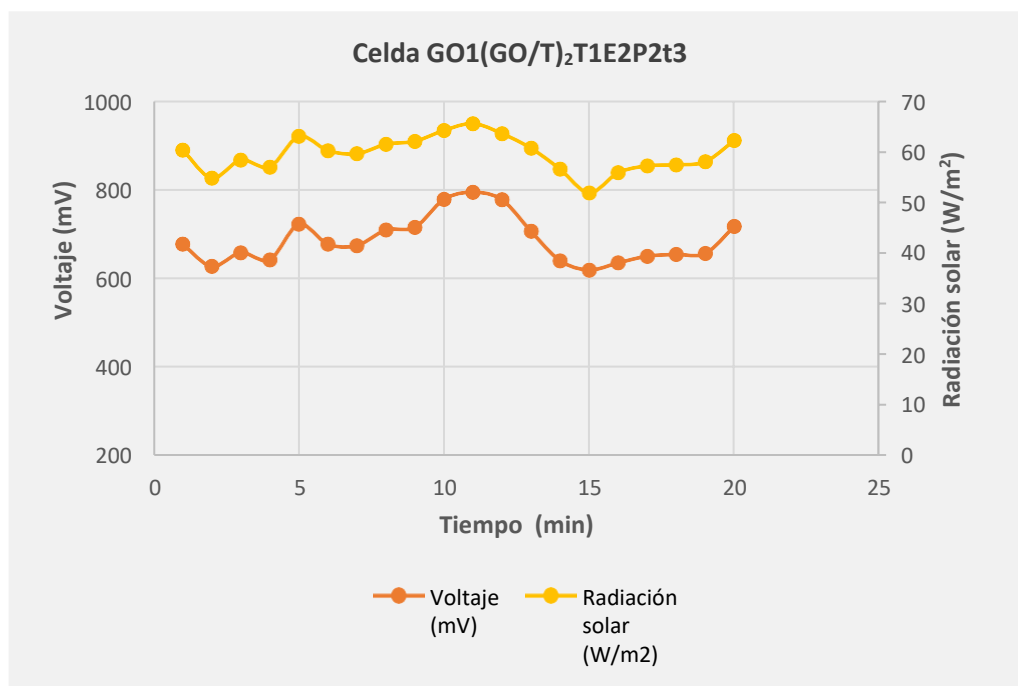



Figura 24. Variación del voltaje y radiación solar de la celda 1

En la Figura 24 se observa que a medida que aumenta el tiempo de exposición a la radiación solar, el voltaje es fluctuante, reincidentemente incrementándose al aumentar la radiación solar y en el caso de la intensidad de corriente (Ver Tabla 10), esta muestra pequeñas variaciones, siendo proporcional al voltaje y manteniéndose casi constante durante todo el tiempo de medición.

Tabla 14. Medición del voltaje, amperaje y radiación solar de la celda 2

Código	Tiempo (min)	Voltaje (mV)	Intensidad de corriente (mA)	Radiación solar (W/m ²)	Celda
GO1(GO/T)1T1E1P2t1	0	680	0.0020	-	
	1	672	0.0020	78.88	
	2	700	0.0020	83.96	
	3	673	0.0030	80.55	
	4	649	0.0030	75.92	
	5	539	0.0010	66.15	
	6	614	0.0010	72.76	
	7	520	0.0010	63.91	
	8	499	0.0010	61.24	
	9	479	0.0010	59.8	
	10	586	0.0010	70.44	
	11	610	0.0010	70.8	
	12	556	0.0010	67.74	
	13	603	0.0010	70.65	
	14	619	0.0010	72.97	
	15	581	0.0010	69.09	
	16	536	0.0010	66.01	
	17	521	0.0010	64.98	
	18	509	0.0010	63.07	
	19	491	0.0010	60.93	
20	477	0.0010	59.47		
Promedio		571.70	0.0013	68.97	

En la Tabla 14 se observa la variación del voltaje e intensidad de corriente de la celda 2 durante 20 min en exposición a la radiación solar (desde las 13:50 p.m. hasta las 14:10 p.m.) en un día nublado con una temperatura de 17°C. Dicha celda estructuralmente está conformada por una capa de óxido de grafeno reducido (0.01g), una capa de la combinación de óxido de grafeno más TiO₂ (0.01g) y una capa TiO₂

(0.01g). Asimismo, la cantidad de electrolito aplicado fue 0.5 mL y se usó el pigmento extraído del zumo de la hoja de *Brassica oleracea var. capitata f.rubra* con un tiempo de secado de 10 min para su posterior sellamiento con el contraelectrodo que contenía óxido de grafeno reducido (0.01g) sobre el sustrato (mica). Inicialmente (T_0) antes de exponerlo a la radiación solar, el voltaje generado por la celda fue 680 mV; el voltaje máximo generado fue 703 mV en el minuto 3 con una intensidad de corriente de 0.003 mA y una radiación solar de 80.55 W/m², llegando a los 20 minutos con 477mV para una radiación de 59.47 W/m². En promedio, el voltaje de la celda fue 571.7 mV, con una intensidad de corriente de 0.013 mA y una radiación de 68.97 W/m².

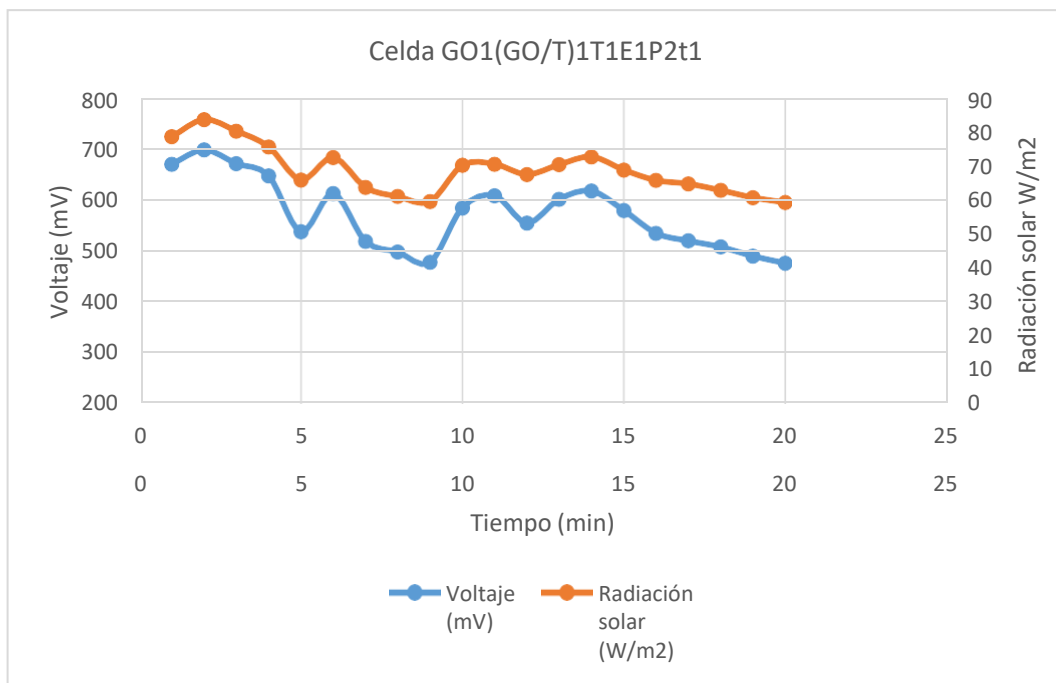



Figura 25. Variación del voltaje y la radiación solar de la celda 2

En la Figura 25 se observa que en la celda 2, a medida que aumenta el tiempo de exposición a la radiación solar, el voltaje es bastante fluctuante proporcional a la radiación, a excepción de algunas mediciones, y en el caso de la intensidad de corriente (Ver Tabla 11), esta muestra pequeñas variaciones, manteniéndose casi constante durante el tiempo de medición.

Tabla 15. Medición del voltaje, amperaje y radiación solar de la celda 3

Código	Tiempo (min)	Voltaje (mV)	Intensidad de corriente (mA)	Radiación solar (W/m ²)	Celda
GO(GO/T)1T2E1P2t2	0	512	0.0010	-	
	1	535	0.0020	55.10	
	2	551	0.0020	53.94	
	3	557	0.0020	51.93	
	4	555	0.0020	54.13	
	5	562	0.0020	54.00	
	6	544	0.0020	54.97	
	7	510	0.0020	55.43	
	8	536	0.0020	60.95	
	9	469	0.0020	58.46	
	10	489	0.0020	51.97	
	11	516	0.0020	50.67	
	12	512	0.0020	51.62	
	13	526	0.0020	61.07	
	14	534	0.0020	59.35	
	15	537	0.0020	60.46	
	16	545	0.0030	62.06	
	17	540	0.0020	61.79	
	18	512	0.0020	60.65	
	19	497	0.0020	63.08	
20	490	0.0020	48.55		
Promedio		525.85	0.0021	56.51	

En la Tabla 15 se observa la variación del voltaje e intensidad de corriente de la celda 3 durante 20 min en exposición a la radiación solar (desde las 11:08 a.m. hasta las 11:28 a.m.) en un día nublado con una temperatura de 19°C. Dicha celda estructuralmente está conformada por una capa de óxido de grafeno reducido (0.01g), una capa de la combinación de óxido de grafeno más TiO₂ (0.01g) y una capa TiO₂ (0.02g). Asimismo, la cantidad de electrolito aplicado fue 0.5 mL y se usó el pigmento extraído del zumo de la hoja de *Brassica oleracea var. capitata f. rubra* con un tiempo de secado de 20 min para su posterior sellamiento con el contraelectrodo que contenía óxido de grafeno reducido (0.01g) sobre el sustrato (mica). Inicialmente (T₀) antes de exponerlo a la radiación solar, el voltaje generado por la celda fue 512mV; alcanzando

el máximo voltaje en el minuto 3 llegando a 557 mV con un amperaje de 0.002 y una radiación de 51.93 W/m²; llegando al minuto 20 con un voltaje de 490 mV con una intensidad de corriente de 0.002 mA y una radiación solar de 48.55 W/m². En promedio, el voltaje de la celda fue 525.85 mV, con una intensidad de corriente de 0.021 mA y una radiación de 56.51 W/m².

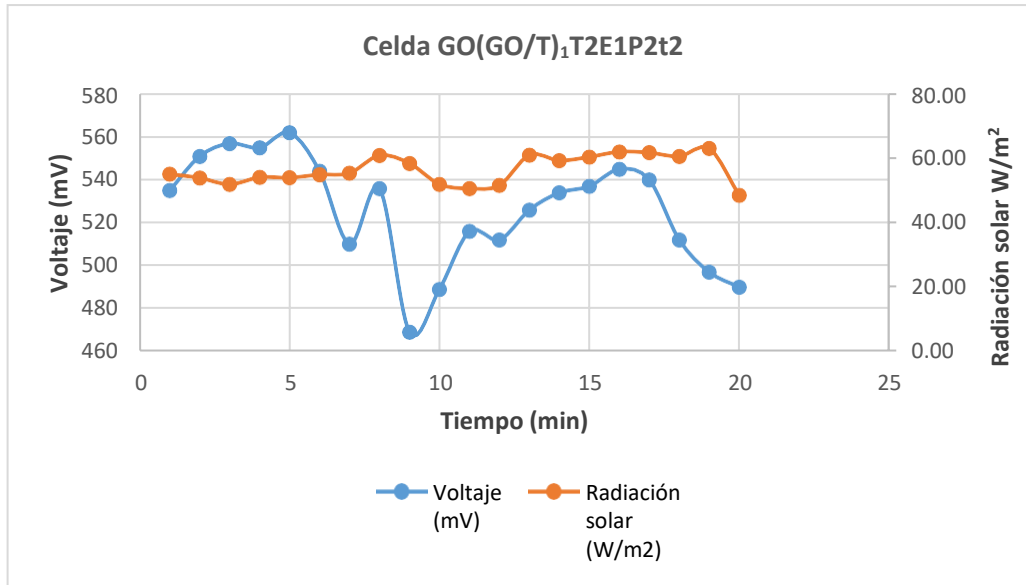


Figura 26. Variación del voltaje y la radiación solar de la celda 3

En la Figura 26 se observa que a medida que aumenta el tiempo de exposición a la radiación solar, el voltaje es bastante fluctuante y la intensidad de corriente (Ver Tabla 12), se mantiene casi constante durante el tiempo de medición.

Tabla 16. Medición del voltaje, amperaje y radiación solar de la celda 4

Código	Tiempo (min)	Voltaje (mV)	Intensidad de corriente (mA)	Radiación solar (W/m ²)	Celda
GO2(GO/T)1T1E1P2t1	0	560	0.0010	-	
	1	390	0.0010	30.84	
	2	397	0.0010	32.61	
	3	384	0.0010	30.67	
	4	429	0.0010	33.84	
	5	510	0.0010	34.8	
	6	406	0.0010	32.75	
	7	403	0.0010	32.62	
	8	540	0.0010	37.62	
	9	418	0.0010	33	
	10	426	0.0010	33.8	
	11	429	0.0010	33.84	
	12	430	0.0010	34.98	
	13	525	0.0010	34.9	
	14	468	0.0010	34.52	
	15	392	0.0010	32.23	
	16	367	0.0010	29.48	
	17	346	0.0010	28.93	
	18	372	0.0010	29.57	
	19	379	0.0010	30.18	
20	384	0.0010	30.7		
Promedio		419.75	0.0010	32.59	

En la Tabla 16 se observa la variación del voltaje e intensidad de corriente de la celda 4 durante 20 min en exposición a la radiación solar (desde las 14:03 p.m. hasta las 14:23 p.m.) en un día nublado con una temperatura de 16°C. Dicha celda estructuralmente está conformada por una capa de óxido de grafeno reducido (0.02g), una capa de la combinación de óxido de grafeno más TiO₂ (0.01g) y una capa TiO₂ (0.01g). Asimismo, la cantidad de electrolito aplicado fue 0.5 mL y se usó el pigmento extraído del zumo de la hoja de *Brassica oleracea var. capitata f. rubra* con un tiempo de secado de 10 min para su posterior sellamiento con el contraelectrodo que contenía óxido de grafeno reducido (0.01g) sobre el sustrato (mica). Inicialmente (T₀) antes de exponerlo a la radiación solar, el voltaje generado por la celda fue 560mV; alcanzando

el máximo voltaje en el minuto 8 llegando a 540 mV con un amperaje de 0.001mA y una radiación de 37.62 W/m²; llegando al minuto 20 con un voltaje de 384 mV con una intensidad de corriente de 0.001 mA y una radiación solar de 30.7 W/m². En promedio, el voltaje de la celda fue 419.75 mV, con una intensidad de corriente de 0.001 mA y una radiación solar de 32.59 W/m².

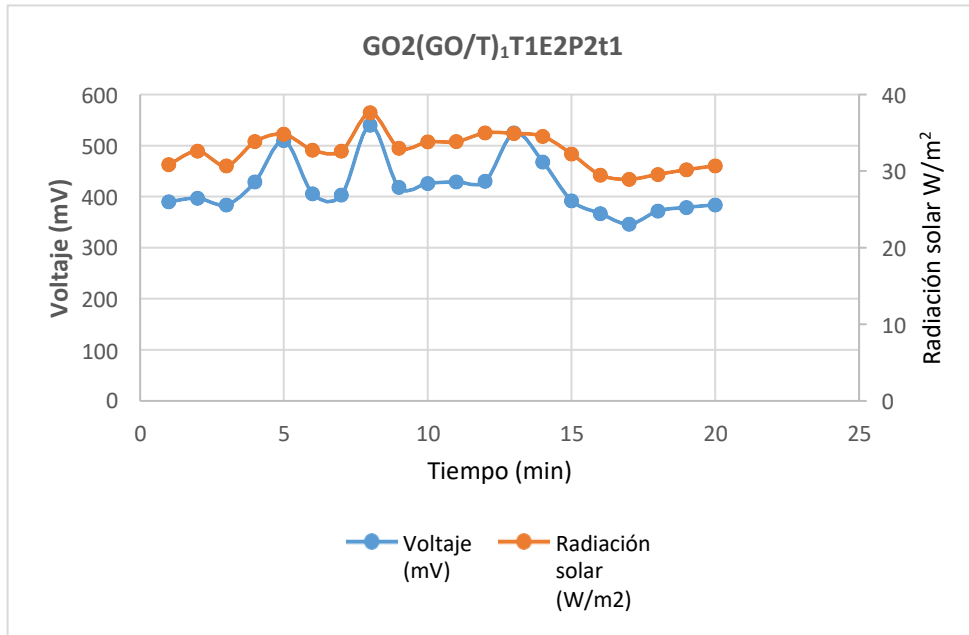
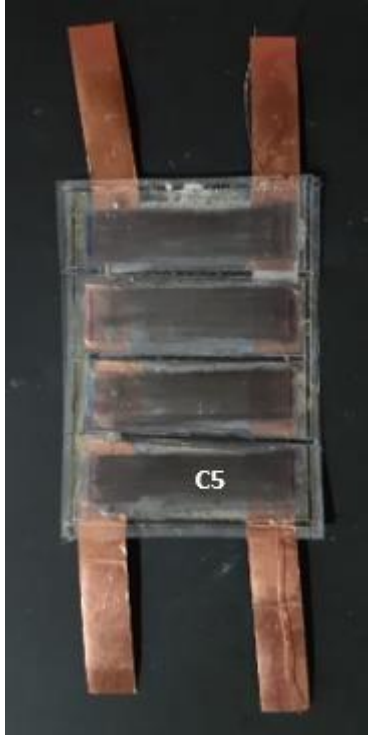


Figura 27. Variación del voltaje y la radiación solar de la celda 4

En la Figura 27 se observa que a medida que aumenta el tiempo de exposición a la radiación solar, el voltaje es bastante fluctuante, siendo proporcional a la radiación casi en todo el periodo de medición y en el caso de la intensidad de corriente (Ver Tabla 13), esta se mantiene constante durante el tiempo de medición.

Tabla 17. Medición del voltaje, amperaje y radiación solar de la celda 5

Código	Tiempo (min)	Voltaje (mV)	Intensidad de corriente (mA)	Radiación solar (W/m ²)	Celda
OG2(OG/T)2T1E2P2t2	0	406	0.0040	-	
	1	410	0.0040	129.30	
	2	470	0.0040	142.40	
	3	464	0.0040	140.70	
	4	530	0.0050	150.10	
	5	518	0.0040	148.00	
	6	509	0.0050	147.30	
	7	472	0.0040	143.50	
	8	443	0.0040	139.80	
	9	429	0.0040	139.10	
	10	480	0.0040	145.20	
	11	426	0.0040	131.90	
	12	458	0.0040	140.20	
	13	543	0.0050	153.10	
	14	568	0.0050	153.70	
	15	618	0.0040	159.20	
	16	623	0.0050	163.40	
	17	535	0.0050	151.10	
	18	634	0.0050	172.60	
	19	641	0.0050	173.40	
20	633	0.0050	172.40		
Promedio		520.20	0.0045	149.82	

En la Tabla 17 se observa la variación del voltaje e intensidad de corriente de la celda 5 durante 20 min en exposición a la radiación solar (desde las 11:22 a.m. hasta las 11:42 a.m.) en un día nublado con una temperatura de 19°C. Dicha celda estructuralmente está conformada por una capa de óxido de grafeno reducido (0.02g), una capa de la combinación de óxido de grafeno más TiO₂ (0.02g) y una capa TiO₂ (0.01g). Asimismo, la cantidad de electrolito aplicado fue 0.8 mL y se usó el pigmento extraído del zumo de la hoja de *Brassica oleracea var. capitata f. rubra* con un tiempo de secado de 20 min para su posterior sellamiento con el contraelectrodo que contenía

óxido de grafeno reducido (0.01g) sobre el sustrato (mica). Inicialmente (T_0) antes de exponerlo a la radiación solar, el voltaje generado por la celda fue 512mV; alcanzando el máximo voltaje en el minuto 19 llegando a 641 mV con un amperaje de 0.005 y una radiación de 173.40 W/m²; llegando al minuto 20 con un voltaje de 633 mV con una intensidad de corriente de 0.005 mA y una radiación solar de 172.40 W/m². En promedio, el voltaje de la celda fue 520.20 mV, con una intensidad de corriente de 0.045 mA y una radiación solar de 119.82 W/m².

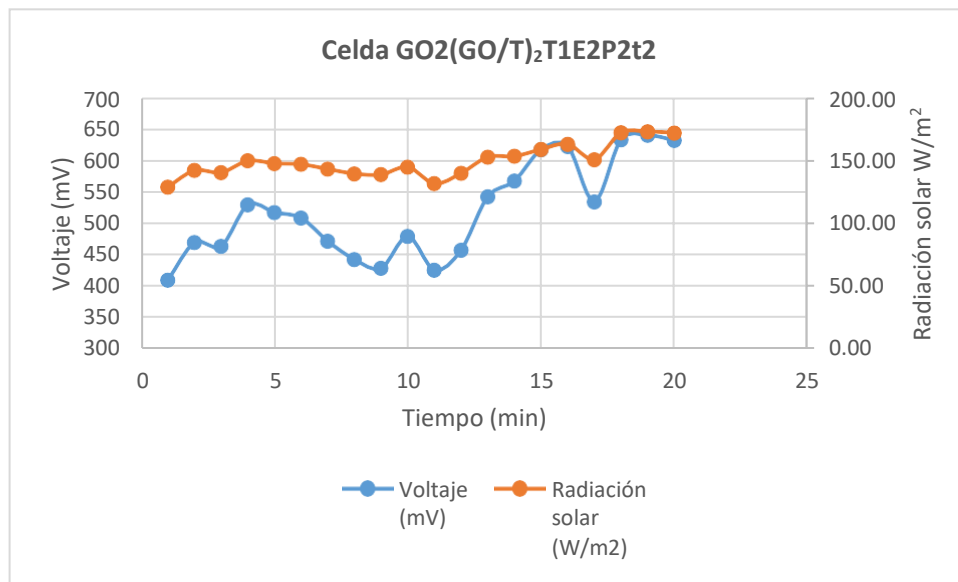
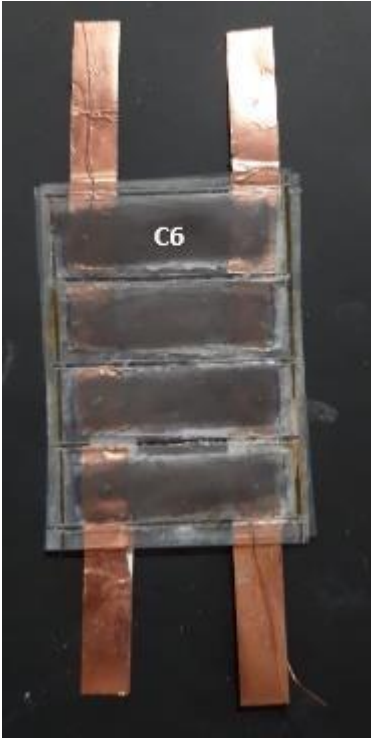


Figura 28. Variación del voltaje y la radiación solar de la celda 5

En la Figura 28 se observa que a medida que aumenta el tiempo de exposición a la radiación solar, el voltaje es bastante fluctuante, siendo proporcional a la radiación solar durante todo el periodo de medición y con tendencia a incrementarse; en el caso de la intensidad de corriente (Ver Tabla 14), esta muestra pequeñas variaciones proporcionales a la radiación solar, manteniéndose casi constante durante el tiempo de medición y siendo mayor a la intensidad de corriente de las celdas mostradas anteriormente.

Tabla 18. Medición del voltaje, amperaje y radiación solar de la celda 6

Código	Tiempo (min)	Voltaje (mV)	Intensidad de corriente (mA)	Radiación solar (W/m ²)	Celda
GO1(GO/T)2T1E1P2t2	0	431	0.0100	-	
	1	532	0.0090	638.9	
	2	480	0.0090	632.1	
	3	491	0.0110	635	
	4	405	0.0110	618.6	
	5	480	0.0100	633.1	
	6	426	0.0070	623.8	
	7	446	0.0090	630.6	
	8	439	0.0090	629.3	
	9	439	0.0070	630.3	
	10	590	0.0150	643.5	
	11	532	0.0120	636.9	
	12	522	0.0100	636.4	
	13	493	0.0090	635.8	
	14	547	0.0100	640.8	
	15	488	0.0110	633.9	
	16	470	0.0110	631.8	
	17	464	0.0120	631.4	
	18	439	0.0100	629.9	
	19	438	0.0080	627.8	
20	504	0.0080	636.6		
Promedio		481.25	0.0099	632.83	

En la Tabla 18 se observa la variación del voltaje e intensidad de corriente de la celda 6 durante 20 min en exposición a la radiación solar (desde las 14:20 p.m. hasta las 11:40 p.m.) en un día despejado con una temperatura de 21°C. Dicha celda estructuralmente está conformada por una capa de óxido de grafeno reducido (0.01g), una capa de la combinación de óxido de grafeno más TiO₂ (0.02g) y una capa TiO₂ (0.01g). Asimismo, la cantidad de electrolito aplicado fue 0.5 mL y se usó el pigmento extraído del zumo de la hoja de *Brassica oleracea var. capitata f. rubra* con un tiempo de secado de 20 min para su posterior sellamiento con el contraelectrodo que contenía óxido de grafeno reducido (0.01g) sobre el sustrato (mica). Inicialmente (T₀) antes de exponerlo a la radiación solar, el voltaje generado por la celda fue 431 mV; alcanzando

el máximo voltaje en el minuto 10 llegando a 590 mV con un amperaje de 0.0150 y una radiación de 643.5 W/m²; llegando al minuto 20 con un voltaje de 504 mV con una intensidad de corriente de 0.0080 mA y una radiación solar de 636.6 W/m². En promedio, el voltaje de la celda fue 481.25 mV, con una intensidad de corriente 0.0099 mA y una radiación solar de 632.83 W/m².

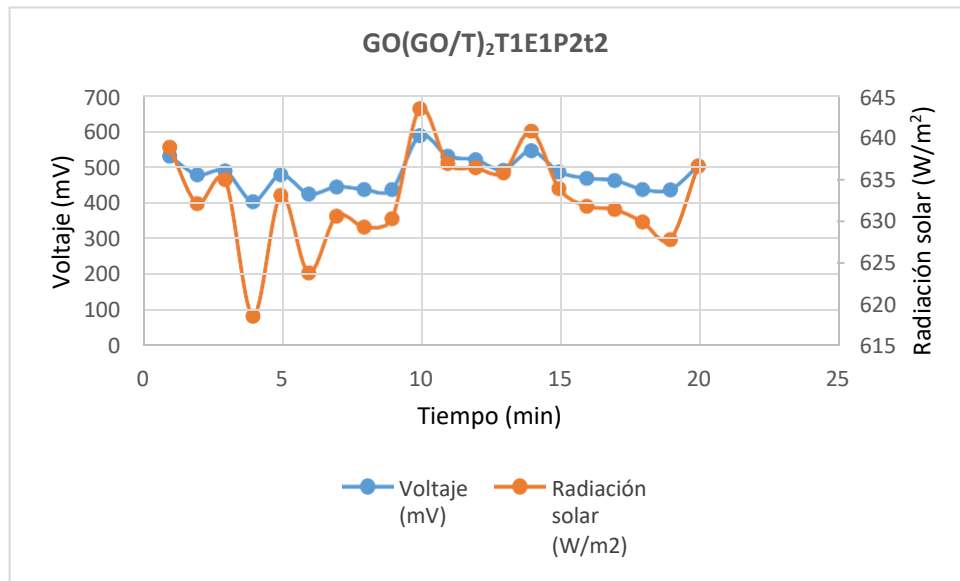


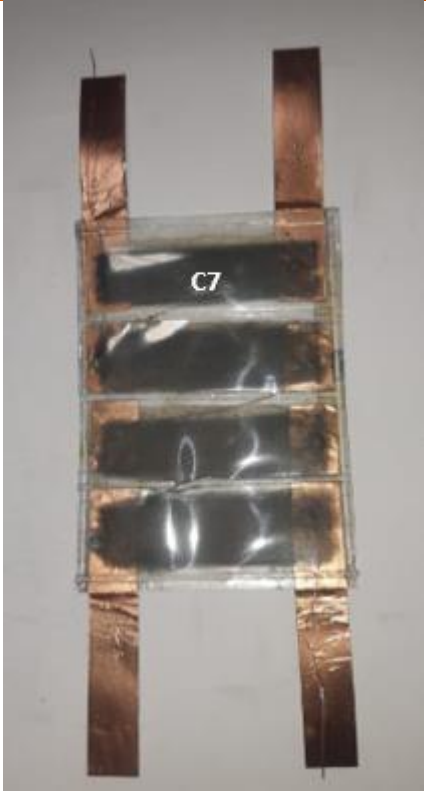
Figura 29. Variación del voltaje y la radiación solar de la celda 6

En la Figura 29 se observa que a medida que aumenta el tiempo de exposición a la radiación solar, el voltaje es medianamente fluctuante, siendo proporcional a la radiación solar durante todo el periodo de medición; en el caso de la intensidad de corriente (Ver Tabla 15), esta varía proporcionalmente a la radiación solar y es mayor a la intensidad de corriente de las celdas mostradas anteriormente.

A continuación, se muestran los voltajes obtenidos de las celdas solares fabricadas y sensibilizadas con pigmento extraído del zumo de la semilla de *Punica granatum*, en un periodo de 20 min en exposición a la radiación solar. Cabe mencionar que dichas

mediciones también se realizaron en la ciudad de Lima en el distrito de Los Olivos, en época de invierno.

Tabla 19. Medición del voltaje, amperaje y radiación solar de la celda 7

Código	Tiempo (min)	Voltaje (mV)	Intensidad de corriente (mA)	Radiación solar (W/m ²)	Celda
GO2(GO/T)1T1E2P1t1	0	418	0.0040	-	
	1	530	0.0030	60.38	
	2	526	0.0030	54.83	
	3	526	0.0030	58.41	
	4	493	0.0030	57.02	
	5	508	0.0030	63.07	
	6	485	0.0030	60.26	
	7	447	0.0030	59.63	
	8	468	0.0030	61.51	
	9	479	0.0030	62.09	
	10	481	0.0030	64.23	
	11	473	0.0030	65.58	
	12	460	0.0030	63.6	
	13	442	0.0020	60.71	
	14	450	0.0030	56.6	
	15	433	0.0030	51.91	
	16	436	0.0020	55.9	
	17	433	0.0020	57.25	
	18	426	0.0030	57.46	
	19	429	0.0020	58.06	
20	435	0.0070	62.24		
Promedio		468.00	0.0030	59.54	

En la Tabla 19 se observa la variación del voltaje e intensidad de corriente de la celda 7 durante 20 min en exposición a la radiación solar (desde las 10:22 a.m. hasta las 10:42 a.m.) en un día nublado con una temperatura de 18°C. Dicha celda estructuralmente está conformada por una capa de óxido de grafeno reducido (0.02g), una capa de la combinación de óxido de grafeno más TiO₂ (0.01g) y una capa TiO₂ (0.01g). Asimismo, la cantidad de electrolito aplicado fue 0.8 mL y se usó el pigmento extraído del zumo de la semilla de *Punica granatum* con un tiempo de secado de 10 min para su posterior sellamiento con el contraelectrodo que contenía óxido de grafeno

reducido (0.01g) sobre el sustrato (mica). Inicialmente (T_0) antes de exponerlo a la radiación solar, el voltaje generado por la celda fue 418 mV; alcanzando el máximo voltaje (530) en el minuto 1, marcando un amperaje de 0.0030 mA con una radiación de 60.38 W/m²; llegando al minuto 20 con un voltaje de 435 mV con una intensidad de corriente de 0.007 mA y una radiación solar de 62,24 W/m². En promedio, el voltaje de la celda fue 468 mV, con una intensidad de corriente de 0.0030 mA y una radiación solar de 59.54 W/m².

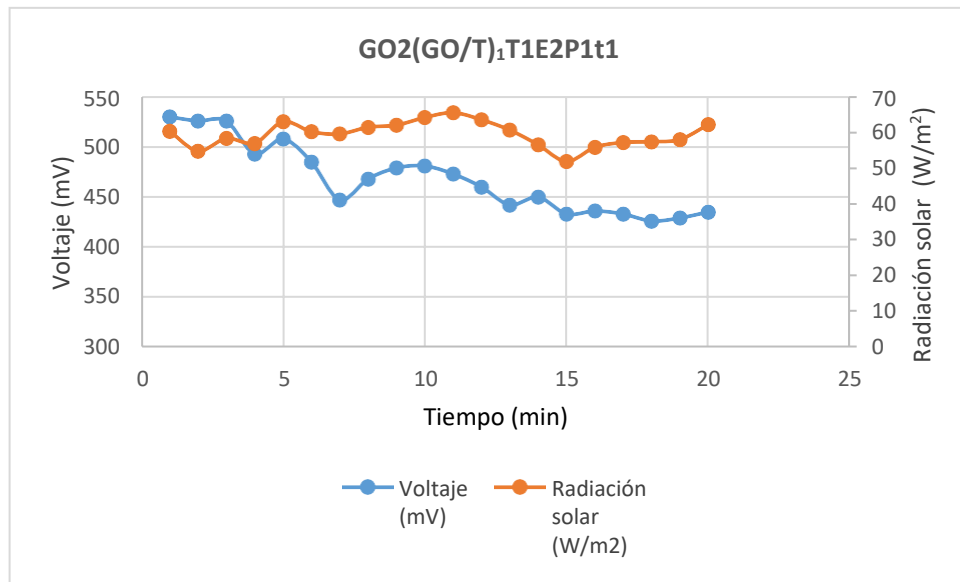
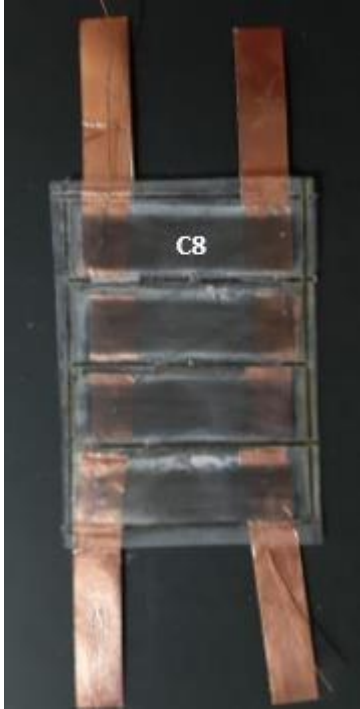


Figura 30. Variación del voltaje y la radiación solar de la celda 7

En la Figura 30 se observa que a medida que aumenta el tiempo de exposición a la radiación solar, el voltaje es bastante fluctuante, siendo proporcional a la radiación solar casi en todo el periodo de medición. En el caso de la intensidad de corriente (Ver Tabla 16), esta muestra pequeñas variaciones proporcionales a la radiación solar.

Tabla 20. Medición del voltaje, amperaje y radiación solar de la celda 8

Código	Tiempo (min)	Voltaje (mV)	Intensidad de corriente (mA)	Radiación solar (W/m ²)	Celda
GO1(GO/T)1T1E1P1t1	0	460	0.0020	-	
	1	476	0.0020	78.88	
	2	452	0.0010	83.96	
	3	408	0.0010	80.55	
	4	407	0.0010	75.92	
	5	404	0.0020	66.15	
	6	428	0.0010	72.76	
	7	419	0.0020	63.91	
	8	508	0.0010	61.24	
	9	503	0.0010	59.8	
	10	516	0.0010	70.44	
	11	454	0.0020	70.8	
	12	468	0.0020	67.74	
	13	448	0.0010	70.65	
	14	462	0.0010	72.97	
	15	554	0.0020	69.09	
	16	423	0.0010	66.01	
	17	436	0.0010	64.98	
	18	418	0.0010	63.07	
	19	420	0.0020	60.93	
20	426	0.0020	59.47		
Promedio		451.50	0.0014	68.97	

En la Tabla 20 se observa la variación del voltaje e intensidad de corriente de la celda 8 durante 20 min en exposición a la radiación solar (desde las 13:50 p.m. hasta las 14:10 p.m.) en un día nublado con una temperatura de 17°C. Dicha celda estructuralmente está conformada por una capa de óxido de grafeno reducido (0.01g), una capa de la combinación de óxido de grafeno más TiO₂ (0.01g) y una capa TiO₂ (0.01g). Asimismo, la cantidad de electrolito aplicado fue 0.5 mL y se usó el pigmento extraído del zumo de la semilla de *Punica granatum* con un tiempo de secado de 10 min para su posterior sellamiento con el contraelectrodo que contenía óxido de grafeno reducido (0.01g) sobre el sustrato (mica). Inicialmente (T₀) antes de exponerlo a la radiación solar, el voltaje generado por la celda fue 460 mV; alcanzando el máximo

voltaje (554 mV) en el minuto 15, marcando un amperaje de 0.0020 mA con una radiación de 69.09 W/m²; llegando al minuto 20 con un voltaje de 426 mV con una intensidad de corriente de 0.0020 mA y una radiación solar de 59.47 W/m². En promedio, el voltaje de la celda fue 451.50 mV, con una intensidad de corriente de 0.0014 mA y una radiación solar de 68.97 W/m².

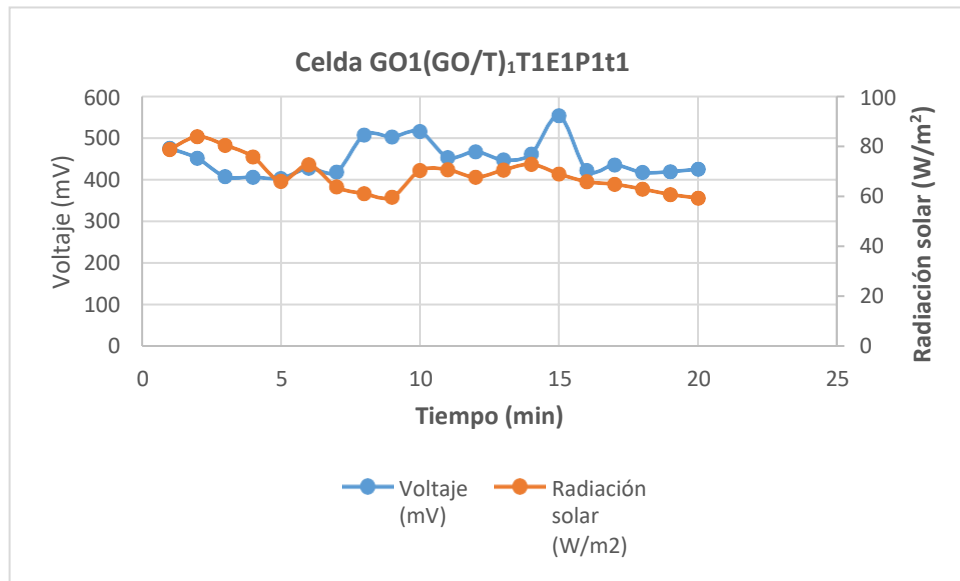
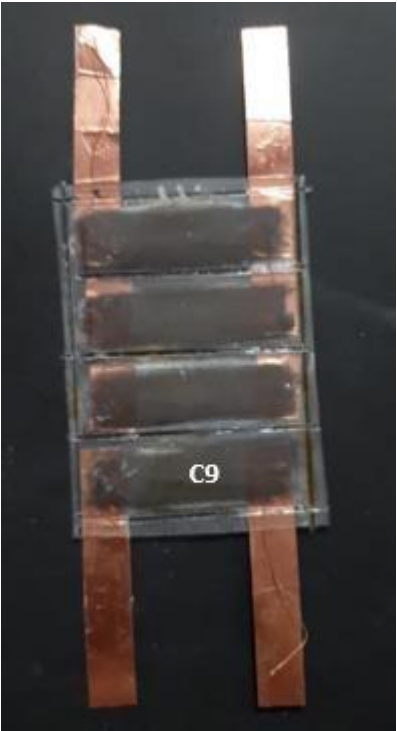


Figura 31. Variación del voltaje y la radiación solar de la celda 8

En la Figura 31 se observa que a medida que aumenta el tiempo de exposición a la radiación solar, el voltaje es bastante fluctuante, siendo proporcional a la radiación solar en algunos periodos. En el caso de la intensidad de corriente (Ver Tabla 17), esta muestra pequeñas variaciones proporcionales a la radiación solar manteniéndose casi constante durante el tiempo de medición.

Tabla 21. Medición del voltaje, amperaje y radiación solar de la celda 9

Código	Tiempo (min)	Voltaje (mV)	Intensidad de corriente (mA)	Radiación solar (W/m ²)	Celda
GO1(GO/T)2T2E2P1t3	0	572	0.0030	-	
	1	545	0.0040	30.84	
	2	549	0.0040	32.61	
	3	545	0.0040	30.67	
	4	563	0.0040	33.84	
	5	566	0.0040	34.80	
	6	556	0.0040	32.75	
	7	590	0.0040	32.62	
	8	640	0.0050	37.62	
	9	557	0.0040	33.00	
	10	561	0.0040	33.80	
	11	563	0.0040	33.84	
	12	565	0.0040	34.98	
	13	568	0.0050	34.90	
	14	565	0.0040	34.52	
	15	548	0.0040	32.23	
	16	536	0.0040	29.48	
	17	500	0.0040	28.93	
	18	542	0.0040	29.57	
	19	540	0.0040	30.18	
20	545	0.0040	30.70		
Promedio		557.20	0.0041	32.59	

En la Tabla 21 se observa la variación del voltaje e intensidad de corriente de la celda 9 durante 20 min en exposición a la radiación solar (desde las 14:15 p.m. hasta las 14:35 p.m.) en un día bastante nublado con una temperatura de 16°C. Dicha celda estructuralmente está conformada por una capa de óxido de grafeno reducido (0.01g), una capa de la combinación de óxido de grafeno más TiO₂ (0.02g) y una capa TiO₂ (0.02g). Asimismo, la cantidad de electrolito aplicado fue 0.8 mL y se usó el pigmento extraído del zumo de la semilla de *Punica granatum* con un tiempo de secado de 30 min para su posterior sellamiento con el contraelectrodo que contenía óxido de grafeno reducido (0.01g) sobre el sustrato (mica). Inicialmente (T₀) antes de exponerlo a la radiación solar, el voltaje generado por la celda fue 572 mV; alcanzando el máximo

voltaje (640mV) en el minuto 8, marcando un amperaje de 0.0050 mA con una radiación de 37.62 W/m²; llegando al minuto 20 con un voltaje de 545mV con una intensidad de corriente de 0.004 mA y una radiación solar de 30.70 W/m². En promedio, el voltaje de la celda fue 557.20 mV, con una intensidad de corriente de 0.0041 mA y una radiación solar de 32.59 W/m².

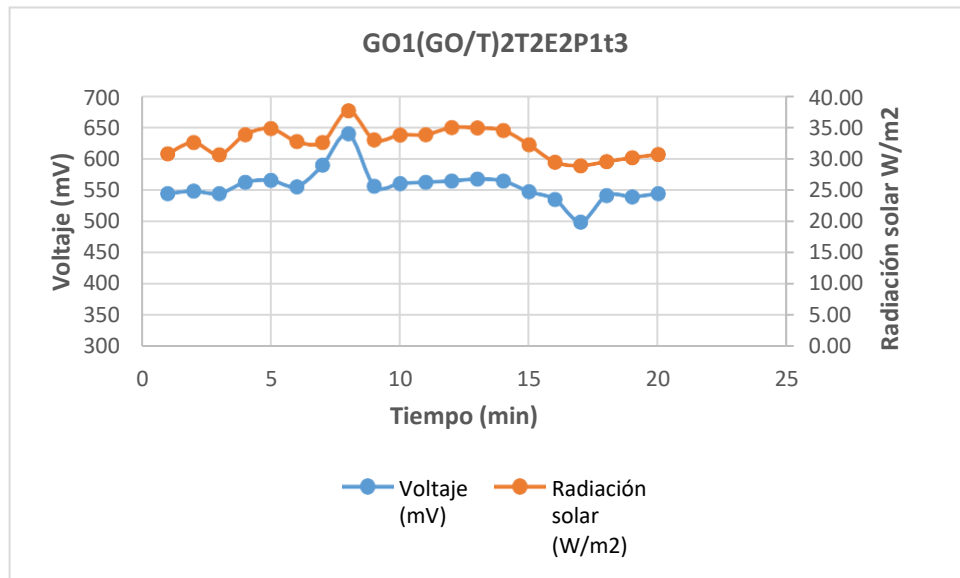
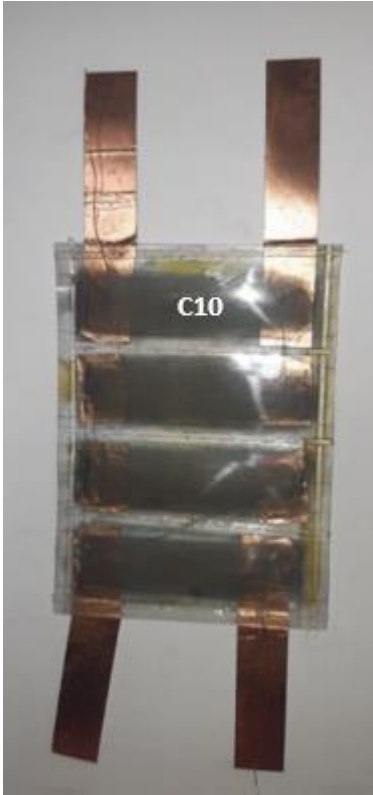


Figura 32. Variación del voltaje y la radiación solar de la celda 9

En la Figura 32 se observa que a medida que aumenta el tiempo de exposición a la radiación solar, el voltaje es bastante fluctuante, siendo proporcional a la radiación solar en la mayor parte del periodo de medición. En el caso de la intensidad de corriente (Ver Tabla 18), esta muestra pequeñas variaciones proporcionales a la radiación solar manteniéndose mayoritariamente constante durante el tiempo de medición.

Tabla 22. Medición del voltaje, amperaje y radiación solar de la celda 10

Código	Tiempo (min)	Voltaje (mV)	Intensidad de corriente (mA)	Radiación solar (W/m ²)	Celda
GO1(GO/T)2T1E2P1t 2	0	563	0.0030	-	
	1	541	0.0040	44.39	
	2	537	0.0040	45.09	
	3	591	0.0040	45.12	
	4	523	0.0040	42.53	
	5	531	0.0030	43.99	
	6	521	0.0030	45.03	
	7	518	0.0040	42.63	
	8	538	0.0040	49.83	
	9	533	0.0040	48.39	
	10	523	0.0030	50.15	
	11	526	0.0030	49.24	
	12	548	0.0040	50.01	
	13	545	0.0040	52.18	
	14	538	0.0040	49.32	
	15	566	0.0040	53.94	
	16	545	0.0040	54.26	
	17	539	0.0040	52.96	
	18	581	0.0040	54.98	
	19	574	0.0040	54.84	
20	569	0.0040	54.35		
Promedio		544.35	0.0038	49.16	

En la Tabla 22 se observa la variación del voltaje e intensidad de corriente de la celda 10 durante 20 min en exposición a la radiación solar (desde las 13:58 p.m. hasta las 14:18 p.m.) en un día bastante nublado con una temperatura de 18°C. Dicha celda estructuralmente está conformada por una capa de óxido de grafeno reducido (0.01g), una capa de la combinación de óxido de grafeno más TiO₂ (0.02g) y una capa TiO₂ (0.01g). Asimismo, la cantidad de electrolito aplicado fue 0.8 mL y se usó el pigmento extraído del zumo de la semilla de *Punica granatum* con un tiempo de secado de 20 min para su posterior sellamiento con el contraelectrodo que contenía óxido de grafeno

reducido (0.01g) sobre el sustrato (mica). Inicialmente (T_0) antes de exponerlo a la radiación solar, el voltaje generado por la celda fue 563 mV; alcanzando el máximo voltaje (640mV) en el minuto 18, marcando un amperaje de 0.0040 mA con una radiación solar de 54.35 W/m²; llegando al minuto 20 con un voltaje de 569mV con una intensidad de corriente de 0.0040 mA y una radiación de 54.35 W/m². En promedio, el voltaje de la celda fue 544.35 mV, con una intensidad de corriente de 0.0038 mA y una radiación solar de 49.16 W/m².

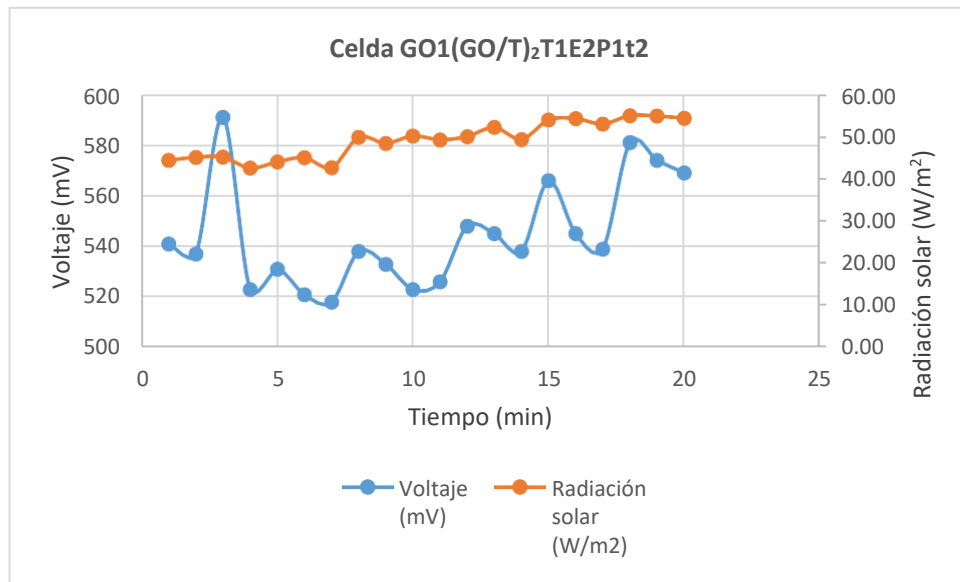
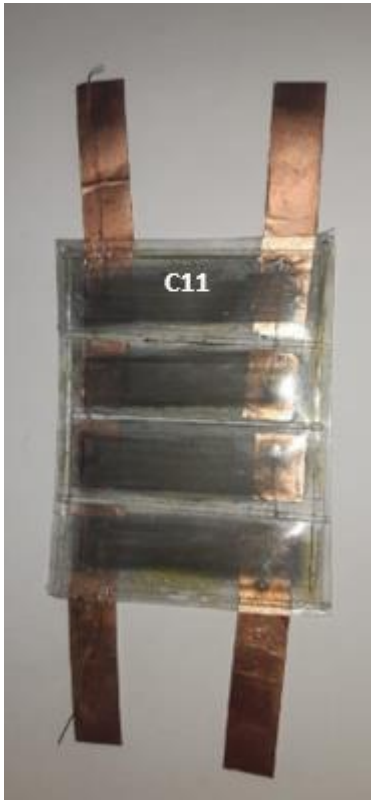


Figura 33. Variación del voltaje y la radiación solar de la celda 10

En la Figura 33 se observa que a medida que aumenta el tiempo de exposición a la radiación solar, el voltaje es bastante fluctuante con tendencia a incrementarse, siendo proporcional a la radiación solar en la mayor parte del periodo de medición. En el caso de la intensidad de corriente (Ver Tabla 19), esta muestra pequeñas variaciones proporcionales a la radiación solar, manteniéndose casi constante durante el tiempo de medición.

Tabla 23. Medición del voltaje, amperaje y radiación solar de la celda 11

Código	Tiempo (min)	Voltaje (mV)	Intensidad de corriente (mA)	Radiación solar (W/m ²)	Celda
GO1(GO/T)1T2E2P1t3	0	426	0.0110	-	
	1	581	0.0180	638.9	
	2	479	0.0120	632.1	
	3	486	0.0120	635	
	4	442	0.0110	618.6	
	5	458	0.0120	633.1	
	6	423	0.0110	623.8	
	7	437	0.0130	630.6	
	8	433	0.0120	629.3	
	9	455	0.0120	630.3	
	10	588	0.0170	643.5	
	11	567	0.0190	636.9	
	12	574	0.0150	636.4	
	13	538	0.0120	635.8	
	14	598	0.0140	640.8	
	15	498	0.0120	633.9	
	16	441	0.0120	631.8	
	17	440	0.0130	631.4	
	18	433	0.0110	629.9	
	19	431	0.0110	627.8	
20	472	0.0120	636.6		
Promedio		488.70	0.0131	632.83	

En la Tabla 23 se observa la variación del voltaje e intensidad de corriente de la celda 11 durante 20 min en exposición a la radiación solar (desde las 14:20 p.m. hasta las 14:40 p.m.) en un día despejado con una temperatura de 21°C. Dicha celda estructuralmente está conformada por una capa de óxido de grafeno reducido (0.01g), una capa de la combinación de óxido de grafeno más TiO₂ (0.01g) y una capa TiO₂ (0.02g). Asimismo, la cantidad de electrolito aplicado fue 0.8 mL y se usó el pigmento extraído del zumo de la semilla de *Punica granatum* con un tiempo de secado de 30 min para su posterior sellamiento con el contraelectrodo que contenía óxido de grafeno reducido (0.01g) sobre el sustrato (mica). Inicialmente (T₀) antes de exponerlo a la

radiación solar, el voltaje generado por la celda fue 426 mV; alcanzando el máximo voltaje (598mV) en el minuto 14, marcando un amperaje de 0.0140 mA con una radiación de 640.8 W/m²; llegando al minuto 20 con un voltaje de 472 mV con una intensidad de corriente de 0.0120 mA y una radiación solar de 636.83 W/m². En promedio, el voltaje de la celda fue 488.70 mV, con una intensidad de corriente de 0.0131 mA y una radiación solar de 632.83 W/m².

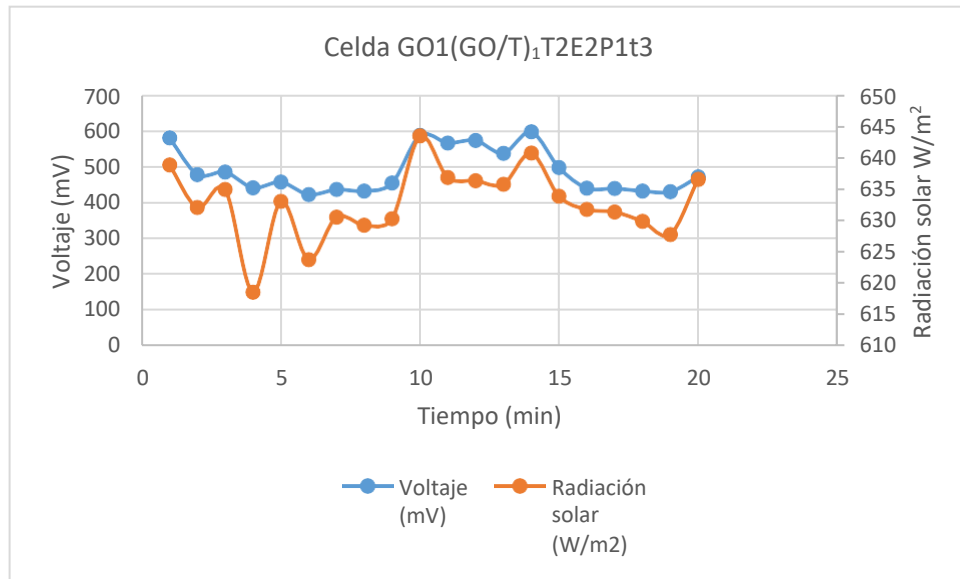



Figura 34. Variación del voltaje y la radiación solar de la celda 11

En la Figura 34 se observa que a medida que aumenta el tiempo de exposición a la radiación solar, el voltaje es bastante fluctuante con tendencia a mantenerse constante, siendo proporcional a la radiación solar en la mayor parte del periodo de medición. En el caso de la intensidad de corriente (Ver Tabla 20), esta muestra variaciones proporcionales a la radiación solar y al voltaje, durante el tiempo de medición.

Tabla 24. Medición del voltaje, amperaje y radiación solar de la celda 12

Código	Tiempo (min)	Voltaje (mV)	Intensidad de corriente (mA)	Radiación solar (W/m ²)	Celda
GO1(GO/T)2T1E1P1t2	0	685	0.0030	-	
	1	679	0.0040	78.88	
	2	687	0.0040	83.96	
	3	679	0.0040	80.55	
	4	669	0.0030	75.92	
	5	611	0.0030	66.15	
	6	646	0.0030	72.76	
	7	595	0.0040	63.91	
	8	578	0.0040	61.24	
	9	562	0.0030	59.8	
	10	643	0.0030	70.44	
	11	646	0.0030	70.8	
	12	624	0.0030	67.74	
	13	643	0.0030	70.65	
	14	648	0.0030	72.97	
	15	637	0.0030	69.09	
	16	610	0.0030	66.01	
	17	606	0.0030	64.98	
	18	589	0.0030	63.07	
	19	572	0.0030	60.93	
20	554	0.0030	59.47		
Promedio		623.90	0.0033	68.97	

En la Tabla 24 se observa la variación del voltaje e intensidad de corriente de la celda 12 durante 20 min en exposición a la radiación solar (desde las 13:50 p.m. hasta las 14:10 p.m.) en un día nublado con una temperatura de 17°C. Dicha celda estructuralmente está conformada por una capa de óxido de grafeno reducido (0.01g), una capa de la combinación de óxido de grafeno más TiO₂ (0.02g) y una capa TiO₂ (0.01g). Asimismo, la cantidad de electrolito aplicado fue 0.5 mL y se usó el pigmento extraído del zumo de la semilla de *Punica granatum* con un tiempo de secado de 20 min para su posterior sellamiento con el contraelectrodo que contenía óxido de grafeno

reducido (0.01g) sobre el sustrato (mica). Inicialmente (T_0) antes de exponerlo a la radiación solar, el voltaje generado por la celda fue 685 mV; alcanzando el máximo voltaje (687mV) en el minuto 2, marcando un amperaje de 0.0040 mA con una radiación de 83.96 W/m²; llegando al minuto 20 con un voltaje de 554 mV con una intensidad de corriente de 0.0030 mA y una radiación solar de 59.47 W/m². En promedio, el voltaje de la celda fue 623.90 mV, con una intensidad de corriente de 0.0033 mA y una radiación solar de 68.97 W/m².

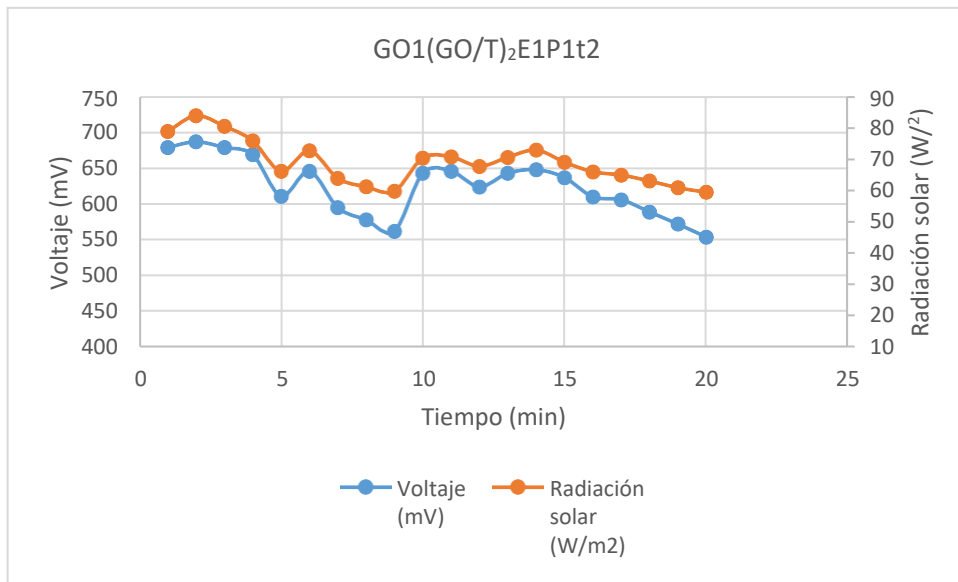



Figura 35. Variación del voltaje y la radiación solar de la celda 12

En la Figura 35 se observa que a medida que aumenta el tiempo de exposición a la radiación solar, el voltaje es bastante fluctuante con tendencia a decrecer, siendo proporcional a la radiación solar en la mayor parte del periodo de medición. En el caso de la intensidad de corriente (Ver Tabla 21), esta muestra pequeñas variaciones proporcionales a la radiación solar y al voltaje, durante el tiempo de medición.

A continuación, se muestran los voltajes obtenidos de las celdas solares fabricadas y sensibilizadas con la combinación de los pigmentos extraídos del zumo de la semilla de *Punica granatum* y la hoja de *Brassica oleracea var. capitata f. rubra*, en un periodo de 20 min en exposición a la radiación solar. Cabe mencionar que dichas mediciones también se realizaron en la ciudad de Lima en el distrito de Los Olivos, en época de invierno.

Tabla 25. Medición del voltaje, amperaje y radiación solar de la celda 13

Código	Tiempo (min)	Voltaje (mV)	Intensidad de corriente (mA)	Radiación solar (W/m ²)	Celda
GO2(GO/T)2T2E1P3t2	0	544	0.0030	-	
	1	529	0.0030	44.39	
	2	534	0.0030	45.09	
	3	516	0.0030	45.12	
	4	533	0.0030	42.53	
	5	563	0.0030	43.99	
	6	615	0.0030	45.03	
	7	645	0.0030	42.63	
	8	656	0.0030	49.83	
	9	536	0.0030	48.39	
	10	532	0.0030	50.15	
	11	576	0.0030	49.24	
	12	574	0.0030	50.01	
	13	563	0.0030	52.18	
	14	531	0.0030	49.32	
	15	524	0.0040	53.94	
	16	543	0.0040	54.26	
	17	520	0.0030	52.96	
	18	528	0.0040	54.98	
	19	533	0.0040	54.84	
20	526	0.0030	54.35		
Promedio		553.85	0.0032	49.16	

En la Tabla 25 se observa la variación del voltaje e intensidad de corriente de la celda 13 durante 20 min en exposición a la radiación solar (desde las 14:58 p.m. hasta las

14:18 p.m.) en un día nublado con una temperatura de 18°C. Dicha celda estructuralmente está conformada por una capa de óxido de grafeno reducido (0.02g), una capa de la combinación de óxido de grafeno más TiO₂ (0.02g) y una capa TiO₂ (0.01g). Asimismo, la cantidad de electrolito aplicado fue 0.8mL y se usó los pigmentos extraídos del zumo de la semilla de *Punica granatum* y la hoja de *Brassica oleracea var. capitata f.rubra* con un tiempo de secado de 20 min para su posterior sellamiento con el contraelectrodo que contenía óxido de grafeno reducido (0.01g) sobre el sustrato (mica). Inicialmente (T₀) antes de exponerlo a la radiación solar, el voltaje generado por la celda fue 544 mV; alcanzando el máximo voltaje (656mV) en el minuto 8, marcando un amperaje de 0.0030 mA con una radiación de 49.83 W/m²; llegando al minuto 20 con un voltaje de 526 mV con una intensidad de corriente de 0.0030 mA y una radiación solar de 54.35 W/m². En promedio, el voltaje de la celda fue 553.85 mV, con una intensidad de corriente de 0.0032 mA y una radiación solar de 49.16 W/m².

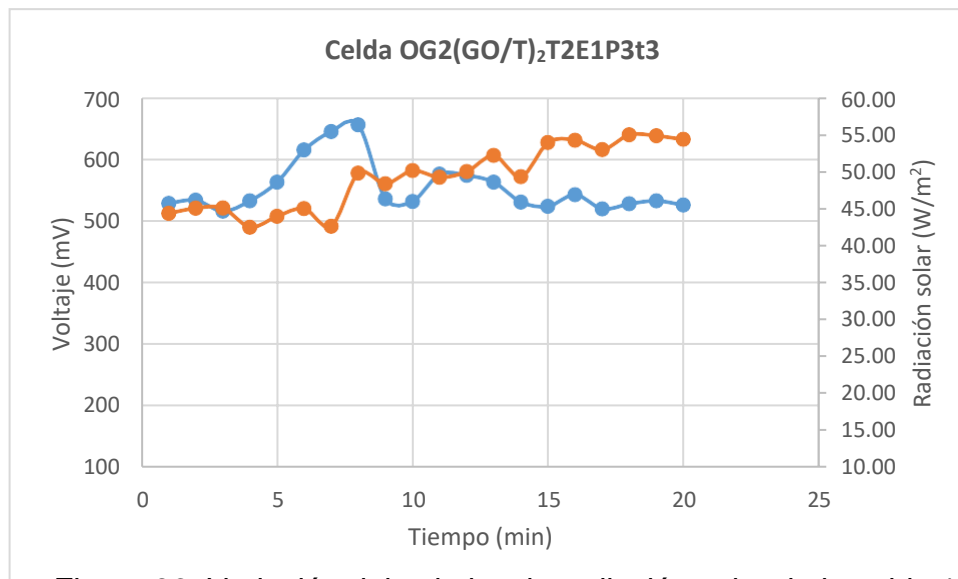


Figura 36. Variación del voltaje y la radiación solar de la celda 13

En la Figura 36 se observa que a medida que aumenta el tiempo de exposición a la radiación solar, el voltaje es bastante fluctuante con tendencia a decrecer gradualmente, siendo proporcional a la radiación solar de forma más marcada a partir del minuto 14. En el caso de la intensidad de corriente (Ver Tabla 22), se observa

pequeñas variaciones proporcionales a la radiación solar y al voltaje, durante el tiempo de medición.

Tabla 26. Medición del voltaje, amperaje y radiación solar de la celda 14

Código	Tiempo (min)	Voltaje (mV)	Intensidad de corriente (mA)	Radiación solar (W/m ²)	Celda
GO1(GO/T)2T2E2P3t3	0	463	0.0040	-	
	1	754	0.0090	638.9	
	2	652	0.0070	632.1	
	3	669	0.0070	635	
	4	428	0.0050	618.6	
	5	657	0.0070	633.1	
	6	454	0.0060	623.8	
	7	617	0.0070	630.6	
	8	539	0.0050	629.3	
	9	615	0.0080	630.3	
	10	816	0.0100	643.5	
	11	756	0.0090	636.9	
	12	747	0.0080	636.4	
	13	674	0.0080	635.8	
	14	801	0.0090	640.8	
	15	660	0.0080	633.9	
	16	643	0.0070	631.8	
	17	620	0.0070	631.4	
	18	625	0.0070	629.9	
	19	519	0.0070	627.8	
20	737	0.0070	636.6		
Promedio		649.15	0.0074	632.83	

En la Tabla 26 se observa la variación del voltaje e intensidad de corriente de la celda 14 durante 20 min en exposición a la radiación solar (desde las 14:20 p.m. hasta las 14:40 p.m.) en un día despejado con una temperatura de 21°C. Dicha celda estructuralmente está conformada por una capa de óxido de grafeno reducido (0.01g), una capa de la combinación de óxido de grafeno más TiO₂ (0.02g) y una capa TiO₂ (0.02g). Asimismo, la cantidad de electrolito aplicado fue 0.8mL y se usó los pigmentos

extraídos del zumo de la semilla de *Punica granatum* y la hoja de *Brassica oleracea var. capitata f.rubra* con un tiempo de secado de 30 min para su posterior sellamiento con el contraelectrodo que contenía óxido de grafeno reducido (0.01g) sobre el sustrato (mica). Inicialmente (T_0) antes de exponerlo a la radiación solar, el voltaje generado por la celda fue 463 mV; alcanzando el máximo voltaje (816 mV) en el minuto 10, marcando un amperaje de 0.0100 mA con una radiación solar de 643.5 W/m²; llegando al minuto 20 con un voltaje de 737 mV con una intensidad de corriente de 0.0074 mA y una radiación solar de 636.6 W/m². En promedio, el voltaje de la celda fue 649.15 mV, con una intensidad de corriente de 0.0074 mA y una radiación solar de 632.83 W/m².

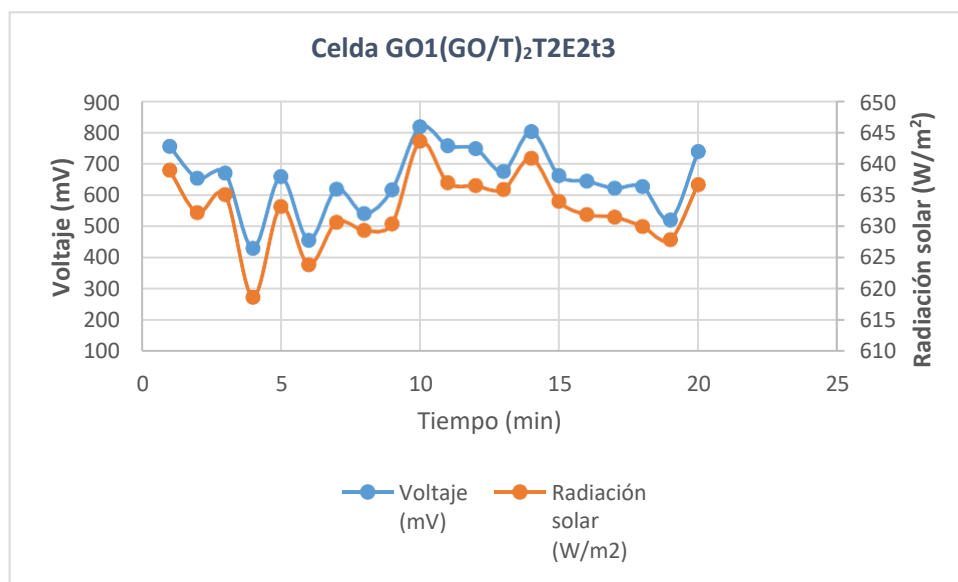
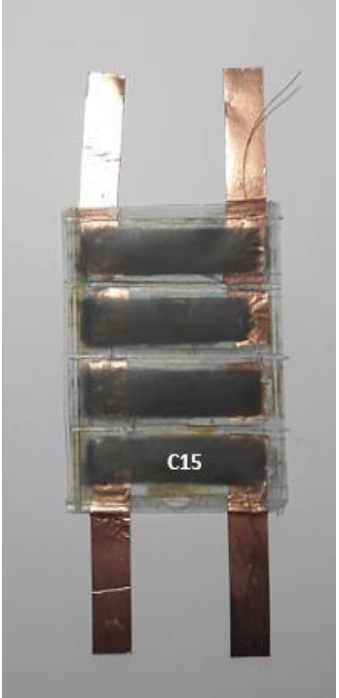


Figura 37. Variación del voltaje y la radiación solar de la celda 14

En la Figura 37 se observa que a medida que aumenta el tiempo de exposición a la radiación solar, el voltaje es bastante fluctuante con tendencia a incrementarse gradualmente, siendo proporcional a la radiación solar en la mayor parte del periodo de medición. En el caso de la intensidad de corriente (Ver Tabla 23), se observa pequeñas variaciones proporcionales a la radiación solar y al voltaje, durante el tiempo de medición.

Tabla 27. Medición del voltaje, amperaje y radiación solar de la celda 15

Código	Tiempo (min)	Voltaje (mV)	Intensidad de corriente (mA)	Radiación solar (W/m ²)	Celda
GO1(GO/T)2T1E1P3t3	0	723	0.0050	-	
	1	716	0.0060	44.39	
	2	717	0.0060	45.09	
	3	722	0.0070	45.12	
	4	659	0.0070	42.53	
	5	704	0.0050	43.99	
	6	716	0.0060	45.03	
	7	699	0.0060	42.63	
	8	741	0.0050	49.83	
	9	725	0.0050	48.39	
	10	753	0.0060	50.15	
	11	731	0.0060	49.24	
	12	744	0.0060	50.01	
	13	758	0.0060	52.18	
	14	736	0.0060	49.32	
	15	762	0.0060	53.94	
	16	771	0.0060	54.26	
	17	758	0.0060	52.96	
	18	778	0.0060	54.98	
	19	789	0.0060	54.84	
20	772	0.0060	54.35		
Promedio		737.55	0.0060	49.16	

En la Tabla 27 se observa la variación del voltaje e intensidad de corriente de la celda 15 durante 20 min en exposición a la radiación solar (desde las 13:58 p.m. hasta las 14:18 p.m.) en un día nublado con una temperatura de 17°C. Dicha celda estructuralmente está conformada por una capa de óxido de grafeno reducido (0.01g), una capa de la combinación de óxido de grafeno más TiO₂ (0.02g) y una capa TiO₂ (0.02g). Asimismo, la cantidad de electrolito aplicado fue 0.5 mL y se usó los pigmentos extraídos del zumo de la semilla de *Punica granatum* y la hoja de *Brassica oleracea var. capitata f.rubra* con un tiempo de secado de 30 min para su posterior sellamiento

con el contraelectrodo que contenía óxido de grafeno reducido (0.01g) sobre el sustrato (mica). Inicialmente (T_0) antes de exponerlo a la radiación solar, el voltaje generado por la celda fue 723 mV; alcanzando el máximo voltaje (789 mV) en el minuto 19, marcando un amperaje de 0.0060 mA con una radiación solar de 54.84 W/m²; llegando al minuto 20 con un voltaje de 772 mV con una intensidad de corriente de 0.0060 mA y una radiación solar de 54.35 W/m². En promedio, el voltaje de la celda fue 737.55 mV, con una intensidad de corriente de 0.0060 mA y una radiación solar de 49.16 W/m².

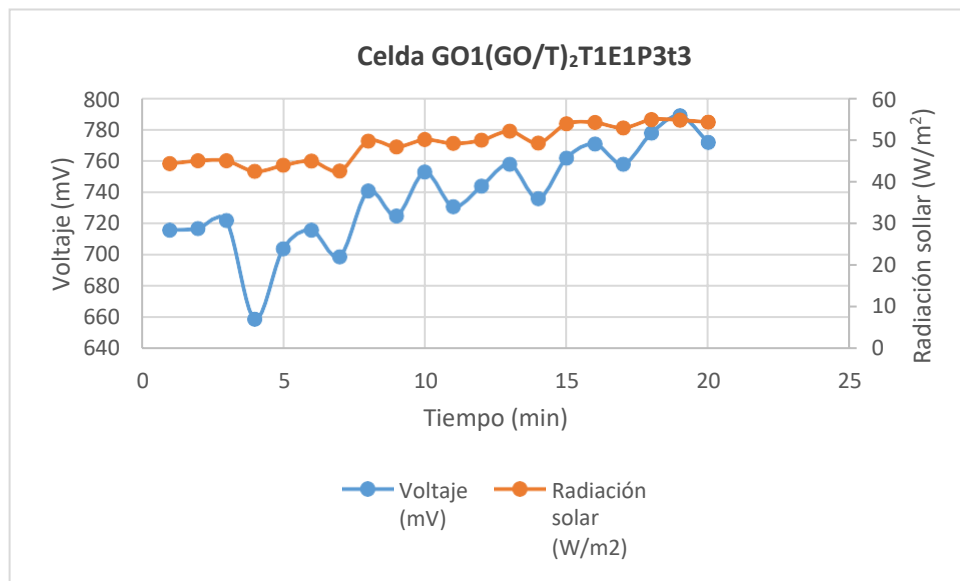
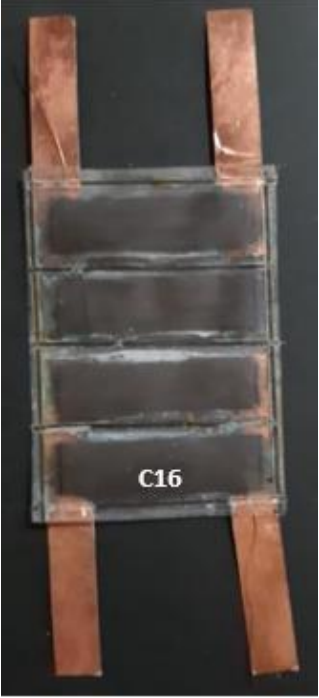


Figura 38. Variación del voltaje y la radiación solar de la celda 15

En la Figura 38 se observa que a medida que aumenta el tiempo de exposición a la radiación solar, el voltaje es bastante fluctuante con tendencia a incrementarse, siendo proporcional a la radiación solar en la mayor parte del periodo de medición. En el caso de la intensidad de corriente (Ver Tabla 24), se observa pequeñas variaciones proporcionales a la radiación solar y al voltaje, durante el tiempo de medición.

Tabla 28. Medición del voltaje, amperaje y radiación solar de la celda 16

Código	Tiempo (min)	Voltaje (mV)	Intensidad de corriente (mA)	Radiación solar (W/m ²)	Celda
GO1(GO/T)2T1E1P3t 3	0	406	0.0100	-	
	1	559	0.0120	638.9	
	2	516	0.0090	632.1	
	3	530	0.0090	635	
	4	455	0.0100	618.6	
	5	529	0.0120	633.1	
	6	476	0.0090	623.8	
	7	482	0.0090	630.6	
	8	454	0.0100	629.3	
	9	453	0.0100	630.3	
	10	589	0.0130	643.5	
	11	562	0.0120	636.9	
	12	551	0.0120	636.4	
	13	544	0.0120	635.8	
	14	556	0.0130	640.8	
	15	532	0.0120	633.9	
	16	478	0.0090	631.8	
	17	463	0.0100	631.4	
	18	458	0.0100	629.9	
	19	444	0.0090	627.8	
20	547	0.0140	636.6		
Promedio		508.90	0.0108	632.53	

En la Tabla 28 se observa la variación del voltaje e intensidad de corriente de la celda 16 durante 20 min en exposición a la radiación solar (desde las 14:20 p.m. hasta las 14:40 p.m.) en un día despejado con una temperatura de 21°C. Dicha celda estructuralmente está conformada por una capa de óxido de grafeno reducido (0.01g), una capa de la combinación de óxido de grafeno más TiO₂ (0.02g) y una capa TiO₂ (0.01g). Asimismo, la cantidad de electrolito aplicado fue 0.5 mL y se usó los pigmentos extraídos del zumo de la semilla de *Punica granatum* y la hoja de *Brassica oleracea var. capitata f.rubra* con un tiempo de secado de 30 min para su posterior sellamiento

con el contraelectrodo que contenía óxido de grafeno reducido (0.01g) sobre el sustrato (mica). Inicialmente (T_0) antes de exponerlo a la radiación solar, el voltaje generado por la celda fue 406 mV; alcanzando el máximo voltaje (589 mV) en el minuto 10, marcando un amperaje de 0.0130 mA con una radiación solar de 643.5 W/m²; llegando al minuto 20 con un voltaje de 547 mV con una intensidad de corriente de 0.0140 mA y una radiación solar de 636.6 W/m². En promedio, el voltaje de la celda fue 508.90 mV, con una intensidad de corriente de 0.0108 mA y una radiación solar de 632.53 W/m².

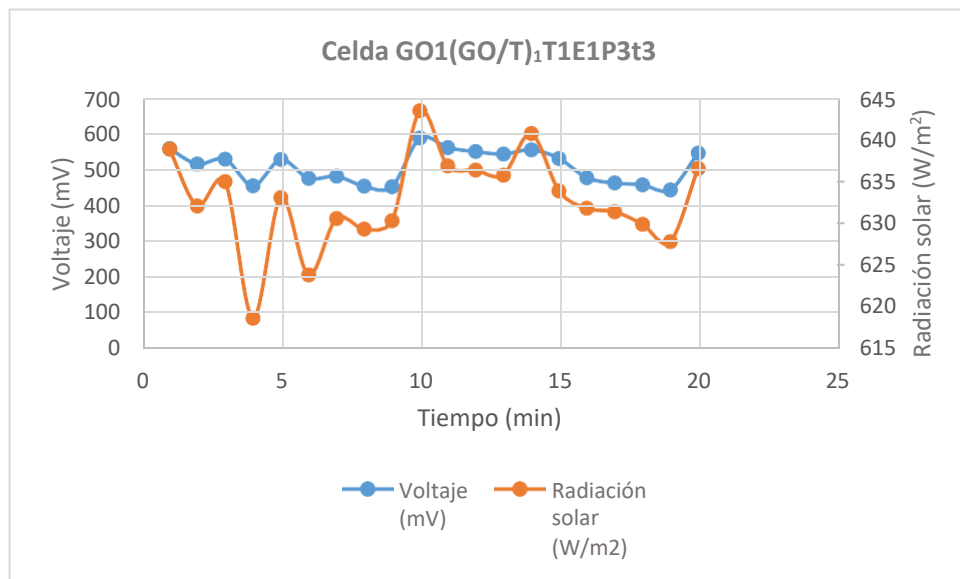



Figura 39. Variación del voltaje y la radiación solar de la celda 16

En la Figura 39 se observa que a medida que aumenta el tiempo de exposición a la radiación solar, el voltaje es bastante fluctuante, siendo proporcional a la radiación solar en la mayor parte del periodo de medición. En el caso de la intensidad de corriente (Ver Tabla 25), esta es mayor a las celdas anteriores con pequeñas variaciones proporcionales a la radiación solar y al voltaje, durante el tiempo de medición.

Tabla 29. Medición del voltaje, amperaje y radiación solar de la celda 17

Código	Tiempo (min)	Voltaje (mV)	Intensidad de corriente (mA)	Radiación solar (W/m ²)	Celda
GO1(GO/T)2T1E2P3t2	0	463	0.0040	-	
	1	459	0.0090	638.9	
	2	441	0.0060	632.1	
	3	473	0.0090	635	
	4	392	0.0060	618.6	
	5	455	0.0070	633.1	
	6	423	0.0060	623.8	
	7	441	0.0070	630.6	
	8	438	0.0060	629.3	
	9	452	0.0070	630.3	
	10	532	0.0110	643.5	
	11	519	0.0110	636.9	
	12	515	0.0110	636.4	
	13	512	0.0110	635.8	
	14	497	0.0090	640.8	
	15	457	0.0090	633.9	
	16	425	0.0050	631.8	
	17	422	0.0050	631.4	
	18	426	0.0060	629.9	
	19	474	0.0040	627.8	
20	482	0.0050	636.6		
Promedio		461.75	0.0075	632.83	

En la Tabla 29 se observa la variación del voltaje e intensidad de corriente de la celda 17 durante 20 min en exposición a la radiación solar (desde las 14:20 p.m. hasta las 14:40 p.m.) en un día despejado con una temperatura de 21°C. Dicha celda estructuralmente está conformada por una capa de óxido de grafeno reducido (0.01g), una capa de la combinación de óxido de grafeno más TiO₂ (0.02g) y una capa TiO₂ (0.01g). Asimismo, la cantidad de electrolito aplicado fue 0.8 mL y se usó los pigmentos extraídos del zumo de la semilla de *Punica granatum* y la hoja de *Brassica oleracea var. capitata f.rubra* con un tiempo de secado de 20 min para su posterior sellamiento

con el contraelectrodo que contenía óxido de grafeno reducido (0.01g) sobre el sustrato (mica). Inicialmente (T_0) antes de exponerlo a la radiación solar, el voltaje generado por la celda fue 463 mV; alcanzando el máximo voltaje (532 mV) en el minuto 10, marcando un amperaje de 0.0110 mA con una radiación solar de 643.5 W/m²; llegando al minuto 20 con un voltaje de 482 mV con una intensidad de corriente de 0.0050 mA y una radiación solar de 636.6 W/m². En promedio, el voltaje de la celda fue 471.75 mV, con una intensidad de corriente de 0.0075 mA y una radiación solar de 632.83 W/m².

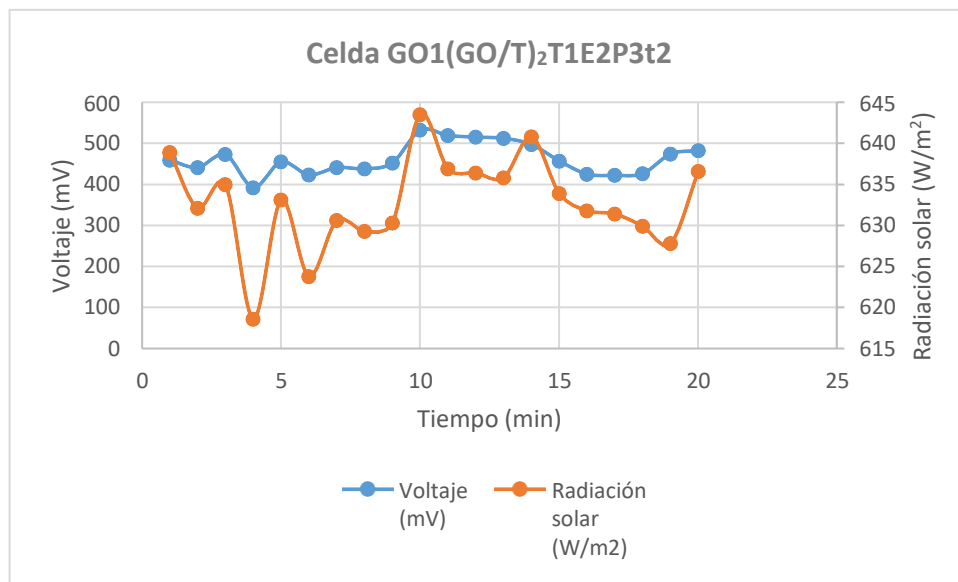



Figura 40. Variación del voltaje y la radiación solar de la celda 17

En la Figura 40 se observa que a medida que aumenta el tiempo de exposición a la radiación solar, el voltaje es bastante fluctuante, con tendencia a incrementarse, siendo proporcional a la radiación solar en la mayor parte del periodo de medición. En el caso de la intensidad de corriente (Ver Tabla 26), esta presenta pequeñas variaciones proporcionales a la radiación solar y al voltaje, durante el tiempo de medición.

Tabla 30. Medición del voltaje, amperaje y radiación solar de la celda 18

Código	Tiempo (min)	Voltaje (mV)	Intensidad de corriente (mA)	Radiación solar (W/m ²)	Celda
GO1(GO/T)2T2E2P3t3	0	430	0.0340	-	
	1	531	0.0410	638.9	
	2	514	0.0340	632.1	
	3	523	0.0410	635	
	4	456	0.0400	618.6	
	5	504	0.0410	633.1	
	6	449	0.0380	623.8	
	7	471	0.0360	630.6	
	8	435	0.0390	629.3	
	9	461	0.0370	630.3	
	10	793	0.0440	643.5	
	11	532	0.0400	636.9	
	12	528	0.0390	636.4	
	13	546	0.0430	635.8	
	14	523	0.0410	640.8	
	15	511	0.0380	633.9	
	16	478	0.0350	631.8	
	17	471	0.0350	631.4	
	18	465	0.0350	629.9	
	19	443	0.0330	627.8	
20	516	0.0420	636.6		
Promedio		507.50	0.0386	632.83	

En la Tabla 30 se observa la variación del voltaje e intensidad de corriente de la celda 18 durante 20 min en exposición a la radiación solar (desde las 14:20 p.m. hasta las 14:40 p.m.) en un día despejado con una temperatura de 21°C. Dicha celda estructuralmente está conformada por una capa de óxido de grafeno reducido (0.01g), una capa de la combinación de óxido de grafeno más TiO₂ (0.02g) y una capa TiO₂ (0.02g). Asimismo, la cantidad de electrolito aplicado fue 0.8 mL y se usó los pigmentos extraídos del zumo de la semilla de *Punica granatum* y la hoja de *Brassica oleracea var. capitata f.rubra* con un tiempo de secado de 30 min para su posterior sellamiento

con el contraelectrodo que contenía óxido de grafeno reducido (0.01g) sobre el sustrato (mica). Inicialmente (T_0) antes de exponerlo a la radiación solar, el voltaje generado por la celda fue 430 mV; alcanzando el máximo voltaje (793 mV) en el minuto 10, marcando un amperaje de 0.0440 mA con una radiación solar de 643.5 W/m²; llegando al minuto 20 con un voltaje de 516 mV con una intensidad de corriente de 0.0420 mA y una radiación solar de 636.6 W/m². En promedio, el voltaje de la celda fue 507.50 mV, con una intensidad de corriente de 0.0386 mA y una radiación solar de 632.83 W/m².

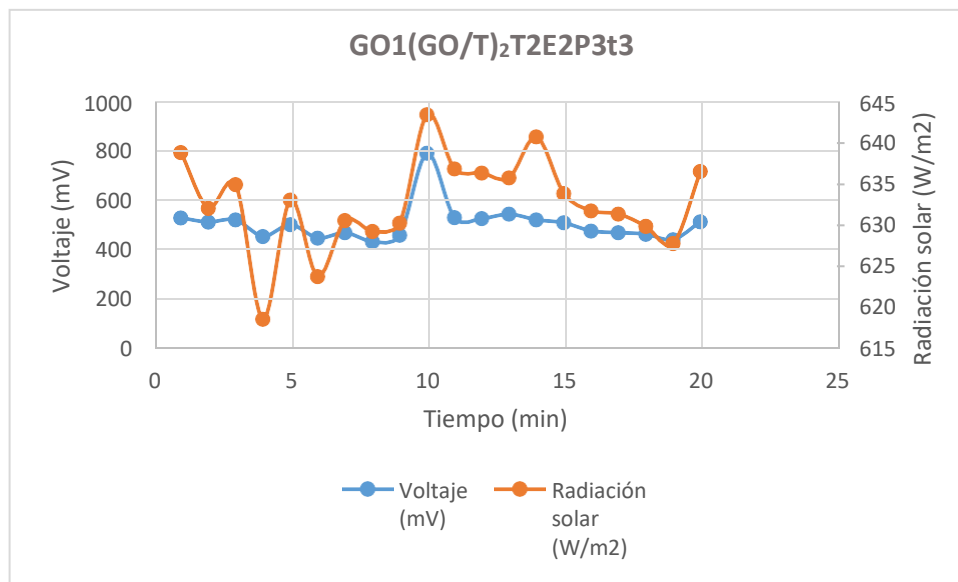


Figura 41. Variación del voltaje y la radiación solar de la celda 18

En la Figura 41 se observa que a medida que aumenta el tiempo de exposición a la radiación solar, el voltaje es fluctuante de forma proporcional a la radiación solar en la mayor parte del periodo de medición. Asimismo, la intensidad de corriente generada por esta celda (Ver Tabla 30), en comparación a las demás celdas fabricadas, es mayor, presentando pequeñas variaciones proporcionales a la radiación solar y al voltaje, durante el tiempo de medición.

De acuerdo a los resultados mostrados anteriormente, del grupo de las celdas sensibilizadas con pigmento extraído de la hoja de *Brassica oleracea var. capitata f. rubra*, la celda que mostró un voltaje con fluctuaciones proporcionales a la radiación

solar y a la intensidad de corriente fue la celda 1. Dicha celda durante el periodo de medición (20 min) alcanzó un voltaje promedio de 687.35 mV con tendencia a mantenerse constante por un periodo de tiempo más prolongado, una intensidad de corriente promedio de 0.0127 mA, siendo la más alta en comparación a las otras celdas de este grupo, con una radiación solar promedio de 59.54 W/m². Dadas estas características se procedió a calcular su eficiencia energética, se procedió a calcular su eficiencia energética, a partir de los parámetros eléctricos de dicha celda (Ver Figura 42) y la aplicación de las ecuaciones (1 y 2).

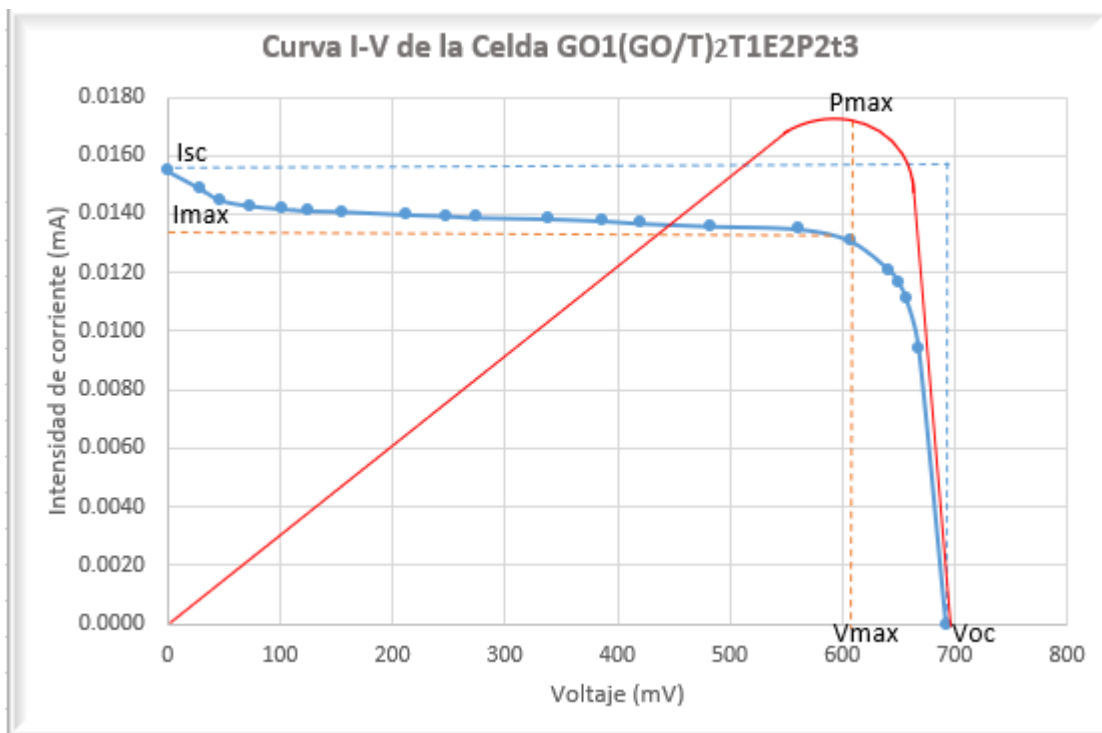


Figura 42. Curva I-V de la celda GO1(GO/T)₂T1E1P2t3

Tabla 31. Resultados de la eficiencia de la GO1(GO/T)₂T2P2t3

Superficie (Cm ²)	Radiación solar(W/cm ²)	Vmax (V)	Imax (mA)	Voc (V)	Isc (mA)	FF (%)	n (%)
18	5.954	0.642	0.0121	0.692	0.0155	0.72	0.0073

En la misma línea, según los resultados mostrados anteriormente, del grupo de las celdas sensibilizadas con pigmento extraído la semilla de *Punica granatum*, la celda que mostró un voltaje con fluctuaciones proporcionales a la radiación solar y a la intensidad de corriente fue la celda 11. Dicha celda durante el periodo de medición (20 min) alcanzó un voltaje promedio de 488.70 mV con tendencia a mantenerse constante por un periodo de tiempo más prolongado, una intensidad de corriente promedio de 0.0131 mA, siendo la más alta en comparación a las otras celdas de este grupo, con una radiación solar promedio de 632.83 W/m². Dadas estas características se procedió a calcular su eficiencia energética, a partir de los parámetros eléctricos de dicha celda (Ver Figura 43) y la aplicación de las ecuaciones (1 y 2).

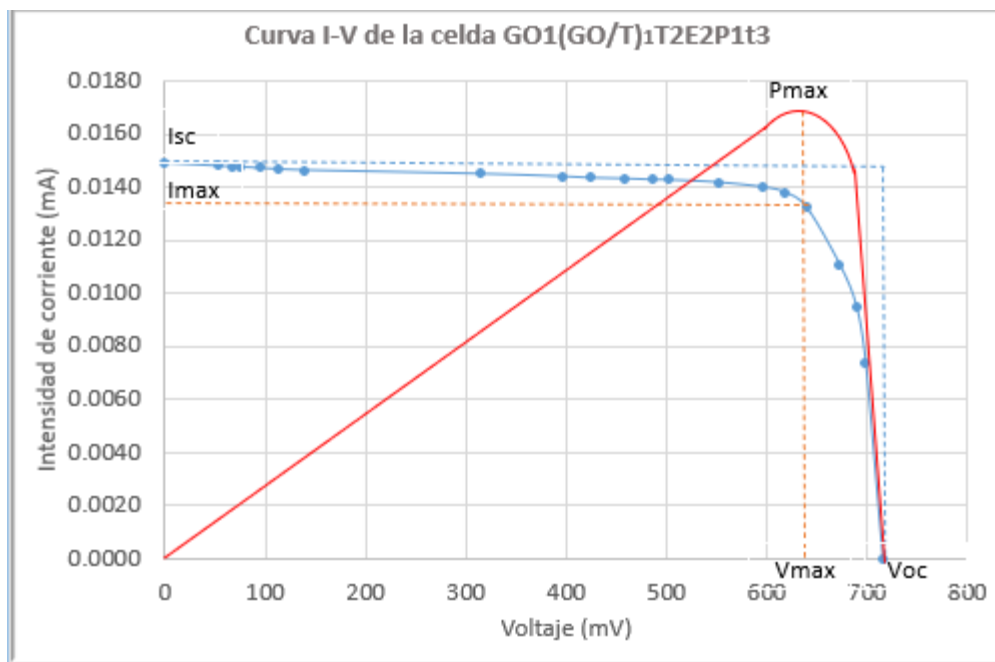


Figura 43. Curva I-V de la celda GO1(GO/T)₁T2P1t3

Tabla 32. Resultados de la eficiencia de la GO1(GO/T)₁T2P1t3

Superficie (Cm²)	Radiación solar(W/cm²)	Vmax (V)	I_{max} (mA)	Voc (V)	Isc (mA)	FF (%)	n (%)
18	63.283	0.639	0.0138	0.715	0.0149	0.80	0.00075%

Asimismo, según los resultados mostrados anteriormente, del grupo de las celdas sensibilizadas con la combinación de los pigmentos extraídos del zumo de la semilla de *Punica granatum* y del zumo de la hoja de *Brassica oleracea var. capitata f. rubra*; la celda que mostró un voltaje con fluctuaciones proporcionales a la radiación solar y a la intensidad de corriente fue la celda 18. Dicha celda durante el periodo de medición (20 min) alcanzó un voltaje promedio de 507.50 mV con tendencia a mantenerse constante por un periodo de tiempo más prolongado, una intensidad de corriente promedio de 0.0386 mA, siendo la más alta en comparación a las otras celdas de este grupo, con una radiación solar promedio de 632.83 W/m². Dadas estas se procedió a calcular su eficiencia energética (Ver Tabla 32) a partir de los parámetros eléctricos de dicha celda (Ver Figura 44) y la aplicación de las ecuaciones (1 y 2)

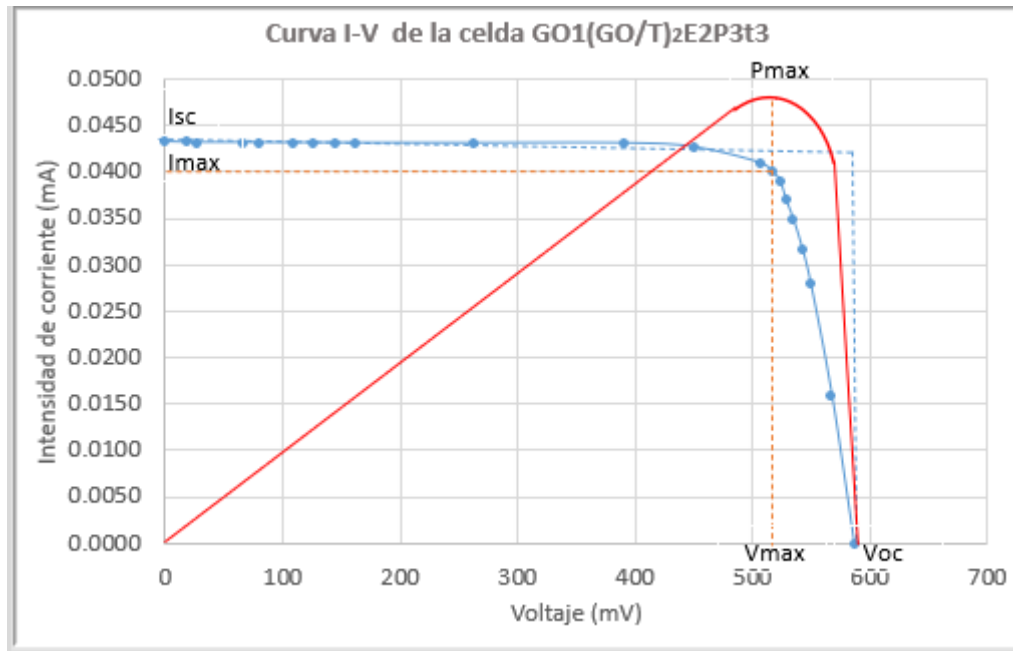


Figura 44. Curva I-V de la celda GO1(GO/T)2E2P3t3

Tabla 33. Resultados de la eficiencia de la GO1(GO/T)2E2P3t3

Superficie (Cm ²)	Radiación solar(W/cm ²)	Vmax (V)	Imax (mA)	Voc (V)	Isc (mA)	FF (%)	n (%)
18	63.283	0.506	0.0410	0.586	0.0433	0.82	0.018%

V. DISCUSIÓN

Según los resultados obtenidos del grupo de celdas sensibilizadas con pigmento extraído del zumo de la hoja de *Brassica oleracea var. capitata f.rubra*; la celda que logró mayor voltaje y amperaje fue la celda 1 (687.35 mV) con un amperaje de 0.0127 mA y una radiación solar de 59.54 W/m²; seguidamente, la celda 6 alcanzó el segundo lugar en amperaje (0.009 mA) con un voltaje de 481.25 mV y una radiación solar de 632.83 W/m²; asimismo, la celda que alcanzó el segundo lugar en voltaje, fue la celda 2 llegando a 571 .70 mV, con un amperaje de 0.0013mA y una radiación solar de 68.97 W/m². Comparando estas 3 celdas, se puede observar que para la fabricación de la celda 1 a diferencia de la celda 2, esta tuvo mayor cantidad de la capa de (GO/T), de electrolito (0.8mL), su tiempo de secado fue mayor (20 min) y fue expuesta a una menor radiación solar (59.54 W/m²).

Comparando la celda 1 con la celda 6, se observa que la celda 6 en su fabricación tiene menor cantidad de electrolito y tiempo de secado; y la celda 2 con la celda 3 se diferencian en la cantidad de (GO/T), el tiempo de secado y la radiación a la que fueron expuestas. Siendo así, se determinó que la celda con mayor estabilidad fue la celda 1, logrando una eficiencia, de 0.0073 %. Si bien es cierto, la celda 6 fue expuesta a la mayor radiación solar, esta no generó el mayor voltaje; deduciéndose que la cantidad de electrolito utilizado para la fabricación de celdas solares, así como la capa de (GO/T) y el tiempo de secado también influyen en su estabilidad.

De acuerdo a los resultados del grupo de celdas sensibilizadas con pigmento extraído del zumo de la semilla de *Punica granatum*, la celda que generó mayor voltaje fue la celda 12, llegando a 623.90 mV con una intensidad de corriente de 0.0033 mA y una radiación de 68.97 W/ m². Por otro lado, la celda que generó mayor intensidad de corriente fue la celda 11 llegando a 0.0131 mA y un voltaje de 488.70 mV con una radiación solar de 632.83 W/m². Seguidamente, la celda que alcanzó el segundo lugar en amperaje y voltaje fue la celda 9 llegando a 0.0041mA con un voltaje de 557.20 mV con tendencia a decrecer gradualmente y una radiación de 32.59 W/m². Comparando estas 3 celdas se observa que estructuralmente la celda

que generó mayor voltaje a diferencia de las otras celdas tuvo menor cantidad de la capa de TiO_2 , electrolito y tiempo de exposición.

Desde luego, la celda 11 estructuralmente tuvo menor cantidad de la capa de (GO/T) y fue expuesta a mayor radiación solar. Siendo así, se determinó que la celda que la celda con mayor estabilidad fue la celda 11, logrando una eficiencia de 0.00075%. Si bien es cierto otras celdas de este grupo presentaron mejores voltajes, a menor radiación solar, sus amperajes tuvieron diferencias marcadas en comparación a la celda 11, observándose la influencia del tiempo de secado (30min), sus componentes estructurales y la radiación solar en su estabilidad.

Según los resultados de del grupo de las celdas sensibilizadas con la combinación de pigmentos extraídos del zumo de la hoja de *Brassica oleracea var. capitata f. rubra* y de la semilla de *Punica granatum*; la celda que generó mayor voltaje fue la celda 15 llegando a 737.55 mV con una intensidad de corriente de 0.0060 mA y una radiación solar de 49.16 W/m^2 y en segundo lugar la celda 14 que alcanzó un voltaje de 649.15 con una intensidad de corriente de 0.0074 mA y una radiación solar promedio de 632.83 W/m^2 .

Por otro lado, la celda que generó mayor intensidad de corriente fue la celda 18, llegando a 0.0386 mA con un voltaje de 507.50 mV con tendencia a mantenerse constante por un mayor periodo de tiempo con una radiación solar promedio de 632.83 W/m^2 . Comparando estas celdas estructuralmente la celda que generó mayor voltaje tuvo un tiempo de secado de 30 min, pero solo se usó 0.5 mL de electrolito, desde luego, la celda que generó mayor intensidad de corriente tuvo mayor cantidad de en la capa de TiO_2 y 0.8mL de electrolito con un tiempo de secado de 30 min y fue expuesta a una radiación de 632.83 W/m^2 . Siendo así, se determinó que la celda con mayor estabilidad fue la celda 18, logrando una eficiencia de 0.018%.

En este grupo de celdas se observa también que estructuralmente todas presentan la misma cantidad de la capa (GO/T) y a pesar de tener variaciones en los demás componentes y ser expuestas radiaciones solares diferentes, su voltaje osciló entre

507.50 mV a 737.55 mV y alcanzaron el mayor amperaje (0.0386 mA). De esta manera se deja evidencia lo referido por Adil, Khan y Kalpana (2018), respecto a la incorporación de TiO₂ al grafeno para mejorar el rendimiento fotovoltaico; a su vez, la presencia de antocianina en ambos pigmentos utilizados posee grupos (-OH) de anclaje al semiconductor mejorando su absorción y garantizando la eficacia de la captación de luz por la DSSC (Ikpesu, *et al.*, 2020). Si bien es cierto, Siddick, Lai y Juan, 2018; Patil, Mali, Shaikh, Patil, Patil y Hong, 2019, al incorporar óxido de grafeno al TiO₂ obtuvieron eficiencias oscilantes entre 0.67% y 4.43%; en este caso a diferencia de esta investigación, también usaron como sustrato vidrio FTO y no se usaron colorantes naturales directamente para sensibilizar las DSSC.

En referencia a los resultados obtenidos por Azwar, *et al.*, 2018, la celda sensibilizada con pigmento extraído de *Piper ornatum* con el semiconductor TiO₂ su factor de llenado fue 0.553, su voltaje de circuito abierto 0.463 V y su corriente cortocircuito 0.121 mA/cm² generando una eficiencia de 0.032%; la celda sensibilizada con pigmento extraído de *Piper ornatum* con SnO₂ como semiconductor, su factor de llenado fue 0.357, su voltaje de circuito abierto 0.238 V y su corriente cortocircuito 0.261 mA/cm² generando una eficiencia de 0.022%. De igual forma, para la celda sensibilizada con *Piper betle* y TiO₂ como semiconductor, su factor de llenado fue 0.598, su voltaje de circuito abierto 0.455 V y su corriente cortocircuito 0.124 mA/cm² generando una eficiencia de 0.034%; y en el caso de la celda sensibilizada con pigmento de *Piper betle* y SnO₂ como semiconductor, su factor de llenado fue 0.325, su voltaje de circuito abierto 0.202 V y su corriente cortocircuito 0.207 mA/cm² generando una eficiencia de 0.014%. Cabe mencionar que el área de las celdas solares fue vidrio FTO con 0.25cm².

En esta investigación la celda sensibilizada con pigmento extraído de la hoja de *Brassica oleracea var. capitata f. rubra*, generó su factor de llenado de 0.72, un voltaje de circuito abierto de 0.692 V una corriente cortocircuito de 0.00086 mA/cm² dando como resultado una eficiencia de 0.0073%; la celda sensibilizada con pigmento extraído de la semilla de *Punica granatum* su factor de llenado fue 0.80,

su voltaje de circuito abierto 0.715 V, su corriente cortocircuito 0.00083 mA/cm² generando una eficiencia de 0.00075%; y con celda sensibilizada por la combinación de ambos pigmentos (P3) se obtuvo un factor de llenado de 0.82, un voltaje de circuito abierto 0.586 V una corriente cortocircuito 0.024 mA/cm² generando una eficiencia de 0.018%.

En comparación a los resultados obtenidos por Azwar, *et al.*, 2018, los parámetros eléctricos obtenidos en esta investigación muestran cierta similitud, pero sus eficiencias generadas fueron relativamente mayores a las obtenidas, debido a que su área de las celdas solares que fabricaron fue 0.5cm² y en este caso se usó una superficie de 18 cm² y otros componentes estructurales.

Por su parte, Erande, *et al.*, 2020, en su investigación realizada uso pigmentos de *Punica granatum*, en sus DSSC con TiO₂ como semiconductor y un contraelectrodo de FTO con carbono revestido, logrando obtener un factor de llenado de 0.209, un voltaje de circuito abierto de 304.07 mV, y una corriente cortocircuito de 1.62 mA, logrando una eficiencia de 0.20%. En comparación con estos resultados los parámetros eléctricos registrados en esta investigación son mayores a excepción de la corriente cortocircuito, considerando que el área de las celdas que fabricaron fueron vidrios FTO.

Respecto a la investigación realizada por Condori (2019), con las celdas fabricadas a base de nano partículas (NPs) de dióxido de titanio (TiO₂) y colorante orgánico natural de maíz morado (*Zea mays* L.), se obtuvieron mejores resultados con la celda que utilizó grafito como electrodo. La celda más estable mostró un factor de llenado de 0.4075, un voltaje de circuito abierto de 510 mV y una corriente cortocircuito de 97 mA, considerando la luz incidente de 1000W/m² y 0.5cm² de área de trabajo llegando a una eficiencia de 0.004%.

En comparación a los resultados obtenidos por Condori (2019), en este caso la celda sensibilizada con la combinación de los pigmentos *Punica granatum* y *Brassica oleracea* var. *capitata f.rubra* y solo por el pigmento de *Brassica oleracea* var. *capitata f.rubra* supera ligeramente dichas eficiencias, ya que estas alcanzan

0.018% y 0.0073% respectivamente. De igual forma, cabe mencionar que el área de las celdas solares fabricadas fue mayor al área que utilizó Condori.

VI. CONCLUSIONES

- La celda solar fabricada que generó mayor eficiencia energética fue la celda GO1(GO/T)₂T2E2P3t3 alcanzando 0.018%, evidenciando una buena transferencia de electrones y estabilidad. A partir de todas las pruebas realizadas se observó que la eficiencia energética se ve influenciada por los componentes estructurales de la celda, su área y la radiación solar a la que es expuesta.
- Las características morfológicas del óxido de grafeno reducido sintetizado muestran estructuras escamosas, y su absorción pico se dio a 300 nm.
- Los pigmentos que se usaron en esta investigación se obtuvieron del zumo de la de la semilla de *Punica granatum* y la hoja de *Brassica oleracea var capitata f. rubra*.
- Los pigmentos obtenidos del zumo de la semilla de *Punica granatum* y la hoja de *Brassica oleracea var capitata f. rubra* se usaron para sensibilizar las DSSC, mostrando mejor resultado el pigmento obtenido de la combinación de ambos pigmentos.
- Se logró determinar el voltaje promedio en un periodo de tiempo de 20 minutos de las 18 celdas fabricadas, alcanzando un mayor voltaje promedio con tendencia a incrementarse la celda GO1(GO/T)₂T1E1P3t3 (737.55 mV).

VII. RECOMENDACIONES

- Fomentar más investigaciones referidas a la fabricación de DSSC, utilizando pigmentos naturales.
- Caracterizar los pigmentos naturales a utilizar en la fabricación de las celdas solares por espectroscopia UV – Visible para obtener mejores rangos de absorción.
- Emplear todos los equipos de protección personal (guardapolvo, mascarilla y guantes quirúrgicos) para la obtención de grafeno, electrolito y pigmentos
- Continuar con las investigaciones referidas a la síntesis y el uso de óxido de grafeno reducido en la fabricación de celdas solares en búsqueda de reducir el tiempo de operación y menor uso de reactivos para reducir los impactos.

REFERENCIAS

ADIL, Syed; KHAN, Mujeeby KALPANA, Dharmalingam. 7 - Graphene-based nanomaterials for solar cells. *Multifunctional Photocatalytic Materials for Energy* [en línea]. 2018. [Fecha de consulta: 12 de octubre de 2020]. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780081019771000089?via%3Dihub>

AGARWAL, Vipul y ZETTERLUND, Per. Strategies for reduction of graphene oxide - A comprehensive review. *Chemical Engineering Journal* [en línea]. Febrero 2021, n° 405. [Fecha de consulta: 15 de octubre del 2020]. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1385894720331466>

AHMAD, Tamveer y ZHANG, Dongdong. A critical review of comparative global historical energy consumption and future demand: The story told so far. *Energy Reports* [en línea]. Noviembre 2020, n.º 6. [Fecha de consulta: 12 de septiembre de 2020].
Disponible en:
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2352484720312385>

AJAYAN, J., NIRMAL, D., MOHANKUMAR, P., SARAVANAN, M., JAGADESH, M., y ARIVAZHAGAN, L. A review of photovoltaic performance of organic/inorganic solar cells for future renewable and sustainable energy technologies. *Superlattices and Microstructures* [en línea]. Julio 2020, n.º 143. [Fecha de consulta: 30 de octubre de 2020].
Disponible en:
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0749603620305577>

AKSOY, Seval, GORGUN, Kamuran, CAGLAR, Yasemin, y CAGLAR, Mudat. Effect of loading and standby time of the organic dye N719 on the photovoltaic performance of ZnO based DSSC. *Molecular Structur [en línea]*. Abril, 2019. [Fecha de consulta: 08 de julio de 2021]. Disponible en: <https://fytronix.com/PDF-Makale/Journal-of- Molecular-Structure.pdf>

ALDABE, Sara; ARAMENDÍA, Pedro; BONAZZOLA, Cecilia y LACREU, Laura. Química 2: química en acción [en línea]. Buenos Aires: Colihue, 2004. [Fecha de consulta: 15 de noviembre de 2020]. Disponible en: <https://books.google.com.pe/books?id=nsTjBmyABXsC&pg=PA313&dq=que+es+la+radiaci%C3%B3n+electromagnetica&hl=es&sa=X&ved=2ahUKEwj4wdC6ppjyAhXhJbkGHTdHAFQQ6AEwA3oECAYQAg#v=onepage&q=que%20es%20la%20radiaci%C3%B3n%20electromagnetica&f=false>

ÁLVAREZ, Mónica, MARTÍNEZ, Hader y JARAMILLO, Franklin. Nanotecnología: Fundamentos y aplicaciones [en línea]. Colombia: Universidad de Antioquía, 2019 [fecha de consulta: 30 de octubre de 2020]. Disponible en: https://books.google.com.pe/books?id=0RbeDwAAQBAJ&pg=PT108&dq=celdas+solares+organicas&hl=es&sa=X&ved=2ahUKEwiNs_bW8e7rAhU0D7kGHaD6BNkQ6AEwAXoECAMQAg#v=onepage&q=celdas%20solares%20organicas&f=false
ISBN: 9789587148978

ARMENDÁRIZ, Eddie [et al.]. Ingeniería Bioinspirada [en línea]. México: Universidad Politécnica La Victoria, 2014 [fecha de consulta: 4 de septiembre de 2020]. Disponible en: https://books.google.com.pe/books?id=AL4ZBQAAQBAJ&pg=PA95&dq=CELDAS+SOLARES+DSSC&hl=es&sa=X&ved=2ahUKEwjp_lfD_rAhVwHLkGHU1YDo0Q6AEwAHOECAUQAg#v=onepage&q=CELDAS%20SOLARES%20DSSC&f=false

ISBN: 9788494211843

AZNAR, Antonio, CABANELAS, Juan Carlos y SERRANO, Berna. Química II [en línea]. Madrid: Universidad Carlos III, 2009 [fecha de consulta: 04 de diciembre de 2020]. Disponible en: <http://ocw.uc3m.es/ingenieria-quimica/quimica-ii/practicas-1/PR-F-Anexos.pdf>

AZWAR, Hayat. *Piper Ornatum* and *Piper Betle* as Organic Dyes for TiO₂ and SnO₂ Dye Sensitized Solar Cells. The Electrochemical Society [en línea]. 2018.[Fecha de consulta: 09 de julio del 2021]. Disponible en: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1742-6596/979/1/012062/pdf>

BASELGA, Mario. Instalaciones solares fotovoltaicas [en línea]. España: *Editex*, 2019 [fecha de consulta: 15 de octubre de 2020]. Disponible en: <https://books.google.com.pe/books?id=bKyZDwAAQBAJ&pg=PA43&dq=baselga+2019+instalacion+fotovoltaica+25+a%C3%B1os&hl=es&sa=X&ved=2ahUKEwiVmpm2r6ntAhXqJrkGHfv2DtIQ6AEwAHoECAQQAg#v=onepage&q=baselga%202019%20instalacion%20fotovoltaica%2025%20a%C3%B1os&f=false>

BRITISH Petroleum. Statistical Review of World Energy. 69^a ed. 2020. Disponible en: <https://www.bp.com/content/dam/bp/business-sites/en/global/corporate/pdfs/energy-economics/statistical-review/bp-stats-review-2020-full-report.pdf>

CHEN, Shumin, LI, Hongda, ZHAO, Kui, y WU, Di. Preparation of graphene films bridged with Ag nanowires and its application in heterojunction solar cells. *Solar Energy* [en línea]. Marzo 2020, n. °198. [Fecha de consulta: 4 de septiembre de 2020].

Disponible

en:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0038092X20300700?via%3Dihub>

COELHO, Joao, DA SILVA, Ives, DA SILVA, Ángela, QUIJANO, Jesús, ROVAL, Armando y SALLES, Pablo. Grafeno, innovación, derecho y economía: Estudios en homenaje al profesor Marcos Sacristán Represa [en línea]. Brasil: J. M. BOSCH EDITOR, 2017. [fecha de consulta: 4 de septiembre de 2020]. Disponible en:

[https://books.google.com.pe/books?id=1De3DwAAQBAJ&pg=PA4&dq=grafeno+\(Coelho,+2017\)&hl=es&sa=X&ved=2ahUKEwjJ-J6xs6rtAhVoILkGHa01Ds4Q6AEwAHoECAAQAg#v=onepage&q=grafeno%20\(Coelho%2C%202017\)&f=false](https://books.google.com.pe/books?id=1De3DwAAQBAJ&pg=PA4&dq=grafeno+(Coelho,+2017)&hl=es&sa=X&ved=2ahUKEwjJ-J6xs6rtAhVoILkGHa01Ds4Q6AEwAHoECAAQAg#v=onepage&q=grafeno%20(Coelho%2C%202017)&f=false)

ISBN: 9788494725227

CONDORI, Ruth. Fabricación de celdas solares Grätzel sensibilizadas con NPs TiO₂ y colorante orgánico natural maíz morado (*Zea mays* L) como potencial uso en la industria fotovoltaica. Tesis (Ingeniera Química). Puno: Universidad Nacional del Altiplano, 2019. Disponible en: <https://1library.co/document/yd759kgy-fabricacion-gratzel-sensibilizadas-colorante-organico-potencial-industria-fotovoltaica.html>

DONG, Kangyin, DONG, Xiucheng Y JIANG, Qingzhe. How renewable energy consumption lower global CO₂ emissions? Evidence from countries with different income levels. *The World Economy* [en línea]. Noviembre 2019, n° 6. [Fecha de consulta: 19 de octubre del 2020]. Disponible en: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/twec.12898>

ECA, Instituto de Tecnología y Formación S.A.U, MÉNDEZ, Javier y CUERVO, Rafael. Energía Solar térmica [en línea]. Madrid, Fundación Confemetal, 2008. [Fecha de

consulta: 25 de octubre de 2020]. Disponible en:
<https://books.google.com.pe/books?id=9l2lOQTRe1UC&pg=PA31&dq=QUE+E+SLA+ENERGIA+SOLAR&hl=es&sa=X&ved=2ahUKEwi-18ST9aHsAhW9HLkGHRmnB3wQ6AEwAHoECAMQAg#v=onepage&q=QUE%20E%20SLA%20ENERGIA%20SOLAR&f=false>

ISBN: 9788496743311

El grafeno: Propiedades y aplicaciones [Mensaje en un blog]. España: Graphenano nanotechnologies (Julio 2017). [Fecha de consulta: 15 de octubre del 2020] Recuperado de: <https://www.graphenano.com/uploads/2017/11/Que-es-el-grafeno.pdf>

ERANDE, KB. [et al.]. Extraction of natural dye (specifically anthocyanin) from pomegranate fruit source and their subsequent use in DSSC. *Materialtoday: Proceedings* [en línea]. Julio 2020. [Fecha de consulta: 07 de octubre del 2020]. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2214785320348306>

ESPÍN, Juan, SOLER, Cristina, WICHERS, Harry y GARCÍA, Cristina. Anthocyanin-Based Natural Colorants. A New Source of antiradical Activity for Foodstuff. *Journal of agricultural and food chemistry* [en línea]. Abril, 2000. [Fecha de consulta: 28 de setiembre del 2020]. Disponible en: <https://pubs.acs.org/doi/abs/10.1021/jf9911390#>

FERREIRA, FC. [et al.]. Photoelectric performance evaluation of DSSCs using the dye extracted from different color petals of *Leucanthemum vulgare* flowers as novel sensitizers. Elsevier. [Fecha de consulta: 15 de abril del 2021]. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1386142520301761>

ALDABE, Robert; GHASSEMI, Majid y COTA, Alma [en línea]. *Solar Energy: Renewable Energy and Environment*. New York: Taylor & Francis Group, 2010 [Fecha de consulta: 22 de octubre de 2020]. Disponible en: <https://books.google.com.pe/books?id=DiNr-G4eawlC&printsec=frontcover&dq=SOLAR+ENERGY&hl=es&sa=X&ved=2ahUKEwjY0cyhgqLtAhUCIbkGHY1jB6YQ6AEwCHoECAkQAg#v=onepage&q=SOLAR%20ENERGY&f=false>

ISBN: 9781420075670

GÓMEZ, Tatiana; JARAMILLO, Franklin; SCHOTT, Eduardo; ARRATIA-PÉREZ, Ramiro y ZARATE, Ximena. Simulation of natural dyes adsorbed on TiO₂ for photovoltaic applications. *Solar Energy* [en línea]. Enero 2017, n.º 142. [Fecha de consulta: 10 de octubre de 2020]. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0038092X1630617X>

GONG, Jiawei; SUMATHY, K; QIAO, Qiquan; y ZHOU, Zhengping. Review on dye-sensitized solar cells (DSSCs): Advanced techniques and research trends. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* [en línea]. Febrero 2017, n.º. 68 parte 1. [Fecha de consulta: 10 de octubre de 2020]. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1364032116305883>

GUZMÁN, Carlos. Análisis del impacto ambiental de diferentes tipos de paneles solares según los materiales utilizados y los componentes tóxicos generados. Tesis (Especialista en Gestión Ambiental). Bogotá: Fundación Universidad América, 2017. Disponible en: <http://repository.uamerica.edu.co/bitstream/20.500.11839/7038/1/632575-2017-II-GA.pdf>

GAYTAN, Carlos; MARTÍNEZ, Antonia; AGUILERA, Elsa y PÉREZ, Catalina. Celdas Solares sensibilizadas con colorantes: Factores para mejorar su eficiencia. *CienciAcierta* [en línea]. Octubre-diciembre 2019, n.º 60.

https://www.researchgate.net/publication/338412623_Celdas_Solares_sensibilizadas_con_colorantes_Factores_para_mejorar_su_eficiencia_Dye-sensitized_solar_cells_Factors_to_improve_its_efficiency

ISSN: 26831848

HOSSEINNEZHAD, Mozghan; GHARANJIG, Kamaladín; YAZDI, Mohsen; ZARRINTAJ, Payam; MORADIAN, Siamak; SAEB, Mohammad y STADLER, Florian. Dye-sensitized solar cells based on natural photosensitizers: A greenview from Iran. *Journal of Alloys and Compounds* [en línea]. Julio 2020, n.º 828. [Fecha de consulta:

10 de octubre de 2020]. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0925838820306927>

JALALI, Tahmineh; ARKIAN, Parisa; GOLSHAN, Malihe; JALALI, Mandana y OSFOURI, Shahriar. Performance evaluation of natural native dyes as photosensitizer in dye-sensitized solar cells. *Optical Materials* [en línea]. Diciembre 2020, n.º 110.

[Fecha de consulta: 12 de octubre de 2020]. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0925346720307825?via%3Dihub>

JARA, Allah, BETEMARIAM, Amha, WOLDITINSAE, Girma, YONG, Jung. Purification, application and current market trend of natural graphite: A review. *International Journal of Mining Science and Technology* [en línea]. Setiembre 2019, n.º 5. [Fecha de consulta:

05 de noviembre del 2020]. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2095268618304269>

JAYAPRADHA, P., BARIK, D., JEEYAUDEEN, A., SANJOOP, P.N. y PRAHALADHA, M. Investigation and separation of waste solar panels. *Materials Today: Proceedings* [en línea]. Junio - julio 2020. [fecha de consulta:4 de septiembre de 2020]. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2214785320354699>

KALYANASUNDARAM, K. Dye-sensitized Solar Cells. Francia [en línea]: Taylor & Francis Group, 2010 [Fecha de consulta: 22 de octubre de 2020]. Disponible en: <https://books.google.com.pe/books?id=1n1QC2snf-AC&pg=PR17&dq=celda+graetzel&hl=es&sa=X&ved=2ahUKEwjgnJ7MlaLtAhVsU98KHdXEBqQQ6AEwBHoECAEQAg#v=onepage&q=celda%20graetzel&f=false>

ISBN: 9781439808665

KAZMI, Safia, HAMEED, Salman, AHMED, Arham, ARSHAD, Mohd, AZAM, Ameer. Electrical and optical properties of graphene-TiO₂ nanocomposite and its applications in dye sensitized solar cells (DSSC). *Journal of Alloys and Compounds* [en línea]. Enero 2017, n° 691. [Fecha de consulta: 07 de noviembre del 2020]. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0925838816327219?fbclid=IwAR1V5eN7IzODGcRLXlcqInsW3S4C86BaGuMJexOBG4ImOfJwOpiRQw0G8hQ>

IBARRA, Hugo. ¿Por qué el cielo es azul? Universidad autónoma metropolitana Unidad Azcapotzalco. Septiembre 2017, n°. 180. [Fecha de consulta: 10 de octubre de 2020]. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/319880879_Por_que_el_cielo_es_azul

IKPESU, Jasper; IYUQUE, Sunny; DARAMOLA, Michael y OYENTUNDE, Okewale. Synthesis of improved dye-sensitized solar cell for renewable energy powergeneration.

Solar Energy [en línea]. Agosto 2020, n.º 206. [Fecha de consulta: 10 de octubre de 2020]. Disponible en:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0038092X20304837>

LUDEÑA, Viviana. Obtención y caracterización del extracto de antocianina a partir de la granada para alimentos (Púnica Granatum L.). Tesis Pregrado. Ayacucho: Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga, 2017. Disponible en:

http://repositorio.unsch.edu.pe/bitstream/handle/UNSCH/3432/TESIS%20Q501_Lud.pdf?sequence=1&isAllowed=y

LUDÍN, Norasikin; MAHMOUD, A.M; MOHAMAD, Abu; KADHUM, Amir; SOPIAN, Kamaruzzaman y ABDUL, Nor. Review on the development of natural dye photosensitizer for dye-sensitized solar cells. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. Agosto - enero 2014, n. º31. [Fecha de consulta: 10 de octubre de 2020]. Disponible en:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1364032113008058?via%3Dihub>

MARTÍNEZ, Raúl. Estimación de la eficiencia de un sistema de energía eléctrica basado en paneles solares considerando variables ambientales en la ciudad de Bogotá. Tesis Pregrado Bogotá: Universidad Santo Tomás, Facultad de Ingeniería Electrónica, 2017. Disponible en:

<https://repository.usta.edu.co/bitstream/handle/11634/3238/Martinezraul2017.pdf?sequence=2&isAllowed=y>

MARTÍNEZ, Vanessa; LÓPEZ, Alcides y GÓMEZ, Mónica. Celdas solares sensibilizadas por colorante basadas en TiO₂ modificado con CuO. *Revista de la Sociedad Química del Perú* [en línea]. Julio 2016, n.º 82. [Fecha de consulta: 25 de octubre de 2020]. Disponible en: http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1810-634X2016000300008

ISSN 1810-634X

MICHELOUD, Osvaldo y VICINI, Rommel. Smart Grid: Fundamentos, tecnología y aplicaciones [en línea]. México: CENGAGE Learning, 2012. [Fecha de consulta: 25 de octubre de 2020]. Disponible en: <https://books.google.com.pe/books?id=6XNsiam9hhoC&pg=PA112&dq=películas+delgadas+para+celdas+solares&hl=es&sa=X&ved=2ahUKEwjLkMSc9PjrAhULLLkGHVF5CyQQ6AEwBXoECAgQAg#v=onepage&q=películas%20delgadas%20para%20celdas%20solares&f=false>

ISBN: 9786074817362

MONTAÑEZ, Camila, ESPITIA, Johana, CASTELLANOS, Edwards y CASTILLO, Beatriz. DE VIA, Beatriz. Perfil cromatográfico de flavonoides y quinonas en especies y vegetales *Brassica oleracea var. capitata f. rubra* y *galium sp.* Academia [en línea]. Marzo 2015. [Fecha de consulta: 12 de septiembre de 2020]. Disponible en: https://www.academia.edu/12549925/PERFIL_CROMATOGRAFICO_DE_FLAVONOIDES_Y_QUINONAS_EN_LAS_ESPECIES_VEGETALES_BRASSICA_OLERACEA_VAR

NAMAFOROOSH, Mohammad. Metodología de la investigación. México: Limusa, 2005. 370 pp.

OBI, Kenneth, FROLOVA, Liliya, FUIERER, Paul. Preparation and performance of prickly pear (*Opuntia phaeacantha*) and mulberry (*Morus rubra*) dye-sensitized solar cells. *Solar Energy* [en línea]. Setiembre 2020, n° 208. [Fecha de consulta: 30 de setiembre del 2020]. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0038092X20308380>

OLMEDO, Jorge. Diseño de celdas solares sensibilizadas con tinta N719 empleando electrolitos en gel de red polimérica interpenetrada, a base de poli(anilino-co-fenilendiamina) o polianilina dopados con κ -carragenina. Tesis (Magister en materiales). Chihuahua: Centro de Investigación en Materiales Avanzados Departamento de Postgrado, 2016. Disponible en: <https://cimav.repositorioinstitucional.mx/jspui/bitstream/1004/850/1/Jorge%20Luis%20OImedo%20Mart%C3%ADnez%20MCM.pdf>

OMAR, Azimah, ALI, Mohd y ABDRAHIM, Nasrudin. Electron transport properties analysis of titanium dioxide dye-sensitized solar cells (TiO₂-DSSCs) based natural dyes using electrochemical impedance spectroscopy concept: A review. *Solar Energy* [en línea]. Septiembre 2020, n.º 207. [fecha de consulta:4 de septiembre de 2020]. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0038092X2030760X>

OSINERGMIN. La industria de la energía renovable en el Perú. [en línea]. Perú: Biblioteca Nacional del Perú, 2017 [fecha de consulta: 18 de julio de 2021]. Disponible en: https://www.osinergmin.gob.pe/seccion/centro_documental/Institucional/Estudios_Economicos/Libros/Osinergmin-Energia-Renovable-Peru-10anios.pdf

ISBN: 9786124735028

OTZEN, Tamara y MANTEROLA, Carlos. Técnicas de muestreo sobre una población a Estudio. Scielo [en línea]. 2017. [fecha de consulta:07 de octubre del 2020]. Disponible en: https://scielo.conicyt.cl/scielo.php?pid=S0717-95022017000100037&script=sci_abstract

PATIL, Jyoti [et. al]. Influence of reduced graphene oxide-TiO₂ composite nanofibers in organic indoline DN350 based dye sensitized solar cells. *Synthetic Metals* [en línea]. Octubre 2019. [Fecha de consulta: 4 de noviembre de 2020]. Disponible en: https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0379677919303017?fbclid=IwAR09k_oO-eiDC1Gmagg6IRe49Px0rowtdzqIn8_e537VE4anagOjUPLzCYas

PRAT, Lluís, CALDERER, Josep, ROSELL, Xavier. Laboratorio de electrónica: curso básico. Lima: Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas, 2009 [Fecha de consulta: 18 de octubre del 2020]. Disponible en: <https://www.goodreads.com/book/show/6786279-laboratorio-de-electronica>

PICADO, Ana y ÁLVAREZ, Milton. Química I Introducción al estudio de la materia [en línea]. Costa Rica: Universidad Estatal a Distancia, 2008. [Fecha de consulta: 20 de octubre de 2020]. Disponible en: <https://books.google.com.pe/books?id=mjvKG4BJ0xwC&pg=PA112&dq=que+es+el+espectro+electromagn%C3%A9tico&hl=es&sa=X&ved=2ahUKEwio4Yzw25ntAhVOJrkGHskSCHoQ6AEwCHoEAcQAq#v=onepage&q&f=false>

ISBN: 9789968316262

RAMÍREZ, Alejandra. Análisis y propuestas para la disposición final de paneles solares fotovoltaicos en Colombia. Tesis de pregrado. Colombia, Universidad EIA, Facultad de Ingeniería Ambiental, 2018. Disponible en: https://repository.eia.edu.co/bitstream/11190/2240/1/RamirezAlejandra_2018_AnalisisPropuestasDisposicion.pdf

RAMÍREZ, Miguel. Energía solar fotovoltaica [en línea]. España: *Elearning S.L.*, 2019 [fecha de consulta: 15 de octubre de 2020]. Disponible en: <https://books.google.com.pe/books?id=a3bIDwAAQBAJ&pg=PA17&dq=ramirez+2019+celda+solar&hl=es&sa=X&ved=2ahUKEwj-8Z6vpqjtAhX9E7kGHexnBmMQ6AEwAnoECAAQAg#v=onepage&q=ramirez%202019%20celda%20solar&f=false>

RODRÍGUEZ, Ernesto. Metodología de la investigación. Universidad Juárez Autónoma de Tabasco, 2005, 177pp.

ROSLAN, N; YAACOB, M; RADZI, M; HASHIMOTO, Y; JAMALUDIN, D y CHEN, G. Dye Sensitized Solar Cell (DSSC) greenhouse shading: New insights for solar radiation manipulation. *Renowable and Sustainable Energy Reviews* [en línea]. Septiembre 2018, n. °92. [Fecha de consulta: 10 de octubre de 2020]. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1364032118303204>

SÁNCHEZ, Rocío. Simulación de la actividad del colorante en el proceso de captación de energía en las celdas sensibilizadas. Tesis (Doctor en Ciencias Químicas). España: Universidad de Sevilla, 2010. Disponible en: https://idus.us.es/bitstream/handle/11441/57923/1_T-PROV12.pdf;jsessionid=53707504EFE4EC024C21AFB1AFEE796A?sequence=-1

SALINAS, Florencia; LÓPEZ, Fernanda; VALENCIA, Jesús y CERÓN, Genaro. Preparación y estandarización del extracto de col morada. [en línea]. Mayo, 2015. Disponible en: http://congresos.cio.mx/memorias_congreso_mujer/archivos/extensos/sesion2/S2-BCA19.pdf

SEN, Souvik y GANGULY, Sourav. Opportunities, barriers and issues with renewable energy development-A discussion. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* [en línea]. Setiembre – enero 2017, n. °3. [fecha de consulta:15 de octubre de 2020]. Disponible en: <https://ideas.repec.org/a/eee/reusus/v69y2017icp1170-1181.html>
ISBN: 9788417814663

SIDDICK, Siti, LAI, Chin y JUAN, Joon. An investigation of the dye-sensitized solar cell performance using graphene-titania (TrGO) photoanode with conventional dye and natural green chlorophyll dye. *Materials Science in Semiconductor Processing* [en línea]. Febrero 2018, n° 74. [Fecha de consulta: 26 de octubre del 2020]. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1369800117318796>

SISALIMA, Felipe. Estudio técnico de caracterización física, química y funcional con aplicación al proyecto de norma técnica INEN de col morada (*brassica oleracea capitata f. rubra*). Tesis pregrado. Quito: Universidad Tecnológica equinoccial, Facultad de Ciencias de la Ingeniería, 2009. Disponible en: <http://repositorio.ute.edu.ec/handle/123456789/5181>

SILVA, Raúl. Eficiencia de las células fotovoltaicas nanoestructuradas a base de dióxido de titanio, sensibilizadas con pigmentos nativos peruanos en Chaclacayo. Tesis (Grado de Licenciatura). Universidad César Vallejo, Facultad de ingeniería y arquitectura, 2018, 236 pp.

SOUDI, Najiba., NANAYAKKARa, Sama, JAHED, Navid y NAAHIDI, Sheva. (2020). Rise of nature-inspired solar photovoltaic energy convertors. *Solar Energy*. Setiembre, 2020. [Fecha de consulta: 08 de julio de 2021]. Disponible: <https://doi.org/10.1016/j.solener.2020.07.048>

TARKO, Emiru y DELELE, Ayele (2017). Controlled synthesis, characterization and reduction of graphene oxide: A convenient method for large scale production. *Egyptian Journal of Basic and Applied Sciences*. 2017. [Fecha de consulta: 15 de junio de 2021]. Disponible en: <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1016/j.ejbas.2016.11.002>

TIELROOJ, KJ. [et al.]. Photoexcitation cascade and multiple hot-carrier generation in graphene. *Nature Physics* [en línea]. Febrero 2013. [Fecha de consulta: 5 de septiembre de 2020]. Disponible en: <https://www.nature.com/articles/nphys2564>

VARGAS, Fred. La humanidad en peligro un manifiesto [en línea]. Paris: *Siruela, S.A.*, 2020. [Fecha de consulta: 4 de septiembre de 2020]. Disponible en: https://books.google.com.pe/books?id=0x_gDwAAQBAJ&pg=PT67&dq=beneficios+del+uso+de+celdas+solares+organicas&hl=es&sa=X&ved=2ahUKEwiB4-OQ-P_rAhVjI7kGHcwCDvwQ6wEwBXoECAYQAQ#v=onepage&q=beneficios%20del%20uso%20de%20celdas%20solares%20organicas&f=false

ISBN: 978958714897314

VARGAS, Gloria [et.al]. Photovoltaic energy in South America: Current state and grid regulation for large-scale and distributed photovoltaic systems. *Renewable Energy* [en línea]. Diciembre, 2020. [Fecha de consulta: 29 de junio de 2021]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.renene.2020.08.022>

VEGA, Juan. Principios y aplicaciones de la energía fotovoltaica y las baterías [en línea]. Santiago: Universidad Católica de Chile, 2018. [Fecha de consulta: 20 de octubre de 2020]. Disponible en: <https://books.google.com.pe/books?id=EmqPDwAAQBAJ&printsec=frontcover&dq=energia+fotovoltaica+vega+2018&hl=es&sa=X&ved=2ahUKEwjiYKa0KrtAhV7ITQIHTmeCusQ6AEwAHoECAMQAg#v=onepage&q=energia%20fotovoltaica%20vega%202018&f=false>

ISBN:9789561423565

VELAZCO, Emilio [et al.]. XXI Congreso Nacional de Ingeniería Mecánica [en línea]. España: Universidad Miguel Hernández de Elche, 2016. [Fecha de consulta: 24 de octubre de 2020]. Disponible en: https://books.google.com.pe/books?id=ZqZ0DQAAQBAJ&pg=PA1320&dq=GRAFENO%20PROPIEDADES&hl=es&sa=X&ved=2ahUKEwis6tXDxZHsAhVsK7kGHWaVAIkQ6AEwAXoECAIQAg&fbclid=IwAR3QqEG89NGZMmVVSJ4dxV9zvP6yhaA_NYTJLsvSmOfKzwd3XgMB-xuF9dGk#v=onepage&q=GRAFENO%20PROPIEDADES&f=false

GÁMEZ, Pablo. 27 de octubre de 2020. Disponible en: <https://wildentrepreneur.org/el-dilema-de-los-paneles-solares/>

WYPYCH, George. Graphene: Important Results and Applications [en línea]. Canadá: Chemtec Publishing, 2019. [Fecha de consulta: 19 de octubre del 2020]. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9781927885512500055>
ISBN: 9781927885529

XU, K. (2016). The influence of different modified graphene on property of DSSCs. Applied Surface Science [en línea]. 2016. [Fecha de consulta: 11 de julio del 2021]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.apsusc.2015.09.265#>

ANEXOS

ANEXO 1

MATRIZ DE OPERACIONALIDAD DE VARIABLES

Eficiencia energética a través de DSSC con pigmento del zumo de la semilla de <i>Punica granatum</i> y la hoja de <i>Brassica oleracea var. capitata f. rubra</i>					
VARIABLE	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DEFINICIÓN OPERACIONAL	DIMENSIONES	INDICADORES	ESCALA DE MEDICIÓN/ UNIDAD
<p>Variable Independiente</p> <p>Celdas solares DSSC</p>	<p>“Una celda solar sensibilizada con colorante, es un tipo de celda fotovoltaica, donde el material que absorbe la radiación electromagnética, un colorante orgánico, se encuentra absorbido a otro material el TiO₂ por el cual se propagan los electrones generados” (Armendáriz, <i>et al.</i>, 2014, p.96).</p>	<p>Las celdas solares serán fabricadas a base de óxido de grafeno y TiO₂, sobre un sustrato (polímero plástico) y serán sensibilizadas con pigmentos naturales. El óxido de grafeno será sintetizado a partir de grafito y caracterizado por espectrofotometría UV- visible. Asimismo, los pigmentos serán extraídos del zumo de la semilla de <i>Punica granatum</i> y la hoja</p>	<p>Síntesis y caracterización del óxido de grafeno</p>	<p>Cantidad de grafito</p> <p>Cantidad de H₂SO₄</p> <p>Cantidad de NaNO₃</p> <p>Cantidad de KMnO₄</p> <p>Temperatura</p> <p>Tiempo de sonicación</p> <p>Cantidad de H₂O₂</p> <p>Cantidad de ácido clorhídrico</p> <p>Cantidad de ácido ascórbico</p>	<p>Razón/ (g)</p> <p>Razón /(mL)</p> <p>Razón/(mL)</p> <p>Razón/(mL)</p> <p>Razón /(°C)</p> <p>Razón (h-min)</p> <p>Razón/(mL)</p> <p>Razón/(mL)</p> <p>Razón/(g)</p>

		<i>de Brassica oleracea var. capitata f. rubra.</i>		Espectro de absorción	Razón (nm)
				Morfología de GO sintetizado	Nominal
		<i>de Brassica oleracea var. capitata f. rubra.</i>	Obtención de pigmentos de extracto y zumo de la semilla de <i>Punica granatum</i> y la hoja de <i>Brassica oleracea var. capitata f. rubra</i>	Cantidad de la muestra de <i>Punica granatum</i>	Razón/ (g)
				Cantidad de la muestra de <i>Brassica oleracea var. capitata f. rubra</i>	Razón /(g)
				Tipo de pigmento	Nominal
				Cantidad del disolvente orgánico etanol C ₂ H ₅ OH	Razón/(mL)
				Concentración de la solución	Razón/(g/mL)
				Cantidad de pigmento extraído	Razón/(mL)
		Fabricación de la celda solar	Superficie de la celda	Razón/ (cm ²)	
			Cantidad de óxido de grafeno	Razón/(g)	
			Cantidad de TiO ₂	Razón/(mg)	

				Cantidad de pigmento utilizado	Razón/(mL)
				Tiempo de secado del pigmento (h-min)	Razón/(h-min)
				Cantidad de electrolito utilizado	Razón/(mL)
				Temperatura	Razón/(°C)
				Tiempo de fabricación de la celda	Razón/(h-min)
Variable Dependiente	“La eficiencia energética de una celda solar se define como la relación entre la potencia entregada (Pmax) y la potencia de luz incidente (Pin)” (Kumar, <i>et al.</i> , 2020, p.23).	La eficiencia energética de la celda solar fabricada se determinará considerando el voltaje de circuito abierto, la corriente cortocircuito producida, así como la radiación incidente y la superficie de la celda.	Características de la incidencia energética	Temperatura	Razón/(°C)
Eficiencia energética				Tiempo de exposición a la fuente solar	Razón/(min)
				Superficie	Razón/(cm ²)
				Radiación	Razón/(W/cm ²)
			Medición de parámetros eléctricos para la determinación de eficiencia energética	Voltaje de circuito abierto	Razón/(mV)
				Corriente de cortocircuito	Razón/(mA)
			Densidad de corriente	Razón/(mA/cm ²)	

				Punto Máximo de potencia	Razón (W)
				Factor de llenado	Razón (%)
				Eficiencia	Razón / (%)

FICHA 2. REPORTE DE DATOS PARA LA OBTENCIÓN DE PIGMENTOS

Título	Eficiencia energética a través de DSSC con pigmentos del zumo de la semilla de Punica granatum y la hoja de Brassica oleracea var. capitata f. rubra					
Línea de Investigación	Calidad y Gestión de los Recursos Naturales					
Responsables	Lazo León, Estefany Janin Mora Melo, Ana Paola					
Asesor	Dr. Valverde Flores Jhonny Wilfredo					
Registro de datos						
Nº CELDA	CODIFICACIÓN	CANTIDAD DE MUESTRA (g)	TIPO DE PIGMENTO	CANTIDAD DEL DISOLVENTE ORGÁNICO (mL)	CONCENTRACIÓN DE LA SOLUCIÓN (g/mL)	CANTIDAD DE PIGMENTO EXTRAÍDO (mL)
1						
2						
3						
4						
5						
6						
7						
8						
9						
10						
11						
12						
13						
14						
15						
16						
17						
18						


Dr. Elmer G. Benites Alfaro
 CIP. 71998


Dr. Ing. Carlos Alberto Castañeda Olivares
 DOCENTE E INVESTIGADOR
 CIP: 130267
 RENACYT: P0078275


José Alberto Peralta Mallén
 Ing. Químico - CIP Nº 18871
 Mtro. en Gestión Ambiental
 RENACYT: 01004401-1185-122

FICHA 3. REGISTRO DE DATOS PARA LA FABRICACIÓN DE LAS CELDAS DSSC

TÍTULO		Eficiencia energética a través de DSSC con pigmentos del zumo de la semilla de Punica granatum y la hoja de Brassica oleracea var. capitata f. rubra								
LÍNEA DE INVESTIGACIÓN		Calidad y Gestión de los Recursos Naturales								
RESPONSABLES		Lazo León, Estefany Janin								
		Mora Melo, Ana Paola								
ASESOR		Dr. Valverde Flores, Jhonny Wilfredo								
Nº CELDA	CODIFICACIÓN	SUPERFICIE DEL SUSTRATO (cm ²)	ESPESOR DEL SUSTRATO (mm)	PASTA (g - %p/p) (*)	CANTIDAD DE TiO ₂ (mg)	CANTIDAD DE PIGMENTO UTILIZADO (mL)	TIEMPO DE SECADO DEL PIGMENTO (h)	CANTIDAD DE SOLUCIÓN ELECTROLÍTICA (ml)	TEMPERATURA (°C)	TIEMPO DE FABRICACIÓN DE LA CELDA (h-min)
1	GO1(GO/T)2T1E2P2t3									
2	GO1(GO/T)1T1E1P2t1									
3	GO(GO/T)1T2E1P2t2									
4	GO2(GO/T)1T1E1P2t1									
5	OG2(OG/T)2T1E2P2t2									
6	GO1(GO/T)2T1E1P2t2									
7	GO2(GO/T)1T1E2P1t1									
8	GO1(GO/T)1T1E1P1t1									
9	GO1(GO/T)2T2E2P1t3									
10	GO1(GO/T)2T1E2P1t2									
11	GO1(GO/T)1T2E2P1t3									
12	GO1(GO/T)2T1E1P1t2									
13	GO2(GO/T)2T2E1P3t2									
14	GO1(GO/T)2T2E2P3t3									
15	GO1(GO/T)2T1E1P3t3									
16	GO1(GO/T)2T1E1P3t3									
17	GO1(GO/T)2T1E2P3t2									
18	GO1(GO/T)2T2E2P3t3									


Dr. Elmer G. Benites Alfaro
 CIP. 71998


Dr. Ing. Carlos Alberto Castañeda Olivares
 DOCENTE E INVESTIGADOR
 CIP: 130267
 RENACYT: P0078275


Ing. Químico José Alberto Peredo Muñoz
 CIP: 9871
 RENACYT: P0078275

FICHA 4. REGISTRO DE DATOS OBTENIDOS PARA DETERMINAR LA EFICIENCIA ENERGÉTICA DE LAS CELDAS DSSC												
TÍTULO		Eficiencia energética a través de DSSC con pigmentos del zumo de la semilla de Punica granatum y la hoja de Brassica oleracea var. capitata f. rubra										
LÍNEA DE INVESTIGACIÓN		Calidad y Gestión de los Recursos Naturales										
RESPONSABLES		Lazo León, Estefany Janin Mora Mejo, Ana Paola										
ASESOR		Dr. Valverde Flores, Jhonny Wilfredo										
Nº CELDA	CODIFICACIÓN	TIPO DE FUENTE	PARÁMETROS DE RESPUESTA ENERGÉTICA									
			TIEMPO DE EXPOSICIÓN A LA FUENTE SOLAR (min)	ESPESOR (mm)	SUPERFICIE (cm²)	CORRIENTE CORTOCIRCUITO Isc (mA)	DENSIDAD DE CORRIENTE Jsc (mA/cm²)	VOLTAJE DE CIRCUITO ABIERTO Voc (mV)	IRRADIACIÓN (W/cm²)	PUNTO MÁXIMO DE POTENCIA -(W)	FACTOR DE LLENADO	EFICIENCIA (%)
1	GO1(GO/T)2T1E2P2t3											
2	GO1(GO/T)1T1E1P2t1											
3	GO(GO/T)1T2E1P2t2											
4	GO2(GO/T)1T1E1P2t1											
5	OG2(OG/T)2T1E2P2t2											
6	GO1(GO/T)2T1E1P2t2											
7	GO2(GO/T)1T1E2P1t1											
8	GO1(GO/T)1T1E1P1t1											
9	GO1(GO/T)2T2E2P1t3											
10	GO1(GO/T)2T1E2P1t2											
11	GO1(GO/T)1T2E2P1t3											
12	GO1(GO/T)2T1E1P1t2											
13	GO2(GO/T)2T2E1P3t2											
14	GO1(GO/T)2T2E2P3t3											
15	GO1(GO/T)2T1E1P3t3											
16	GO1(GO/T)2T1E1P3t3											
17	GO1(GO/T)2T1E2P3t2											
18	GO1(GO/T)2T2E2P3t3											


Dr. Elmer G. Benites Alfaro
 CIP. 71998


Dr. Ing. Carlos Alberto Castañeda Olivares
 DOCENTE E INVESTIGADOR
 CIP: 130267
 RENACYT: P0078275


José Alberto Perdomo Meléndez
 Ing. Químico - CIP Nº 18871
 Afiliado al Colegio Químico
 No. de Afiliación: 00004970-1195-432

Anexo 3

VALIDACIÓN DE INSTRUMENTO

I. DATOS GENERALES

- 1.1. Apellidos y Nombres: Benites Alfaro, Elmer Gonzalo
- 1.2. Cargo e institución donde labora: Docente e investigador / UCV Lima Norte
- 1.3. Nombre del instrumento motivo de evaluación: Reporte para la síntesis de óxido de grafeno
- 1.4. Autor(A) de Instrumento: Lazo León, Estefany / Mora Melo, Ana Paola.

II. ASPECTOS DE VALIDACIÓN

CRITERIOS	INDICADORES	INACEPTABLE						MINIMAMENTE ACEPTABLE			ACEPTABLE			
		40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100
1. CLARIDAD	Esta formulado con lenguaje comprensible.											X		
2. OBJETIVIDAD	Esta adecuado a las leyes y principios científicos.											X		
3. ACTUALIDAD	Esta adecuado a los objetivos y las necesidades reales de la investigación.											X		
4. ORGANIZACIÓN	Existe una organización lógica.											X		
5. SUFICIENCIA	Toma en cuenta los aspectos metodológicos esenciales											X		
6. INTENCIONALIDAD	Esta adecuado para valorar las variables de la Hipótesis.											X		
7. CONSISTENCIA	Se respalda en fundamentos técnicos y/o científicos.											X		
8. COHERENCIA	Existe coherencia entre los problemas objetivos, hipótesis, variables e indicadores.											X		
9. METODOLOGÍA	La estrategia responde una metodología y diseño aplicados para lograr probar las hipótesis.											X		
10. PERTINENCIA	El instrumento muestra la relación entre los componentes de la investigación y su											X		

	adecuación al Método Científico.																
--	----------------------------------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--

III. OPINIÓN DE APLICABILIDAD


- El Instrumento cumple con los Requisitos para su aplicación
- El Instrumento no cumple con Los requisitos para su aplicación

SI
-

IV. PROMEDIO DE VALORACIÓN:

90%

Lima, 10 de noviembre del 2020


Dr. Elmer G. Benites Alfaro
CIP. 71998

VALIDACIÓN DE INSTRUMENTO

I. DATOS GENERALES

- 1.1 Apellidos y Nombres: Benites Alfaro, Elmer Gonzalo
- 1.2 Cargo e institución donde labora: Docente e investigador / UCV Lima Norte
- 1.3 Nombre del instrumento motivo de evaluación: Reporte para la obtención de pigmentos.
- 1.4 Autor(A) de Instrumento: Lazo León, Estefany / Mora Melo, Ana Paola.

II. ASPECTOS DE VALIDACIÓN

CRITERIOS	INDICADORES	INACEPTABLE						MINIMAMENTE ACEPTABLE			ACEPTABLE			
		4 0	4 5	5 0	5 5	6 0	6 5	7 0	7 5	8 0	8 5	9 0	9 5	100
1. CLARIDAD	Esta formulado con lenguaje comprensible.											X		
2. OBJETIVIDAD	Esta adecuado a las leyes y principios científicos.											X		
3. ACTUALIDAD	Esta adecuado a los objetivos y las necesidades reales de la investigación.											X		
4. ORGANIZACIÓN	Existe una organización lógica.											X		
5. SUFICIENCIA	Toma en cuenta los aspectos metodológicos esenciales											X		
6. INTENCIONALIDAD	Esta adecuado para valorar las variables de la Hipótesis.											X		
7. CONSISTENCIA	Se respalda en fundamentos técnicos y/o científicos.											X		
8. COHERENCIA	Existe coherencia entre los problemas objetivos, hipótesis, variables e indicadores.											X		
9. METODOLOGÍA	La estrategia responde una metodología y diseño aplicados para lograr probar las hipótesis.											X		
10. PERTINENCIA	El instrumento muestra la relación entre los componentes de la investigación y su adecuación al Método Científico.											X		

III. OPINIÓN DE APLICABILIDAD


- El Instrumento cumple con los Requisitos para su aplicación
- El Instrumento no cumple con Los requisitos para su aplicación

SI
-

90%

IV. PROMEDIO DE VALORACIÓN:

Lima, 10 de noviembre del 2020


Dr. Elmer G. Benites Alfaro
CIP. 71998

VALIDACIÓN DE INSTRUMENTO

I. DATOS GENERALES

- 1.1 Apellidos y Nombres: Benites Alfaro, Elmer Gonzalo
- 1.2 Cargo e institución donde labora: Docente e investigador / UCV Lima Norte
- 1.3 Nombre del instrumento motivo de evaluación: Registro para la fabricación de las celdas DSSC
- 1.4 Autor(A) de Instrumento: Lazo León, Estefany / Mora Melo, Ana Paola.

II. ASPECTOS DE VALIDACIÓN

CRITERIOS	INDICADORES	INACEPTABLE						MINIMAMENTE ACEPTABLE			ACEPTABLE			
		40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100
1. CLARIDAD	Esta formulado con lenguaje comprensible.											X		
2. OBJETIVIDAD	Esta adecuado a las leyes y principios científicos.											X		
3. ACTUALIDAD	Esta adecuado a los objetivos y las necesidades reales de la investigación.											X		
4. ORGANIZACIÓN	Existe una organización lógica.											X		
5. SUFICIENCIA	Toma en cuenta los aspectos metodológicos esenciales											X		
6. INTENCIONALIDAD	Esta adecuado para valorar las variables de la Hipótesis.											X		
7. CONSISTENCIA	Se respalda en fundamentos técnicos y/o científicos.											X		
8. COHERENCIA	Existe coherencia entre los problemas objetivos, hipótesis, variables e indicadores.											X		
9. METODOLOGÍA	La estrategia responde una metodología y diseño aplicados para lograr probar las hipótesis.											X		
10. PERTINENCIA	El instrumento muestra la relación entre los componentes de la investigación y su											X		

	adecuación al Método Científico.																	
--	----------------------------------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--

III. OPINIÓN DE APLICABILIDAD

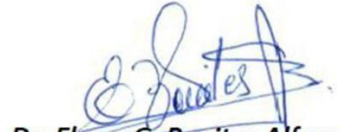
- El Instrumento cumple con los Requisitos para su aplicación
- El Instrumento no cumple con Los requisitos para su aplicación

SI
-

IV. PROMEDIO DE VALORACIÓN:

90%

Lima, 10 de noviembre del 2020


Dr. Elmer G. Benites Alfaro
CIP. 71998

VALIDACIÓN DE INSTRUMENTO

I. DATOS GENERALES

- 1.1 Apellidos y Nombres: Benites Alfaro, Elmer Gonzalo
- 1.2 Cargo e institución donde labora: Docente e investigador / UCV Lima Norte
- 1.3 Nombre del instrumento motivo de evaluación: Registro de datos obtenidos para determinar la eficiencia energética de las celdas DSSC
- 1.4 Autor(A) de Instrumento: Lazo León, Estefany / Mora Melo, Ana Paola.

II. ASPECTOS DE VALIDACIÓN

CRITERIOS	INDICADORES	INACEPTABLE						MINIMAMENTE ACEPTABLE			ACEPTABLE			
		40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100
1. CLARIDAD	Esta formulado con lenguaje comprensible.											X		
2. OBJETIVIDAD	Esta adecuado a las leyes y principios científicos.											X		
3. ACTUALIDAD	Esta adecuado a los objetivos y las necesidades reales de la investigación.											X		
4. ORGANIZACIÓN	Existe una organización lógica.											X		
5. SUFICIENCIA	Toma en cuenta los aspectos metodológicos esenciales											X		
6. INTENCIONALIDAD	Esta adecuado para valorar las variables de la Hipótesis.											X		
7. CONSISTENCIA	Se respalda en fundamentos técnicos y/o científicos.											X		
8. COHERENCIA	Existe coherencia entre los problemas objetivos, hipótesis, variables e indicadores.											X		
9. METODOLOGÍA	La estrategia responde una metodología y diseño aplicados para lograr probar las hipótesis.											X		
10. PERTINENCIA	El instrumento muestra la relación entre los componentes de la investigación y su											X		

	adecuación al Método Científico.														
--	----------------------------------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--

III. OPINIÓN DE APLICABILIDAD

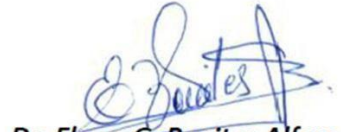
- El Instrumento cumple con los Requisitos para su aplicación
- El Instrumento no cumple con Los requisitos para su aplicación

SI
-

IV. PROMEDIO DE VALORACIÓN:

90%

Lima, 10 de noviembre del 2020


Dr. Elmer G. Benites Alfaro
CIP. 71998

Anexo 3

VALIDACIÓN DE INSTRUMENTO

I. DATOS GENERALES

- 1.1 Apellidos y Nombres: Castañeda Olivera, Carlos Alberto.
- 1.2 Cargo e institución donde labora: Docente e investigador / UCV Lima Norte.
- 1.3 Especialidad o línea de investigación: Tecnología Mineral y Ambiental.
- 1.4 Nombre del instrumento motivo de evaluación: Reporte de datos para la síntesis de óxido de grafeno
- 1.5 Autor(A) de Instrumento: Lazo León, Estefany / Mora Melo, Ana Paola.

II. ASPECTOS DE VALIDACIÓN

CRITERIOS	INDICADORES	INACEPTABLE						MINIMAMENTE ACEPTABLE			ACEPTABLE			
		40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100
1. CLARIDAD	Esta formulado con lenguaje comprensible.											X		
2. OBJETIVIDAD	Esta adecuado a las leyes y principios científicos.											X		
3. ACTUALIDAD	Esta adecuado a los objetivos y las necesidades reales de la investigación.											X		
4. ORGANIZACIÓN	Existe una organización lógica.											X		
5. SUFICIENCIA	Toma en cuenta los aspectos metodológicos esenciales											X		
6. INTENCIONALIDAD	Esta adecuado para valorar las variables de la Hipótesis.											X		
7. CONSISTENCIA	Se respalda en fundamentos técnicos y/o científicos.											X		
8. COHERENCIA	Existe coherencia entre los problemas objetivos, hipótesis, variables e indicadores.											X		
9. METODOLOGÍA	La estrategia responde una metodología y diseño aplicados para lograr probar las hipótesis.											X		
10. PERTINENCIA	El instrumento muestra la relación entre los componentes de la investigación y su											X		

	adecuación al Método Científico.														
--	----------------------------------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--

III. OPINIÓN DE APLICABILIDAD

- El Instrumento cumple con los Requisitos para su aplicación
- El Instrumento no cumple con Los requisitos para su aplicación

SI
-

90%

IV. PROMEDIO DE VALORACIÓN:

Lima, 10 de noviembre del 2020



Dr. Ing. Carlos Alberto Castañeda Olivera
 DOCENTE E INVESTIGADOR
 CIP: 130267
 RENACYT: P0078275

VALIDACIÓN DE INSTRUMENTO

I. DATOS GENERALES

- 1.1 Apellidos y Nombres: Castañeda Olivera, Carlos Alberto.
 1.2 Cargo e institución donde labora: Docente e investigador / UCV Lima Norte.
 1.3 Especialidad o línea de investigación: Tecnología Mineral y Ambiental.
 1.4 Nombre del instrumento motivo de evaluación: Reporte de datos para la obtención de pigmentos.
 1.5 Autor(A) de Instrumento: Lazo León, Estefany / Mora Melo, Ana Paola.

II. ASPECTOS DE VALIDACIÓN

CRITERIOS	INDICADORES	INACEPTABLE						MINIMAMENTE ACEPTABLE			ACEPTABLE			
		4 0	4 5	5 0	5 5	6 0	6 5	7 0	7 5	8 0	8 5	9 0	9 5	100
1. CLARIDAD	Esta formulado con lenguaje comprensible.											X		
2. OBJETIVIDAD	Esta adecuado a las leyes y principios científicos.											X		
3. ACTUALIDAD	Esta adecuado a los objetivos y las necesidades reales de la investigación.											X		
4. ORGANIZACIÓN	Existe una organización lógica.											X		
5. SUFICIENCIA	Toma en cuenta los aspectos metodológicos esenciales											X		
6. INTENCIONALIDAD	Esta adecuado para valorar las variables de la Hipótesis.											X		
7. CONSISTENCIA	Se respalda en fundamentos técnicos y/o científicos.											X		
8. COHERENCIA	Existe coherencia entre los problemas objetivos, hipótesis, variables e indicadores.											X		
9. METODOLOGÍA	La estrategia responde una metodología y diseño aplicados para lograr probar las hipótesis.											X		
10. PERTINENCIA	El instrumento muestra la relación entre los componentes de la investigación y su											X		

	adecuación al Método Científico.														
--	----------------------------------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--

III. OPINIÓN DE APLICABILIDAD

- El Instrumento cumple con los Requisitos para su aplicación
- El Instrumento no cumple con Los requisitos para su aplicación

SI
-

90%

IV. PROMEDIO DE VALORACIÓN:

Lima, 10 de noviembre del 2020



Dr. Ing. Carlos Alberto Castañeda Olivera
 DOCENTE E INVESTIGADOR
 CIP: 130267
 RENACYT: P0078275

VALIDACIÓN DE INSTRUMENTO

I. DATOS GENERALES

- 1.1 Apellidos y Nombres: Castañeda Olivera, Carlos Alberto.
- 1.2 Cargo e institución donde labora: Docente e investigador / UCV Lima Norte
- 1.3 Especialidad o línea de investigación: Tecnología Mineral y Ambiental.
- 1.4 Nombre del instrumento motivo de evaluación: Registro de datos para la fabricación de las celdas DSSC
- 1.5 Autor(A) de Instrumento: Lazo León, Estefany / Mora Melo, Ana Paola.

II. ASPECTOS DE VALIDACIÓN

CRITERIOS	INDICADORES	INACEPTABLE						MINIMAMENTE ACEPTABLE			ACEPTABLE			
		4 0	4 5	5 0	5 5	6 0	6 5	7 0	7 5	8 0	8 5	9 0	9 5	100
1. CLARIDAD	Esta formulado con lenguaje comprensible.											X		
2. OBJETIVIDAD	Esta adecuado a las leyes y principios científicos.											X		
3. ACTUALIDAD	Esta adecuado a los objetivos y las necesidades reales de la investigación.											X		
4. ORGANIZACIÓN	Existe una organización lógica.											X		
5. SUFICIENCIA	Toma en cuenta los aspectos metodológicos esenciales											X		
6. INTENCIONALIDAD	Esta adecuado para valorar las variables de la Hipótesis.											X		
7. CONSISTENCIA	Se respalda en fundamentos técnicos y/o científicos.											X		
8. COHERENCIA	Existe coherencia entre los problemas objetivos, hipótesis, variables e indicadores.											X		
9. METODOLOGÍA	La estrategia responde una metodología y diseño aplicados para lograr probar las hipótesis.											X		
10. PERTINENCIA	El instrumento muestra la relación entre los componentes de la investigación y su adecuación al Método Científico.											X		

III. OPINIÓN DE APLICABILIDAD

- El Instrumento cumple con los Requisitos para su aplicación
- El Instrumento no cumple con Los requisitos para su aplicación

SI
-

IV. PROMEDIO DE VALORACIÓN:

90%

Lima, 10 de noviembre del 2020



Dr. Ing. Carlos Alberto Castañeda Olivera
DOCENTE E INVESTIGADOR
CIP: 130267
RENACYT: P0078275

VALIDACIÓN DE INSTRUMENTO

I. DATOS GENERALES

- 1.1 Apellidos y Nombres: Castañeda Olivera, Carlos Alberto.
- 1.2 Cargo e institución donde labora: Docente e investigador / UCV Lima Norte.
- 1.3 Especialidad o línea de investigación: Tecnología Mineral y Ambiental.
- 1.4 Nombre del instrumento motivo de evaluación: Registro de datos obtenidos para determinar la eficiencia energética de las celdas DSSC
- 1.5 Autor(A) de Instrumento: Lazo León, Estefany / Mora Melo, Ana Paola.

II. ASPECTOS DE VALIDACIÓN

CRITERIOS	INDICADORES	INACEPTABLE						MINIMAMENTE ACEPTABLE			ACEPTABLE			
		40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100
1. CLARIDAD	Esta formulado con lenguaje comprensible.											X		
2. OBJETIVIDAD	Esta adecuado a las leyes y principios científicos.											X		
3. ACTUALIDAD	Esta adecuado a los objetivos y las necesidades reales de la investigación.											X		
4. ORGANIZACIÓN	Existe una organización lógica.											X		
5. SUFICIENCIA	Toma en cuenta los aspectos metodológicos esenciales											X		
6. INTENCIONALIDAD	Esta adecuado para valorar las variables de la Hipótesis.											X		
7. CONSISTENCIA	Se respalda en fundamentos técnicos y/o científicos.											X		
8. COHERENCIA	Existe coherencia entre los problemas objetivos, hipótesis, variables e indicadores.											X		
9. METODOLOGÍA	La estrategia responde una metodología y diseño aplicados para lograr probar las hipótesis.											X		
10. PERTINENCIA	El instrumento muestra la relación entre los componentes											X		

	de la investigación y su adecuación al Método Científico.														
--	-----------------------------------------------------------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--

III. OPINIÓN DE APLICABILIDAD

- El Instrumento cumple con los Requisitos para su aplicación
- El Instrumento no cumple con Los requisitos para su aplicación

SI
-

IV. PROMEDIO DE VALORACIÓN:

90%

Lima, 10 de noviembre del 2020



Dr. Ing. Carlos Alberto Castañeda Olivera
 DOCENTE E INVESTIGADOR
 CIP: 130267
 RENACYT: P0078275

VALIDACIÓN DE INSTRUMENTO

V. DATOS GENERALES

5.1. Apellidos y Nombres: Peralta Medina, Juan Alberto

5.2. Cargo e institución donde labora: Docente e investigador / UCV Lima Norte

5.3. Nombre del instrumento motivo de evaluación: Reporte de datos para la síntesis de óxido de grafeno

5.4. Autor(A) de Instrumento: Lazo León, Estefany / Mora Melo, Ana Paola.

VI. ASPECTOS DE VALIDACIÓN

CRITERIOS	INDICADORES	INACEPTABLE						MINIMAMENTE ACEPTABLE			ACEPTABLE			
		40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100
1. CLARIDAD	Esta formulado con lenguaje comprensible.											X		
2. OBJETIVIDAD	Esta adecuado a las leyes y principios científicos.											X		
3. ACTUALIDAD	Esta adecuado a los objetivos y las necesidades reales de la investigación.											X		
4. ORGANIZACIÓN	Existe una organización lógica.											X		
5. SUFICIENCIA	Toma en cuenta los aspectos metodológicos esenciales											X		
6. INTENCIONALIDAD	Esta adecuado para valorar las variables de la Hipótesis.											X		
7. CONSISTENCIA	Se respalda en fundamentos técnicos y/o científicos.											X		
8. COHERENCIA	Existe coherencia entre los problemas objetivos, hipótesis, variables e indicadores.											X		
9. METODOLOGÍA	La estrategia responde una metodología y diseño aplicados para lograr probar las hipótesis.											X		
10. PERTINENCIA	El instrumento muestra la relación entre los componentes de la investigación y su											X		

	adecuación al Método Científico.														
--	----------------------------------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--

VII. OPINIÓN DE APLICABILIDAD

- El Instrumento cumple con los Requisitos para su aplicación
- El Instrumento no cumple con Los requisitos para su aplicación

SI
-

90%

VIII. PROMEDIO DE VALORACIÓN:

Lima, 16 de noviembre del 2020



Juan Alberto Perain Medina
 Ing. Químico - CIP Nº 56871
 Mtro. en Gestión Ambiental
 OFICINA 0000-0001-8145-1652

VALIDACIÓN DE INSTRUMENTO

V. DATOS GENERALES

- 1.5 Apellidos y Nombres: Peralta Medina, Juan Alberto
- 1.6 Cargo e institución donde labora: Docente e investigador / UCV Lima Norte
- 1.7 Nombre del instrumento motivo de evaluación: Reporte de datos para la obtención de pigmentos.
- 1.8 Autor(A) de Instrumento: Lazo León, Estefany / Mora Melo, Ana Paola.

VI. ASPECTOS DE VALIDACIÓN

CRITERIOS	INDICADORES	INACEPTABLE						MINIMAMENTE ACEPTABLE			ACEPTABLE			
		40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100
1. CLARIDAD	Esta formulado con lenguaje comprensible.											X		
2. OBJETIVIDAD	Esta adecuado a las leyes y principios científicos.											X		
3. ACTUALIDAD	Esta adecuado a los objetivos y las necesidades reales de la investigación.											X		
4. ORGANIZACIÓN	Existe una organización lógica.											X		
5. SUFICIENCIA	Toma en cuenta los aspectos metodológicos esenciales											X		
6. INTENCIONALIDAD	Esta adecuado para valorar las variables de la Hipótesis.											X		
7. CONSISTENCIA	Se respalda en fundamentos técnicos y/o científicos.											X		
8. COHERENCIA	Existe coherencia entre los problemas objetivos, hipótesis, variables e indicadores.											X		
9. METODOLOGÍA	La estrategia responde una metodología y diseño aplicados para lograr probar las hipótesis.											X		
10. PERTINENCIA	El instrumento muestra la relación entre los componentes de la investigación y su											X		

	adecuación al Método Científico.																		
--	----------------------------------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--

VII. OPINIÓN DE APLICABILIDAD

- El Instrumento cumple con los Requisitos para su aplicación
- El Instrumento no cumple con Los requisitos para su aplicación

SI
-

VIII. PROMEDIO DE VALORACIÓN:

90%

Lima, 16 de noviembre del 2020


Juan Alberto Perain Medina
 Ing. Químico - CIP Nº 96871
 Mtro. en Gestión Ambiental
 O.P.C.I.D. Nº 0000-0001-8145-1652

VALIDACIÓN DE INSTRUMENTO

V. DATOS GENERALES

- 1.5 Apellidos y Nombres: Peralta Medina, Juan Alberto
 1.6 Cargo e institución donde labora: Docente e investigador / UCV Lima Norte
 1.7 Nombre del instrumento motivo de evaluación: Registro de datos para la fabricación de las celdas DSSC
 1.8 Autor(A) de Instrumento: Lazo León, Estefany / Mora Melo, Ana Paola.

VI. ASPECTOS DE VALIDACIÓN

CRITERIOS	INDICADORES	INACEPTABLE						MINIMAMENTE ACEPTABLE			ACEPTABLE			
		40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100
1. CLARIDAD	Esta formulado con lenguaje comprensible.											X		
2. OBJETIVIDAD	Esta adecuado a las leyes y principios científicos.											X		
3. ACTUALIDAD	Esta adecuado a los objetivos y las necesidades reales de la investigación.											X		
4. ORGANIZACIÓN	Existe una organización lógica.											X		
5. SUFICIENCIA	Toma en cuenta los aspectos metodológicos esenciales											X		
6. INTENCIONALIDAD	Esta adecuado para valorar las variables de la Hipótesis.											X		
7. CONSISTENCIA	Se respalda en fundamentos técnicos y/o científicos.											X		
8. COHERENCIA	Existe coherencia entre los problemas objetivos, hipótesis, variables e indicadores.											X		
9. METODOLOGÍA	La estrategia responde una metodología y diseño aplicados para lograr probar las hipótesis.											X		
10. PERTINENCIA	El instrumento muestra la relación entre los componentes de la investigación y su											X		

	adecuación al Método Científico.														
--	----------------------------------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--

VII. OPINIÓN DE APLICABILIDAD

- El Instrumento cumple con los Requisitos para su aplicación
- El Instrumento no cumple con Los requisitos para su aplicación

SI
-

VIII. PROMEDIO DE VALORACIÓN:

90%

Lima, 16 de noviembre del 2020

Juan Alberto Perain Medina
 Juan Alberto Perain Medina
 Ing. Químico - CIP Nº 56871
 Mtro. en Gestión Ambiental
 OFICINA 0000-0001-8145-1652

VALIDACIÓN DE INSTRUMENTO

V. DATOS GENERALES

- 1.6 Apellidos y Nombres: Peralta Medina, Juan Alberto
 1.7 Cargo e institución donde labora: Docente e investigador / UCV Lima Norte
 1.8 Nombre del instrumento motivo de evaluación: Registro de datos obtenidos para determinar la eficiencia energética de las celdas DSSC
 1.9 Autor(A) de Instrumento: Lazo León, Estefany / Mora Melo, Ana Paola.

VI. ASPECTOS DE VALIDACIÓN

CRITERIOS	INDICADORES	INACEPTABLE						MINIMAMENTE ACEPTABLE			ACEPTABLE			
		40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100
1. CLARIDAD	Esta formulado con lenguaje comprensible.											X		
2. OBJETIVIDAD	Esta adecuado a las leyes y principios científicos.											X		
3. ACTUALIDAD	Esta adecuado a los objetivos y las necesidades reales de la investigación.											X		
4. ORGANIZACIÓN	Existe una organización lógica.											X		
5. SUFICIENCIA	Toma en cuenta los aspectos metodológicos esenciales											X		
6. INTENCIONALIDAD	Esta adecuado para valorar las variables de la Hipótesis.											X		
7. CONSISTENCIA	Se respalda en fundamentos técnicos y/o científicos.											X		
8. COHERENCIA	Existe coherencia entre los problemas objetivos, hipótesis, variables e indicadores.											X		
9. METODOLOGÍA	La estrategia responde una metodología y diseño aplicados para lograr probar las hipótesis.											X		
10. PERTINENCIA	El instrumento muestra la relación entre los componentes de la investigación y su											X		

	adecuación al Método Científico.																		
--	----------------------------------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--

VII. OPINIÓN DE APLICABILIDAD

- El Instrumento cumple con los Requisitos para su aplicación
- El Instrumento no cumple con Los requisitos para su aplicación

SI
-

90%

VIII. PROMEDIO DE VALORACIÓN:

Lima, 16 de noviembre del 2020


 Juan Alberto Peralta Medina
 Ing. Químico - CIP Nº 96871
 Miro. en Gestión Ambiental
 OFICINA 0000-0001-8145-1652

Anexo 4

NORMALIDAD

Debido a que cantidad de muestra fue menor a 30, se realiza la prueba de Shapiro-Wilk para evaluar la normalidad mediante las siguientes hipótesis:

Hipótesis Nula: (H_0): Los datos son normales.

Hipótesis Alternativa (H_1): Los datos no son normales

Si la significancia presenta un valor superior a 0.05 se aprueba la hipótesis nula.

Prueba de normalidad del voltaje de las DSSC

	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
PRE PRUEBA	,211	18	,033	,888	18	,036
POST PRUEBA	,174	18	,154	,944	18	,336

a. Corrección de la significación de Lilliefors

De acuerdo a los resultados de la tabla anterior, la significancia es superior a 0.05 por tanto, se acepta la hipótesis nula determinando que los datos son normales.

PRUEBA DE T STUDENT

Debido a que los datos siguen una distribución normal se utilizó la prueba paramétrica T de Student para muestras independientes mediante las siguientes hipótesis:

Hipótesis Nula: (H_0): Los datos son homogéneas.

Hipótesis Alternativa (H_1): Los datos no son homogéneas.

Si la significancia presenta un valor superior a 0.05 se aprueba la hipótesis nula.

Estadísticos de muestras relacionadas

		Media	N	Desviación típ.	Error típ. de la media
Par 1	PRE PRUEBA	521,5556	18	105,16386	24,78736
	POST PRUEBA	547,0556	18	82,76506	19,50791

Prueba de muestras relacionadas

		Diferencias relacionadas				t	gl	Sig. (bilateral)	
		Media	Desviación típ.	Error típ. de la media	95% Intervalo de confianza para la diferencia				
					Inferior	Superior			
Par 1	PRE PRUEBA - POST PRUEBA	-25,500	79,25480	18,68054	-64,91249	13,91249	-1,365	17	,190

De acuerdo a la tabla anterior se determina que la significancia presenta un valor superior a 0.05 por tanto se aprueba la hipótesis nula.



UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

**FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL**

Declaratoria de Autenticidad del Asesor

Yo, VALVERDE FLORES JHONNY WILFREDO, docente de la FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA de la escuela profesional de INGENIERÍA AMBIENTAL de la UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO SAC - LIMA NORTE, asesor de Tesis titulada: "EFICIENCIA ENERGÉTICA A TRAVÉS DE DSSC CON PIGMENTOS DEL ZUMO DE LA SEMILLA DE PUNICA GRANATUM Y LA HOJA DE BRASSICA OLERACEA VAR. CAPITATA F. RUBRA", cuyos autores son LAZO LEON ESTEFANY JANIN, MORA MELO ANA PAOLA, constato que la investigación tiene un índice de similitud de 9.00%, verificable en el reporte de originalidad del programa Turnitin, el cual ha sido realizado sin filtros, ni exclusiones.

He revisado dicho reporte y concluyo que cada una de las coincidencias detectadas no constituyen plagio. A mi leal saber y entender la Tesis cumple con todas las normas para el uso de citas y referencias establecidas por la Universidad César Vallejo.

En tal sentido, asumo la responsabilidad que corresponda ante cualquier falsedad, ocultamiento u omisión tanto de los documentos como de información aportada, por lo cual me someto a lo dispuesto en las normas académicas vigentes de la Universidad César Vallejo.

LIMA, 15 de Octubre del 2022

Apellidos y Nombres del Asesor:	Firma
VALVERDE FLORES JHONNY WILFREDO DNI: 18120253 ORCID: 0000-0003-2526-112X	Firmado electrónicamente por: VALVERDE el 15-10- 2022 00:09:47

Código documento Trilce: TRI - 0434725