



**UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO**

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

**Generación de energía eléctrica en celdas fotovoltaicas con base  
de dióxido de titanio y bórax, Lima.**

**TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE:  
INGENIERO AMBIENTAL**

**AUTORES:**

Bedregal Gallego, Juan Francisco (ORCID: 0000-0003-4001-723X)

Chamana Mallma, Isidro Gabriel (ORCID: 0000-0003-3556-7229)

**ASESOR:**

Dr. Valverde Flores, Jhonny Wilfredo (ORCID: 0000-0023-2526-112X)

**LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:**

Calidad y Gestión de los recursos naturales

**LIMA – PERÚ**

**2020**

## **DEDICATORIA**

La concepción de esta investigación se encuentra dedicada a nuestras madres, soporte fundamental en nuestra vida. Sin ellas, no hubiésemos podido conseguir lo que hasta ahora hemos logrado. Su brega incansable ha hecho de ellas el gran ejemplo a seguir y valorar.

## **AGRADECIMIENTO**

Agradecemos a cada uno de los que forman parte de nuestra familia en particular a nuestras madres por su apoyo incondicional siempre. A todos los profesores por compartir sus conocimientos y experiencias a lo largo de éste transitar y que nos han guiado hasta donde estamos ahora. Y en especial a nuestro asesor de tesis y a la Universidad César Vallejo, que nos ha cobijado en todo el proceso de nuestra formación académica.

## Índice de contenidos

DEDICATORIA .....	ii
AGRADECIMIENTO .....	iii
Índice de contenidos .....	iv
Índice de tablas.....	v
Índice de figuras .....	vii
ÍNDICE DE ABREVIATURAS.....	ix
RESÚMEN.....	x
ABSTRACT .....	xi
I. INTRODUCCIÓN.....	1
II. MARCO TEÓRICO.....	4
III. METODOLOGÍA .....	12
IV. RESULTADOS.....	31
IV. DISCUSIÓN.....	80
V. CONCLUSIONES.....	84
VI. RECOMENDACIONES.....	85
REFERENCIAS .....	86
ANEXOS .....	95

## Índice de tablas

Tabla 1. Sintetizado de celdas .....	23
Tabla 2. Medición de voltaje por cada celda sintetizada.....	27
Tabla 3. Datos en el registro de pesaje .....	28
Tabla 4. Masas ideales.....	28
Tabla 5. Volumen o Masa de elementos, según la celda par .....	31
Tabla 6. Ficha de registro en el desarrollo de las celdas fotovoltaicas con base en dióxido de titanio y bórax. ....	32
Tabla 7. Medición de parámetros en una conexión circuito por medio de celdas .....	33
Tabla 8. Ficha de recolección de datos en la celda fotovoltaica 1 .....	34
Tabla 9. Ficha de recolección de datos en la celda fotovoltaica 2 .....	35
Tabla 10. Ficha de recolección de datos en la celda fotovoltaica 3 .....	37
Tabla 11. Ficha de recolección de datos en la celda fotovoltaica 4 .....	38
Tabla 12. Ficha de recolección de datos en la celda fotovoltaica 5.....	40
Tabla 13. Ficha de recolección de datos en la celda fotovoltaica 6 .....	41
Tabla 14. Estadísticos descriptivos para la Celda fotovoltaica 1 Voltaje (mV).....	43
Tabla 15. Estadísticos descriptivos para la celda fotovoltaica 1 amperaje .....	44
Tabla 16. Estadísticos descriptivos para la celda fotovoltaica 1 potencia.....	44
Tabla 17. Estadísticos descriptivos para la celda fotovoltaica 1 irradiación .....	45
Tabla 18. Estadísticos descriptivos para la celda fotovoltaica 2 voltaje (mV) .....	46
Tabla 19. Estadísticos descriptivos para la celda fotovoltaica 2 amperaje .....	46
Tabla 20. Estadísticos descriptivos para la celda fotovoltaica 2 potencia.....	47
Tabla 21. Estadísticos descriptivos para la celda fotovoltaica 2 irradiación .....	48
Tabla 22. Estadísticos descriptivos para la celda fotovoltaica 3 voltaje (mV) .....	48
Tabla 23. Estadísticos descriptivos para la celda fotovoltaica 3 amperaje .....	49
Tabla 24. Estadísticos descriptivos para la celda fotovoltaica 3 potencia.....	50
Tabla 25. Estadísticos descriptivos para la Celda fotovoltaica 3 irradiación .....	50
Tabla 26. Estadísticos descriptivos para la celda fotovoltaica 4 voltaje (mV) .....	51
Tabla 27. Estadísticos descriptivos para la celda fotovoltaica 4 amperaje .....	52
Tabla 28. Estadísticos descriptivos para la celda fotovoltaica 4 potencia.....	52
Tabla 29. Estadísticos descriptivos para la celda fotovoltaica 4 irradiación .....	53
Tabla 30. Estadísticos descriptivos para la celda fotovoltaica 5 voltaje (mV) .....	54
Tabla 31. Estadísticos descriptivos para la celda fotovoltaica 5 amperaje .....	54
Tabla 32. Estadísticos descriptivos para la celda fotovoltaica 5 amperaje .....	55
Tabla 33. Estadísticos descriptivos para la Celda fotovoltaica 5 Irradiación .....	56
Tabla 34. Estadísticos descriptivos para la Celda fotovoltaica 6 Voltaje (mV) .....	56
Tabla 35. Estadísticos descriptivos para la Celda fotovoltaica 6 Amperaje.....	57
Tabla 36. Estadísticos descriptivos para la Celda fotovoltaica 6 Potencia .....	58
Tabla 37. Estadísticos descriptivos para la Celda fotovoltaica 6 Irradiación .....	58
Tabla 38. Distribución por días Voltaje C1 .....	59
Tabla 39. Distribución por días Amperaje C1 .....	60

Tabla 40. Distribución por días Potencia C1 .....	60
Tabla 41. Distribución por días Irradiación C1 .....	61
Tabla 42. Distribución por días Voltaje C2 .....	62
Tabla 43. Distribución por días Amperaje C2 .....	63
Tabla 44. Distribución por días Potencia C2.....	63
Tabla 45. Distribución por días irradiación C2 .....	64
Tabla 46. Distribución por días voltaje C3.....	65
Tabla 47. Distribución por días Amperaje C3 .....	66
Tabla 48. Distribución por días Potencia C3.....	66
Tabla 49. Distribución por días irradiación C3.....	67
Tabla 50. Distribución por días voltaje C4.....	68
Tabla 51. Distribución por días Amperaje C4 .....	69
Tabla 52. Distribución por días Potencia C4.....	69
Tabla 53. Distribución por días irradiación C4.....	70
Tabla 54. Distribución por días Voltaje C5 .....	71
Tabla 55. Distribución por días Amperaje C5 .....	71
Tabla 56. Distribución por días Potencia C5.....	72
Tabla 57. Distribución por días irradiación C5.....	73
Tabla 58. Distribución por días Voltaje C6 .....	74
Tabla 59. Distribución por días Amperaje C6 .....	75
Tabla 60. Distribución por días Potencia C6.....	75
Tabla 61. Distribución por días irradiación C6.....	76
Tabla 62. Prueba de normalidad para la celda C3.....	77
Tabla 63. Prueba de normalidad para la celda C4.....	78
Tabla 64. Prueba T – Student entre las celdas C3 y C4.....	79

## Índice de figuras

Figura 1. Diagrama de un sistema fotovoltaico. Extraído de González (2018) .....	8
Figura 2. Conexión de la red eléctrica con el panel solar. Extraído de González (2018) ...	8
Figura 3. Estructura de la celda fotovoltaica. Extraído de González (2018) .....	9
Figura 4. Diseño de Investigación Pre-Experimental. Extraído de Hernández Fernández y Baptista (2014) .....	12
Figura 5. Curvas características IV y PV por una célula de silicio cristalino. En ella se observa la posición del punto de máxima potencia (MPP). Extraído de Moro (2018) .....	13
Figura 6. Butóxido de Titanio .....	17
Figura 7. Micas de $5.5 \times 10^{-4} \times 8.5 \times 10^{-4}$ m y $1 \times 10^{-3}$ m de espesor.....	18
Figura 8. Medidor de Luz Ultravioleta SP-82UV .....	18
Figura 9. Multímetro o Multitester PR-75 series .....	19
Figura 10. Bórax (50g) .....	19
Figura 11. Se pesó Bórax 2g .....	21
Figura 12. Se pesó Bórax y $\text{TiO}_2$ 4g.....	21
Figura 13. Se pesó Bórax y $\text{TiO}_2$ 6g.....	22
Figura 14. Se pesó Bórax y $\text{TiO}_2$ 8g.....	22
Figura 15. Se pesó $\text{TiO}_2$ 12g.....	22
Figura 16. Se pesó $\text{TiO}_2$ 16g.....	23
Figura 17. Se pesó Yoduro de Potasio KI 4g .....	23
Figura 18. Se colocó reactivos dentro del pírex en porción de 1 a 2 .....	24
Figura 19. Dichos reactivos dentro del pírex en porción de 1 a 2 dejándose enfriar.....	24
Figura 20. Se mezcló KI 4g con agua ionizada (4 mL) en un recipiente .....	25
Figura 21. Se aplicó de la mezcla de KI con agua ionizada sobre las micas emparejadas.....	25
Figura 22. Se selló las micas emparejadas con ayuda de una tela y plancha .....	26
Figura 23. Celda 1 Voltaje .....	59
Figura 24. Celda 1 Amperaje .....	60
Figura 25. Celda 1 Potencia.....	61
Figura 26. Celda 1 irradiación .....	61
Figura 27. Celda 2 Voltaje .....	62
Figura 28. Celda 2 Amperaje .....	63
Figura 29. Celda 2 Potencia.....	64
Figura 30. Celda 2 irradiación .....	64

Figura 31. Celda 3 Voltaje .....	65
Figura 32. Celda 3 Amperaje .....	66
Figura 33. Celda 3 Potencia.....	67
Figura 34. Celda 3 irradiación .....	67
Figura 35. Celda 4 Voltaje .....	68
Figura 36. Celda 4 amperaje.....	69
Figura 37. Celda 4 potencia .....	70
Figura 38. Celda 4 irradiación .....	70
Figura 39. Celda 5 voltaje .....	71
Figura 40. Celda 5 amperaje.....	72
Figura 41. Celda 5 potencia .....	73
Figura 42. Celda 5 irradiación .....	73
Figura 43. Celda 6 voltaje .....	74
Figura 44. Celda 6 amperaje.....	75
Figura 45. Celda 6 potencia .....	76
Figura 43. Celda 6 irradiación .....	76



## ÍNDICE DE ABREVIATURAS

*TwH.* Teravatios por hora

*GwH.* Gigavatios por hora

*KwH.* Kilovatios por hora

*W.* vatios

*Cm<sup>2</sup>.* Centímetros al cuadrado

*eV.* Electronvoltio

*μm.* Micras

*TiO<sub>2</sub>.* Dióxido de Titanio

*ZnO.* Óxido de Cinc

*H<sub>2</sub>O.* Agua

*CO<sub>2</sub>.* Dióxido de carbono

*°C.* Grados centígrados

*Gpa.* Giga pascal

*K.* Grados Kelvin

*kt.* Nudos

*mm.* milímetros

*FV.* Fotovoltaico

## RESUMEN

El objetivo del estudio se centró en determinar la generación de energía eléctrica mediante celdas fotovoltaicas a base de dióxido de titanio y bórax, Lima. Para lo cual se estableció una metodología de tipo aplicada, preexperimental de medición única, cuya población y muestra estuvo comprendida por la elaboración de un total de seis (06) prototipos de celdas fotovoltaicas marcadas con los códigos (C1, C2, C3, C4, C5 Y C6), a base de dióxido de Titanio ( $TiO_2$ ) y bórax a través de la técnica de deposición química de vapor casero asistido por microondas, exponiéndolas a un rango de cinco horas continuas de radiación solar para la generación de la electricidad y con ello medir la eficiencia. Los resultados fueron los siguientes: Efectivamente las celdas fotovoltaicas a base de dióxido de titanio y bórax generan energía eléctrica, lo que llevó a aceptar la hipótesis alterna enunciada en este trabajo de investigación. Así mismo, se determinó que las celdas asignadas como C3 y C4 mostraron los mejores resultados al momento de realizar la prueba. Se recomendó realizar más trabajos que conlleven a ampliar lo analizado en este estudio.

**Palabras claves:** Celdas fotovoltaicas, Dióxido de Titanio, Bórax, Energía eléctrica, Generación.

## ABSTRACT

The objective of the study is to determine the generation of electrical energy by means of photovoltaic cells based on titanium dioxide and borax, Lima. To this end, an applied, pre-experimental methodology of unique measurement was established, whose population and sample is comprised of the elaboration of a total of six (06) prototypes of photovoltaic cells marked with the codes (C1, C2, C3, C4, C5 and C6), based on Titanium dioxide (TiO<sub>2</sub>) and borax through the microwave-assisted chemical vapor deposition technique, exposing them to a range of five continuous hours of solar radiation for the generation of electricity and thereby measuring the efficiency. The results obtained were as follows: Indeed, photovoltaic cells based on titanium dioxide and borax generate electrical energy, which led to the acceptance of the alternative hypothesis set out in this research paper. Likewise, it was determined that the cells signed as C3 and C4 showed the best results at the time of the test. It is recommended that more work be done to expand on what was analyzed in this study.

**Key words:** Photovoltaic cells, Titanium Dioxide, Borax, Electric power, Generation

## I. INTRODUCCIÓN

La generación de energía eléctrica en el mundo ha ido año tras año en aumento motivada por la creciente y constante demanda de la población, durante el año 2019 se produjo un total de  $9.572 \times 10^{16}$  Ws, donde el continente asiático es el líder del ranking de producción generando un total de  $4.323 \times 10^{16}$  Ws (EnerData, 2020).

La composición de la generación eléctrica en Latinoamérica es predominantemente de tipo fósil, es decir, energía no renovable. Trinidad y Tobago, Cuba, Jamaica, México y República Dominicana son los cinco principales países cuya producción de electricidad es transformada a partir de recursos fósiles (BID, 2017, p. 24).

Aunque el Perú se encuentra entre los países con mayor cantidad de recurso solar y potencial de energía fotovoltaica junto con Argentina, Bolivia y Chile, para el año 2016 el Ministerio de Energía y Minas reportó que solo el 10.5% de la energía eléctrica en el país provenía de SFV (Cáceres, Siles y Valencia, 2018).

En Lima, la generación de energía eléctrica fue de  $6,523 \times 10^{15}$  Ws para el mes de enero del año 2020. A pesar de ser la cifra más alta en comparación con el resto de las regiones del país, ésta presentó una caída del 1% en relación con el total producido el mismo mes en el año anterior. En el periodo 2019, Lima produjo  $8.440 \times 10^{15}$  Ws, apoderándose del 41.16% del total de la energía eléctrica generada a nivel nacional. Sin embargo, esta electricidad fue transformada gracias al recurso hídrico, siendo muy pocas veces explorada a través del recurso solar (MINEM, 2020, p. 6).

La generación de energía solar es uno de los métodos más limpios de producción de energía ideado por el hombre hasta ahora ya que se basa en la captación de la radiación solar y su transformación en electricidad (fotovoltaica) o en calor (térmica), convirtiéndose en un proceso comparable al mecanismo básico de las plantas para generar su energía, conocido como fotosíntesis. Los rayos solares son una fuente básica de energía inagotable, el 99.98% de la energía proviene del sol como energía radiante y equivale a  $173,000 \times 10^{12}$  Watts-unidad de medida de generación de energía-. De esta energía, el 77% es reflejada o devuelta al exterior.

Sólo el 23% es retenido en la tierra, este porcentaje se emplea casi todo en el ciclo hidrológico -evaporación, convección, precipitación y corrientes de agua, entre otras formas-; una pequeña fracción 0.2% da lugar a olas, vientos y fenómenos de convección en la atmósfera y una fracción aún menor 0.02 % es capturada y transformada por las plantas en el proceso de fotosíntesis e ingresa de esta forma al sistema trófico que sustenta la vida sobre la tierra (Salgado, 2017).

Debido a ello y a todo lo anteriormente expuesto es que se desprende la necesidad de evaluar la generación de energía eléctrica mediante celdas fotovoltaicas a base de dióxido de titanio y bórax, escogiendo para su evaluación de eficiencia el domicilio de la Cooperativa Huanaspampa en San Martín de Porres-Lima para el año 2020.

Bajo esta lógica, surge la interrogante general del estudio: ¿Se puede generar energía eléctrica mediante celdas fotovoltaicas a base de dióxido de titanio y bórax, Lima? Asimismo, se generan las siguientes interrogantes específicas para el estudio: ¿Cuál será la zona de estudio más idónea para el desarrollo de la celda fotovoltaica a base de dióxido de titanio y bórax en la generación de energía eléctrica, Lima? ¿Cómo se construirá la celda fotovoltaica a base de dióxido de titanio y bórax en la generación de energía eléctrica, Lima? ¿Cuál será la medición para los parámetros eléctricos (voltaje, intensidad de corriente e intensidad de luz), perteneciente a la celda fotovoltaica a base de dióxido de titanio y bórax en la generación de energía eléctrica, Lima?

Dichas interrogantes, son la base para la configuración de objetivos en la investigación teniendo, así como objetivo general: Generar energía eléctrica mediante celdas fotovoltaicas a base de dióxido de titanio y bórax, Lima.

A partir de ahí, surgen los siguientes objetivos específicos: Identificar la zona de estudio para el desarrollo de la celda fotovoltaica a base de dióxido de titanio y bórax para la generación de energía eléctrica, Lima; Desarrollar la construcción de la celda fotovoltaica a base de dióxido de titanio y bórax para la generación de energía eléctrica, Lima; Determinar la medida para los parámetros eléctricos (voltaje, intensidad de corriente e intensidad de luz), perteneciente a la celda fotovoltaica a base de dióxido de titanio y bórax en la generación de energía eléctrica, Lima.

El estudio se justifica puesto que permite crear conocimiento en relación a las variables en estudio logrando determinar la generación de energía eléctrica mediante celdas fotovoltaicas a base de dióxido de titanio y bórax, Lima. En sí mismo radica la razón que justifica el estudio puesto que la instalación de celdas y sistemas fotovoltaicos suele ser altamente costoso para muchas empresas y poblaciones, es necesaria la adecuación de estos tipos de sistemas de generación eléctrica con recursos renovables para que puedan estar al alcance de las personas y con ello puedan abastecer localidades remotas con éste preciado recurso, así como también permite a las pequeñas y medianas empresas invertir en este tipo de sistemas para el abastecimiento de energía propio disminuyendo con ello el consumo de electricidad por parte de las empresas de energía o del Estado mismo.

La realización de esta investigación proporcionará conocimiento metodológico añadido que permitirá enmarcar el estudio en unidades similares o con base en el mismo análisis procesual y metodológico. No obstante, genera un valor añadido puesto que sirve para ampliar una línea de investigación lo que permitirá la realización de diferentes estudios de investigación continuando la que por medio de este trabajo se presentará. Adicionalmente este estudio proporcionará documentación que servirá para sustentar investigaciones futuras.

En tal sentido, surge la siguiente hipótesis general de comprobación: La fabricación de celdas fotovoltaicas a base de dióxido de titanio y bórax generan energía eléctrica en niveles aceptables en Lima.

La matriz de consistencia se detalla en el **Anexo 1**.

## II. MARCO TEÓRICO

Los hechos suscitados con anterioridad al desarrollo del estudio son los que sirven para tener en claro e interpretar ciertos puntos y criterios referentes al problema que se está planteando, así como a su vez vienen a ser los antecedentes de la investigación (Balestrini, 2006, p. 108). En este trabajo, no se identificaron estudios que tomaron al bórax para la construcción de celdas fotovoltaicas, estableciendo como novedoso el presente tema de investigación. Por ello, se presenta antecedentes aquellos estudios cuyo objetivo fue la mejora de la eficiencia de celdas o sistemas fotovoltaicos

Dentro de los antecedentes nacionales se encontró a Bellota (2018) que estudió el Proceso de Generación de Energía Eléctrica a partir de Energía Solar para uso Industrial Caso: Planta de Secado de Mineral No Metálico. La investigación fue aplicada de diseño no experimental. Mediante el proceso de generación de energía eléctrica a partir de energía solar para uso industrial se estableció la elaboración de 247 paneles solares de 260w, doscientos dieciséis baterías de 24 voltios conformados por celdas fotovoltaicas, modeladas con red neuronal obteniendo una ganancia de captación de energía fue de 23.9% exponiéndolo de forma diaria en un panel móvil, ejecutando el análisis del impacto ambiental fue ejecutado a través de la metodología CRI comprobando que no genera impactos ambientales de gran significancia.

Silva (2018) elaboró diez arquetipos de las celdas fotovoltaicas a base de dióxido de titanio sensibilizadas por colorantes nativos peruanos de Aguaymanto (*Physalis peruviana*) y Camu Camu (*Myrciaria dubia*) en donde variaba el tipo y tiempo de exposición al colorante, donde midió, comparó e identificó el prototipo determinando que la mayor eficiencia se encuentra en la exposición al pigmento aguay manto con un valor de 2.33E-6% en 2 horas.

Rojas (2016) elaboró dos prototipos de celda fotovoltaica a base de dióxido de titanio modificadas con óxido de magnesio y sensibilizadas con el colorante N719. Se emplearon suspensiones de concentraciones diferentes de hidróxido de magnesio preparado a partir de solución acuosa de nitrato de magnesio. Para sellar la celda se usó un contraelectrodo de superficie conductora platinizada, un

electrolito líquido de disolvente orgánico yoduro/triyoduro y como material sellante un polímero comercial. Los prototipos se trataron con caracterización por difracción de rayos X y microscopia, obteniendo que la mayor eficiencia se mostró en el prototipo con una sola capa modificada logrando el 4.37%.

Asimismo, Toralva, Solís y Gómez (2016) desarrollaron el trabajo fabricación y caracterización de celdas solares sensibilizadas de  $\text{TiO}_2$  modificado con nanopartículas de NiO crearon cuatro prototipos de celdas solares a base de dióxido de titanio y modificadas con nano partículas de óxido de níquel sensibilizadas con el colorante N719 haciendo uso de la técnica Blade. Los resultados mostraron que la eficiencia como celda solar se reportó de manera óptima con un valor del 3.7% mayor que al de la celda no modificada que apenas logró una eficiencia de 1.4%.

Reátegui y Toro (2015) elaboraron un estudio exhaustivo de las funciones y beneficios obtenidos de los cuatro elementos indispensables para un sistema solar (paneles fotovoltaicos, inversor, tecnología LED y red eléctrica), donde realizaron una simulación para la generación de electricidad en el Colegio Mariano Melgar obteniendo una alta eficiencia energética renovable ubicada en 43.22%.

Entre los estudios del ámbito internacional se encontró a Kandasamy y Murugesan (2020) investigaron sobre un nanocompuesto de óxido de grafeno y  $\text{TiO}$  mesoporoso modificado con aminosilicato para células solares sensibilizadas por colorantes, mediante un método hidrotérmico y se analizaron utilizando diversas técnicas espectrales y microscópicas. La célula solar sensibilizada por colorante (DSSC) basada en el fotoánodo nanocompuesto  $\text{mTiO @GO/NH}$ , con una cantidad óptima de (3-aminopropil) trietoxisilano (APTES), ofrece una eficiencia global de fotoconversión del 5,11%, que es 2,5 veces superior a la de la DSSC basada en el fotoánodo de microesferas de  $\text{TiO}$  mesoporoso puro ( $\text{mTiO MS}$ ). El importante rendimiento fotovoltaico de la presente DSSC basada en el fotoánodo  $\text{mTiO @GO/NH}$  se debe a los efectos sinérgicos entre la heterojunción de  $\text{TiO}$  y  $\text{GO}$ .

Yong et al. (2019) investigó sobre la creación de células solares con cloración de absorción óptica en áreas activas de  $9 \times 10^{-6}$  y  $1 \times 10^{-4} \text{ m}^2$  logrando 16.5% y 15.3%, donde el voltaje fue de 0.867 voltios para intervalo de banda de  $1.400 V_{oc}$ , la pérdida de energía radiactiva de apenas 0.206 eV. Dentro de sus resultados logró precisar



que la pérdida de energía en las células fotovoltaicas se podía modificar de manera química a través de materiales fotoactivados para que las células sean más eficientes con bajas compensaciones de voltaje de tensión.

Liu y Wang (2019) investigaron células solares sensibilizadas por colorantes basadas en la modificación superficial de TiO mediante una revisión de literatura, donde concluyeron que Las moléculas de colorante excitadas transfieren electrones a la banda de conducción del TiO y luego al circuito externo a través de los sustratos de TiO. La producción, la transferencia y la salida de fotoelectrones están relacionadas con el TiO, la interfaz tinte/TiO y la interfaz electrolito/TiO. Entre ellos, la pérdida de electrones se debe principalmente a los electrones atrapados en la interfaz tinte/TiO y en la interfaz electrolito/TiO. Por lo tanto, es un método muy eficaz para modificar la superficie de TiO para reducir la pérdida de electrones durante el proceso, mejorando así la  $\eta$  de las DSSCs

En este mismo contexto, Loryuenyong et al. (2019) investigaron sobre la mejora de la eficiencia del fotoánodo en las células solares sensibilizadas por colorantes con un nanocompuesto de TiO<sub>2</sub>/Grafeno. En donde investigaron el efecto del contenido de grafeno (0% en peso, 0,1% en peso, 0,3% en peso, 0,5% en peso y 0,7% en peso) sobre el rendimiento de las células solares sensibilizadas por colorantes (DSSC) que contienen fotoánodos de TiO<sub>2</sub>/grafeno. Las condiciones óptimas se obtuvieron añadiendo un 0,3 % en peso de grafeno al fotoánodo de TiO<sub>2</sub>. La eficiencia de conversión de este fotoánodo fue 3,6 veces mayor que la de un fotoánodo de TiO<sub>2</sub> puro bajo luz simulada de 100 mW/cm<sub>2</sub> AM 1,5. Esto se atribuyó a su mejor capacidad de transferencia de electrones, a sus propiedades de absorción de luz y a su eficiente capacidad de adsorción de colorantes.

Abdulrehman, Al-Kamal y Salman (2016) analizaron el efecto que tiene las capas de dióxido de titanio en las celdas solares con espesor de 3.4, 9 y 12 $\mu$ m; logrando determinar que la celda con un espesor de dióxido de titanio de 9micras es de mayor eficiencia con un total de 39.14% en relación con la intensidad de corriente eléctrica recomendando esta versión para la creación de las celdas fotovoltaicas y que además es de menor costo.

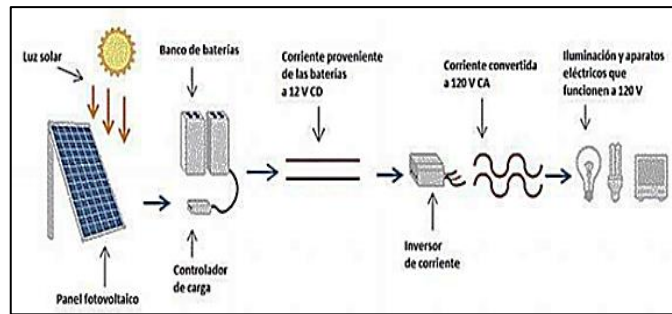
Para el entendimiento y el sustento del presente trabajo de investigación, el problema y sus variables, se manejaron los siguientes fundamentos teóricos.

La generación de energía eléctrica implica la transformación de otras formas de energía (cinética, químico, lumínico, térmico, solar o nuclear) en electricidad (Enríquez, 2009, p. 38). La energía renovable surge como una innovación para reducir los costos y a cumplir las promesas de un futuro de energía limpia esto significa que ellas energía están desplazando cada vez más a los combustibles fósiles, en el sector eléctrico, ofreciendo el beneficio de la reducción de emisiones de carbono y de otros tipos de contaminación con todo lo que debemos saber sobre los diferentes tipos de fuentes de energía renovables y cómo éstas pueden usar las tecnologías emergentes en su propio hogar (Shinn, 2018, p. 11).

El desarrollo de esta investigación se enfoca en la energía solar que, como energía renovable, absorbe la radiación del sol con la intención de generar calor y electricidad. Los sistemas de energía solar se categorizan en tres divisiones según su utilidad: a) calentamiento del agua y calefacción del espacio a través de colectores solares, b) activación de una turbina o generador gracias al vapor que emana del calentamiento de un fluido y c) conversión de radiación solar a electricidad. En el último caso, las celdas fotovoltaicas de un sistema especializado con células eléctricas son dispuestas en paneles de distinta capacidad para que produzcan electricidad, la cual es dirigida a grandes plantas con cientos de módulos para generar grandes cantidades de electricidad. (Shinn, 2018, p. 12).

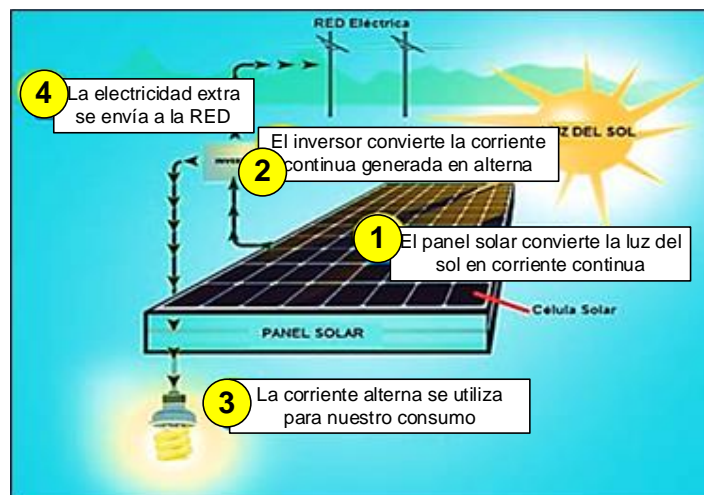
Las celdas fotovoltaicas, conocidas como celdas o células solares, se componen de materias usadas a su vez en el campo de la microelectrónica (Shinn, 2018, p. 13). Fagua y Bernal (2015) manifiestan que la célula solar o celda fotovoltaica es aquel instrumento elaborado a través de láminas muy finas de materiales semiconductores en forma cuadrada y cuya razón de ser es convertir en electricidad los fotones que irradia la luz solar.

La célula fotovoltaica está formada por una lámina semiconductor y un dispositivo metálico sobre un sustrato llamado "capa fina". Dicha lámina permite encapsular en material plástico transparente que configura un bloque de tipo aislante, antihumedad, transparente y robusto. Además, se añade el dispositivo conversor y las conexiones eléctricas (González, 2018, p. 14).



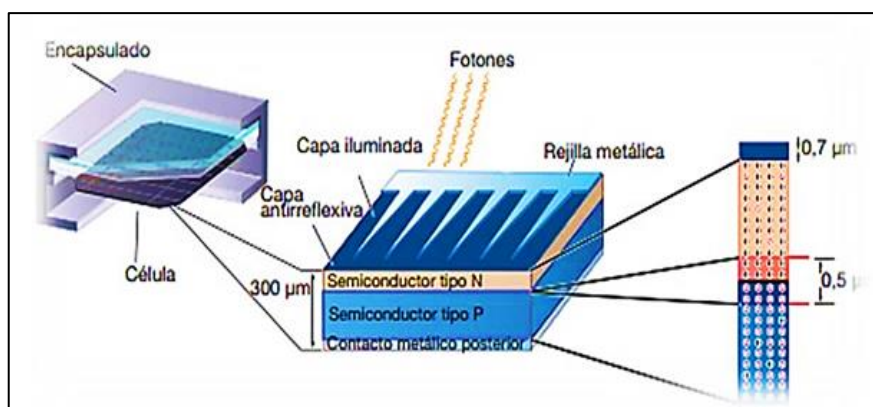
**Figura 1. Diagrama de un sistema fotovoltaico. Extraído de González (2018)**

Los paneles solares están compuestos de células fotovoltaicas capaces de producir electricidad recibida por la luz solar creando el efecto fotoeléctrico. Dicho efecto es el fenómeno por el cual las partículas de luz, compuesta por fotones, impactan en los electrones de un metal proporcionando energía que es arrastrada a la configuración. Esta movilización de los electrones es lo que genera la corriente eléctrica (González, 2018, p. 15).



**Figura 2. Conexión de la red eléctrica con el panel solar. Extraído de González (2018)**

Para la generación del efecto fotoeléctrico se debe considerar tres elementos claves: aislantes, semiconductores y conductores. Cada uno de ellos dependen de la banda de conducción (BC) y la banda de valencia (BV), ubicadas en la zona vacía (o GAP). A continuación, se diagrama la estructura de una celda fotovoltaica.



**Figura 3. Estructura de la celda fotovoltaica. Extraído de González (2018)**

El sistema fotovoltaico está integrado por: a) módulo fotovoltaico, que produce energía, b) baterías, que acumulan y energía, c) regulador e inversor, que controlan las baterías y d) utilizador de energía, compuesto a su vez por aparatos que consumen la energía (Paranthaman, Wong-Ng y Bhattacharya, 2018, p. 54).

Las celdas fotovoltaicas estructuradas con una base de dióxido de titanio ( $TiO_2$ ) poseen los siguientes componentes: a) electrodos conductores, cuyo material puede ser de placa de vidrio o  $TiO_2$ , b) bórax, que absorbe la radiación y transfiere los electrones al  $TiO_2$ , c) electrolito, que facilita la recepción del electrón que transmite el tinte y d) contra electrodo, que finaliza el circuito de forma externa (Brown, 2014, p. 19).

Dentro de la medición de la celda fotovoltaica se encuentran los parámetros eléctricos, a través de los cuales se establece el comportamiento de la celda como fuente de corriente eléctrica; siendo los principales parámetros: potencia, corriente, voltaje e irradiación (Velandia, 2018, p. 27). Es de suma importancia determinar la concentración y la potencia de cada celda. La Ecuación (1) calcula la concentración de  $TiO_2$  (Cruz, 2016, p. 40) mientras que la Ecuación (2) calcula la potencia máxima ( $P_{mc}$ ) a la que puede alcanzar una celda fotovoltaica (Prieto, 2018, p. 12), donde  $I_{mc}$  es corriente máxima de la celda y  $V_{mc}$  es el voltaje máximo de la celda.

$$\% \frac{m}{v} = \frac{\text{masa de } TiO_2}{\text{volumen de solvente}} * 100 \dots (1)$$

$$P_{mc} = V_{mc} * I_{mc} \dots (2)$$

Se debe tener presente que la energía generada será a su vez expresada como la potencia máxima ( $P_{max}$ ). A partir de esto, la eficiencia de la energía captada es la determinada con base en el producto de irradiación incidente ( $G$ ) en el área

superficial de la celda ( $A_c$ ) teniendo así la Ecuación (3). Entretanto, el factor de llenado (FF), vinculado con la eficiencia, se calcula a través de la Ecuación (4), en donde  $V_{oc}$  es voltaje en circuito abierto e  $I_{sc}$  es corriente en cortocircuito. Cuanto más la relación FF se aproxime a 1, significa que la potencia real de la celda se acerca a la potencia ideal de la misma, denotando un índice de mayor calidad en la celda:

$$\eta\% = \frac{P_{max}}{G \cdot A_c} * 100 \dots (3)$$

$$FF = \frac{P_{max}}{V_{oc} \times I_{sc}} \dots \dots \dots (4)$$

El dióxido de titanio (o  $TiO_2$ ) se considera un excelente fotocatalizador por ser un elemento químico estable, rentable y de bajo costo (Fujishima, Rao y Tryk, 2000, p. 1) y por su amplio poder de absorción de radiación electromagnética en la zona UV (Mills, O'Rourke y Moore, 2015, p. 66).

Sensibilizar el  $TiO_2$  es el procedimiento realizado para modificar el semiconductor haciendo uso para ello de otro material con el que se suavice la superficie y de esta manera absorba mayor cantidad de fotones en el espectro visible y a su vez genera separaciones de carga. Básicamente es la adición de pares de electrón – hueco (Pedraza, 2005, p. 87).

El bórax ( $Na_2B_4O_7 \cdot 10H_2O$ ) es una sal hidratada caracterizada en diversidad de formas dependiendo del cristalizado; considerada materia prima para un sinnúmero de actividades industriales (Díaz, 2004, p. 49). Es el elemento con mayor extensión del borato. (Carita, 2016, p. 19). Para obtener el boro se ejecuta a través de la optimización del bórax ( $Na_2B_4O_7$  x 10h20min) haciendo uso de medios mecánicos; al calentar el ácido bórico a través de la siguiente reacción:



*Técnica de deposición química de vapor (CVD):* se trata de un procedimiento químico primordialmente usado en la producción de elementos con alta pureza y necesario para materiales sólidos. Es una técnica indispensable en la creación de películas delgadas destinadas a la semiconducción, donde el elemento se expone

a precursores volátiles que descomponen el sustrato para generar un depósito (Bierman, 2014, p. 37).

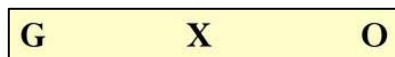
### III. METODOLOGÍA

#### 3.1. Tipo y Diseño de Investigación

La tipología de la investigación es aplicada ya que se pretendió determinar la eficiencia que posee una celda fotovoltaica a base de dióxido de titanio y bórax en la generación de energía eléctrica. Todo lo cual, estuvo directamente asociado con la definición en que una investigación de tipo aplicada es aquella con la que se logra determinar los medios (tecnologías) que satisfacen necesidades concretas (CONCYTEC, 2018, p. 2).

El diseño del estudio es experimental ya que a través de la creación y manipulación de celdas fotovoltaicas a base de dióxido de titanio y bórax se midió la eficiencia que tuvieron dichas celdas en la generación electricidad; todo lo cual cumplió con lo expresado por Hernández, Fernández y Baptista (2014) donde una investigación es experimental porque realiza acciones de manera intencional a través de la variable independiente para después observar las consecuencias que ella trae sobre la variable dependiente (p. 129).

Asimismo, esta investigación con diseño experimental según la medida de manipulación de las variables se posicionó como un diseño pre experimental, ya que el nivel de manipulación que se le dio a la celda fotovoltaica a base de dióxido de titanio y bórax fue mínimo a través del estudio de caso con una sola medición. Todo lo cual cumplió con lo definido para este diseño que un estudio pre experimental puesto que el grado de control y manipulación de la variable independiente fue mínimo y solo se midieron los efectos en un solo grupo de control bajo un periodo de tiempo específico (Hernández, Fernández y Baptista, 2014, p. 141).



**Figura 4. Diseño de Investigación Pre-Experimental. Extraído de Hernández Fernández y Baptista (2014)**

Dónde:

G: Grupo de sujetos (Celdas fotovoltaicas)

X: Tratamiento (Base de dióxido de titanio y bórax)

O: Medición única de la variable dependiente (Generación de energía eléctrica)

### 3.2. Variables, operacionalización

#### 3.2.1. Variable independiente

*Celdas fotovoltaicas a base de dióxido de titanio y bórax*

Instrumento elaborado a través de láminas muy finas de materiales semiconductores en forma cuadrada y cuyo propósito es convertir en electricidad los fotones que irradia la luz solar (Fagua y Bernal, 2015, p. 73).

#### 3.2.2. Variable Dependiente

*Generación de energía eléctrica*

Medida obtenida a través del fenómeno de conversión, siendo ésta la correlación entre energía de luz y la energía eléctrica que se puede generar con ella, representado de manera porcentual y calculada a través de la siguiente formula (Moro, 2018, p. 42).

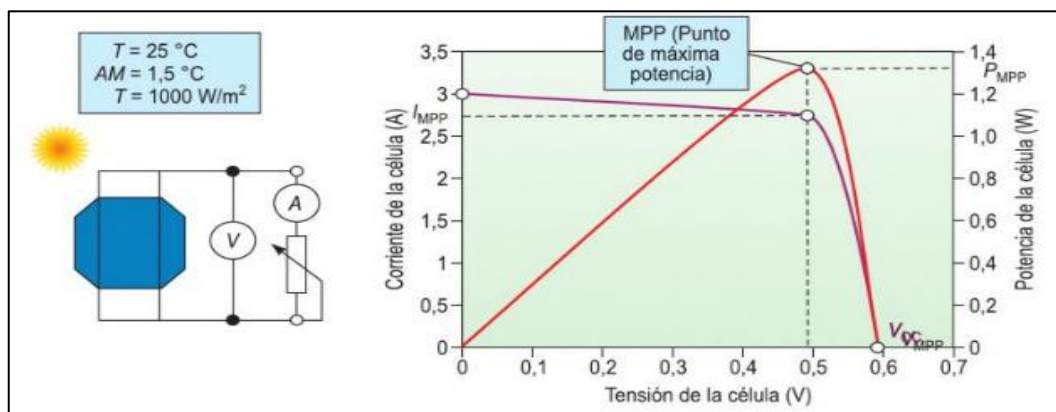


Figura 5. Curvas características IV y PV por una célula de silicio cristalino. En ella se observa la posición del punto de máxima potencia (MPP). Extraído de Moro (2018)

La matriz de operacionalización de estas variables se encuentra en el **Anexo 2**.



### **3.3. Población, Muestra y muestreo**

#### **Población**

Debido a la naturaleza del estudio la población y muestra son iguales, desarrollando un total de seis (06) prototipos de celdas fotovoltaicas, elaborados a base de dióxido de titanio y bórax sometidas a un tiempo máximo de exposición a la radiación solar de cinco horas, entre las 10:00am y las 3:00pm, una vez ya sintetizados por el método de síntesis del  $TiO_2$  asistida por microondas. Por un periodo de 03 días hábiles, preferentemente en la estación de invierno a finales de mes de mayo del presente año; situado en el distrito de San Martín de Porres como punto estratégico referente el domicilio de la Cooperativa Huanaspampa.

#### **Criterios de Inclusión:**

- Prototipos de celdas fotovoltaicas sin errores ni defectos.
- Prototipo de celdas fotovoltaicas que cumplieron con el periodo completo de exposición solar.

#### **Criterios de Exclusión:**

- Prototipos de celdas fotovoltaicas que presentaron defectos luego de preparadas.
- Prototipo de celdas fotovoltaicas que no cumplieron con el periodo completo de exposición solar.

#### **Muestra**

La muestra es una parte de la población que refleja las mismas particularidades de la población, con la finalidad de estudiarlos y medirlos. (Hernández, Fernández y Baptista 2012)

La muestra estuvo conformada por un prototipo de celda solar que contiene el dióxido de titanio y bórax.

#### **Muestreo**

La selección de la muestra se utilizó el diseño de muestreo probabilístico aleatorio, que es un diseño común, donde se selecciona cada elemento de la población al azar, con la finalidad que la selección posea la misma probabilidad a

seleccionarse. De allí que, al someterse los prototipos a las mismas condiciones, la escogencia de la muestra no estuvo condicionada, sino que se seleccionó con base en que todos los prototipos tenían la misma probabilidad de ser escogidos como muestra de estudio. Por tal razón, aun cuando los prototipos fueron elaborados con diferentes proporciones de bórax y dióxido de titanio, la escogencia de uno como muestra base de comparación fue al azar, según el criterio de aleatoriedad.

Para determinar el tamaño de la muestra, se utilizó la siguiente fórmula:

$$n = \frac{Z^2 \cdot P \cdot Q \cdot N}{(N-1) E^2 + Z^2 \cdot P \cdot Q} \dots\dots\dots(4)$$

Donde:

- ✓ Z = Valor crítico del nivel de confianza.
- ✓ P = Proporción de ocurrencia de variable en estudio.
- ✓ Q = Proporción de no ocurrencia de variable en estudio.
- ✓ E = Margen de Error.
- ✓ N = Tamaño de la población.
- ✓ n = Tamaño de la muestra.

### **Unidad de Análisis**

Celdas fotovoltaicas a base de dióxido de titanio y bórax.

#### **3.4. Técnicas e Instrumentos de recolección de datos**

Para el desarrollo del estudio se hizo uso de la observación, definido por Arias (2012, p. 114) como la técnica que permite describir, explicar y comprender la situación problemática del objeto en estudio; asimismo, permitió recolectar los datos e informaciones de manera directa concernientes al proceso de creación de los prototipos de celdas fotovoltaicas a base de dióxido de titanio y bórax y, las mediciones de eficiencia que las celdas tuvieron en la generación de energía eléctrica.

El tipo de instrumento utilizado fue la ficha de registro de información, expuesto por Tamayo (2004) como aquella ficha que se utiliza para simplificar datos con el

objeto de facilitar la comprensión y evaluación de la problemática planteada (pp. 98). Por lo cual se tuvo un total de tres fichas: Ficha de registro de análisis de laboratorio (Silva, 2018, p. 37) (ver **Anexo 4**); ficha de registro de elaboración de prototipos (ver **Anexo 5**); ficha de recolección de datos (ver **Anexo 6**).

La validez de los instrumentos estuvo mediada por un conjunto de expertos y la confiabilidad se midió a través de la cantidad de datos obtenidos con facilidad por ellos, cuyo resultado fue recabar los parámetros obtenidos (voltaje, intensidad de corriente e intensidad de luz) y fueron respaldados por el laboratorio de Físico-Química de la Universidad César Vallejo – Lima, acorde con los siguientes anexos:

Ficha de registro de análisis de laboratorio fue aceptada y obtuvo un porcentaje total de 90%.

Ficha de registro de elaboración de prototipos fue plenamente aceptada por los expertos y obtuvo un total del 90% de confiabilidad.

Ficha de recolección de datos aceptada en su totalidad por el conjunto de expertos y cuya confiabilidad alcanzó un porcentaje del 90%.

### **3.5. Procedimientos**

El procedimiento realizado en la investigación cumplió con las siguientes etapas a) Identificación de la zona de estudio, b) Desarrollo de celdas fotovoltaicas y c) Medición de parámetros de las celdas, que se explican en seguida, además se presenta una tabla resumen en el **Anexo 3**.

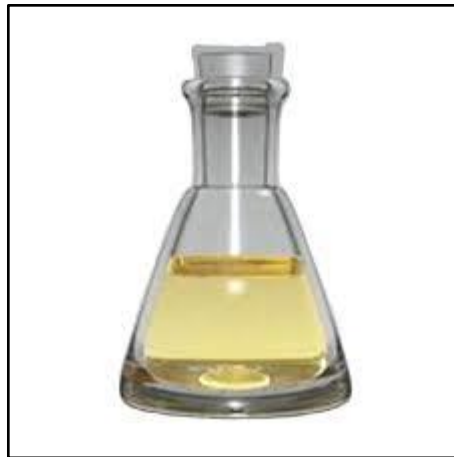
#### **3.5.1. Identificar la zona del estudio**

Se estableció la zona exacta, así como las características climáticas (temperatura, precipitaciones y viento) y de radiación propias del domicilio de la Cooperativa Huanaspampa en San Martín de Porres-Lima haciendo uso del Atlas Solar de Perú proporcionado por el Ministerio de Energía y Minas.

Considerando los siguientes equipos, instrumentos como también insumos o reactivos parte del informe de investigación.

## Materiales y equipos usados

- Alcohol etílico 95% (concentración) también conocido como etanol, alcohol vínico y alcohol de melazas, es un líquido incoloro y volátil de olor agradable, que puede ser obtenido por dos métodos principales: la fermentación de las azúcares y un método sintético a partir del etileno. debido a su bajo costo y es ampliamente utilizado para la formación de este tipo de material.
- Butóxido de titanio ( $C_{16}H_{36}O_4Ti$ ) Es un líquido incoloro a amarillo pálido con un débil olor y densidad alcohol-como casi igual a la del agua, lo que permite la deposición de  $TiO_2$  recubrimientos de varias formas y tamaños a la nano escala.



**Figura 6. Butóxido de Titanio**

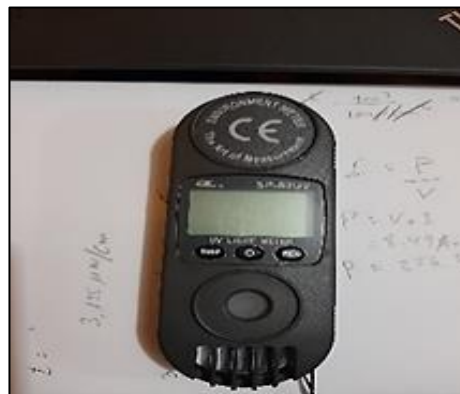
- Agua desionizada es llamada así porque se le han quitado, mediante resinas de intercambio iónico de lecho mixto, los cationes, como los de sodio (Na), calcio (Ca), hierro (Fe), cobre (Cu), y aniones como el carbonato, fluoruro, cloruro, etc., pero puede contener pequeñas cantidades de impurezas no iónicas como compuestos orgánicos.
- Horno microondas de Laboratorio es un tipo de horno comúnmente usado para deshidratar reactivos de laboratorio o secar instrumentos. El horno aumenta su temperatura gradualmente conforme pasa el tiempo, así como también su programación.

- Vaso precipitado es un recipiente cilíndrico de vidrio borosilicatado fino que se utiliza muy comúnmente en el laboratorio, sobre todo, para preparar o calentar sustancias, medir o traspasar líquidos.
- Micas, material empleado para la formación de prototipos de celdas fotovoltaicas.



**Figura 7. Micas de  $5.5 \times 10^{-4} \times 8.5 \times 10^{-4}$  m y  $1 \times 10^{-3}$  m de espesor**

- Medidor de luz ultravioleta (SP-82UV); puede medir por ejemplo las radiaciones UVA del sol y las radiaciones en una cabina del solarío y protegerse, dado el caso, de radiaciones demasiado altas (quemaduras de sol, este equipo es un muy flexible gracias a su sensor externo.



**Figura 8. Medidor de Luz Ultravioleta SP-82UV**

- Multímetro PR-75 series; instrumento para la medición de magnitudes en un circuito eléctrico.



**Figura 9. Multímetro o Multitester PR-75 series**

- Bórax ( $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ ) es una sal hidratada caracterizada en diversidad de formas dependiendo del cristalizado (Díaz, 2004, p. 49).



**Figura 10. Bórax (50g)**

### **3.5.2. Desarrollo de celdas fotovoltaicas**

1. Acondicionamiento del sustrato conductor o también llamado electrodos (Superficie de plástico o mica). Fueron limpiados y liberados de partícula que pudiera alterar la conducción de energía.
2. Preparación de la síntesis asistida por microondas. Se emplearon los reactivos a mencionar en la siguiente viñeta para obtener  $\text{TiO}_2$ . (Contreras, 2018, pp. 32-33).

Metodología: sol-gel asistida por microondas

Precursor: Isopropóxico de titanio.

Disolventes: Isopropano y agua desionizada.

Procedimiento:

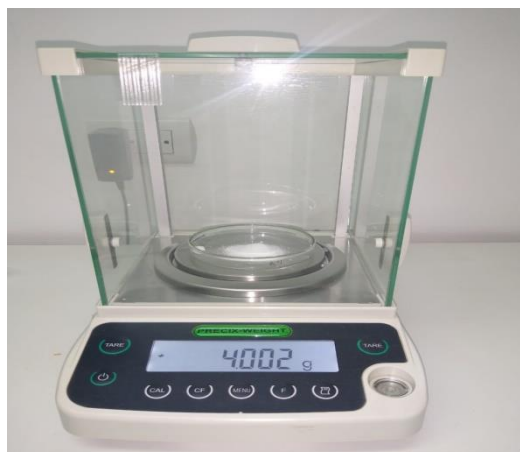
- Se preparó una solución del isopropóxido de Ti a 0.004 mol (1.24 mL en 40 mL de isopropanol).
  - A la solución precursora se le incorporó una mezcla de solventes elaborada con de 1 mL de isopropanol y 0.52 mL de agua desionizada a temperatura ambiente, utilizando un vaso de precipitado de 100 mL.
  - La síntesis se realiza utilizando un baño de calentamiento a una temperatura constante de 80 °C en un equipo de agitación magnética, alternando tiempos de un minuto en cada adición y agitación constante a 800 rpm, para luego extender la agitación al final por un periodo de 30 s lo que lleva a 3.5 min el tiempo de reacción.
  - Al terminar la reacción el vaso de precipitado se retira del baño de calentamiento y se sella con papel parafilm y se deja en reposo para que se formen dos fases un precipitado blanco y líquido transparente. El precipitado se dejó reposar durante 24 h.
  - Al concluir el tiempo de reposo, el sólido precipitado se separó de la fase líquida y se cubrió con papel secante y fue secado en microondas por un periodo de seis minutos y veinte segundos mediante intervalos de 4 s de secado y 40 s de reposo de forma alternada.
  - El sólido seco se lavó con 40 mL de agua desionizada calentada a 37 °C y filtrado a vacío, utilizando un matraz Kitassato con embudo Büchner y papel filtrante Watman #6.
  - Para finalizar, los polvos de TiO<sub>2</sub> fueron secados sobre una platina de calentamiento a 37 °C por 5 min.
  - Se obtuvo como producto final un polvo fino de color blanco con tamaños de 500 nm. De forma similar, después de analizar las características de forma y tamaño de las nanopartículas de TiO<sub>2</sub>, Sung y Zhou (2017) identificaron que su tamaño oscilaba entre 50 y 500 nm.
3. La cantidad o dosis en volumen que se necesitaba utilizar, en este caso se contó con los siguientes reactivos:

- Dióxido de Titanio  $\text{TiO}_2$
  - Bórax
  - Yoduro de Potasio (4g)
  - Agua ionizada (4 mL).
- Para el sintetizado de las celdas, se usó Bórax y  $\text{TiO}_2$  en proporciones 1 a 2 respectivamente. Según lo que describe en la tabla 1.

Las medidas de las cantidades a utilizar se registraron mediante pesaje en balanza analítica, como se muestra en las figuras siguientes.



**Figura 11. Se pesó Bórax 2g**

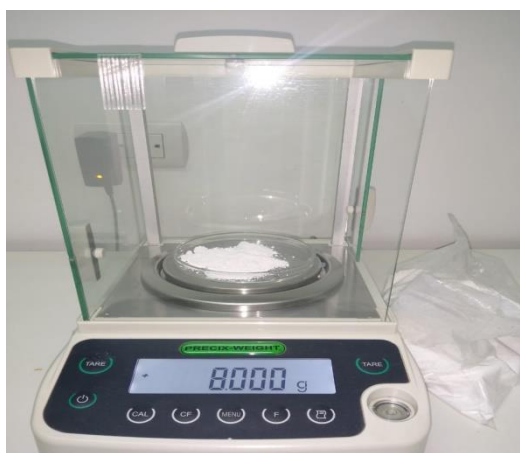


**Figura 12. Se pesó Bórax y  $\text{TiO}_2$  4g**

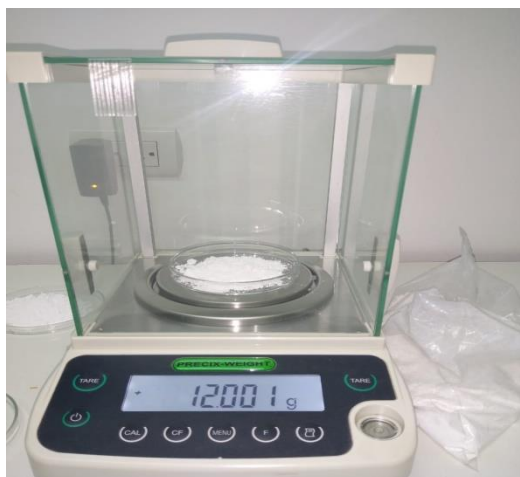




**Figura 13. Se pesó Bórax y  $\text{TiO}_2$  6g**



**Figura 14. Se pesó Bórax y  $\text{TiO}_2$  8g**



**Figura 15. Se pesó  $\text{TiO}_2$  12g**



**Figura 16. Se pesó TiO<sub>2</sub> 16g**



**Figura 17. Se pesó Yoduro de Potasio KI 4g**

**Tabla 1. Sintetizado de celdas**

<b>M(g) Bórax</b>	<b>M(g) TiO<sub>2</sub></b>
2	4
4	8
6	12
8	16

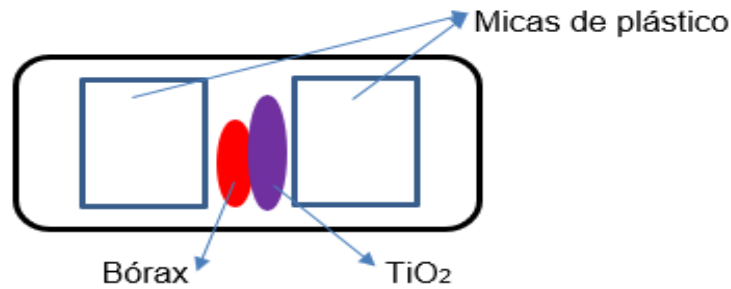
*Fuente:* Elaboración propia, 2020.

Todos los pesos fueron registrados mediante pesaje en balanza analítica.

- Se procedió a sintetizar a partir de 4g de bórax y 8g de TiO<sub>2</sub> en adelante para verificar algún tipo de lectura acorde a la realidad.

Paso 1.- Pesaje de masas de bórax y TiO<sub>2</sub> en proporción de 1 a 2.

Paso 2.- Colocación de (2) micas de plástico en un pírex cerrado con la masa de bórax y  $\text{TiO}_2$ .



**Figura 18. Se colocó reactivos dentro del pírex en porción de 1 a 2**

Paso 3.- Traslado al microondas, calentado en periodo o tiempo de 15 segundos a la potencia máxima del microondas (100W a 120W) con repeticiones de hasta cuatro veces por segundo.

Paso 4.- Enfriamiento de 10 a 15 minutos fuera del microondas o estufa. Luego, proceder con las siguientes masas respetando la razón de 1 a 2 tanto de bórax y  $\text{TiO}_2$  y los tiempos de reacción.



**Figura 19. Dichos reactivos dentro del pírex en porción de 1 a 2 dejándose enfriar**

Paso 5.- En un recipiente libre de impurezas se mezcló yoduro de potasio (4g) con agua ionizada (4mL)



**Figura 20. Se mezcló KI (4g) con agua ionizada (4 mL) en un recipiente**

Paso 6.- Formado de una solución o empoderado con los pares de micas ya enfriados en su totalidad, unión de las micas por las caras superiores expuestas a los reactivos dentro del pírex.

Paso 7.- Aplicación de la solución mezclada (yoduro de potasio y agua ionizada) con ayuda de una pequeña brocha sobre el par de mica ya juntas o emparejadas



**Figura 21. Se aplicó de la mezcla de KI con agua ionizada sobre las micas emparejadas**

Paso 8.- Enfriamiento por 12 horas, en este trabajo se calentó con ayuda de una tela y plancha sobre cada par de micas emparejadas dado que estas formaron una celda sintetizada.



**Figura 22. Se selló las micas emparejadas con ayuda de una tela y plancha**

Paso 9.- Luego de 24 horas, se procedió a exponer dichas celdas sintetizadas al ambiente para una mayor captación de radiación solar y estabilidad de electrones en dichas celdas.

Paso 10.- Registro de las celdas sintetizadas por un periodo de 72 horas con exposición al medio ambiente por un rango de 5 horas previo registro cada hora.

Paso 11.- Registro de dichos valores con ayuda de un multímetro (mV) y piranómetro [radiación solar ( $\mu\text{W}/\text{cm}^2$ )] siendo el amperaje de cada celda muy por debajo al registro de lectura del equipo de medición, dichos valores serán teóricos o calculados considerando una resistencia de 500 k $\Omega$ .

Paso 12.- previamente al tener registrado los valores de cada prototipo de celda (06) se procedió a elaborar la conexión en serie y en paralelo, separando en (02) grupos, el primer grupo (02) celdas con las masas de 4g de bórax y 8g de  $\text{TiO}_2$  en reacción y (01) celda con la masa 6g de bórax y 12g de  $\text{TiO}_2$ . Posteriormente, el siguiente grupo, (01) celda con la masa de 6g de bórax y 12g de  $\text{TiO}_2$  y (02) celdas con las masas de 8g de bórax y 16g de  $\text{TiO}_2$ .

### 3.5.3. Medición de parámetros de las celdas fotovoltaicas

- Finalmente se obtuvo (06) prototipos de celdas fotovoltaicas, siendo (03) prototipos de celdas fotovoltaicas a base de bórax y de  $\text{TiO}_2$  en un primer grupo para el sistema de conexión y los otros (03) prototipos de celdas fotovoltaicas a base de bórax y de  $\text{TiO}_2$  respectivamente a los cuales se les midieron los parámetros de generación de energía eléctrica.

- Armado de las celdas fotovoltaicas de circuitos cerrados conectados en serie con una resistencia de  $500\text{k}\Omega$  y a su vez conectados de forma paralela con el multímetro.

- Se calculó la irradiación solar sobre las celdas con el uso de un Piranómetro, los datos fueron guardados a través de registros fotográficos emanados por cada hora de exposición de los prototipos.

**Tabla 2.** Medición de voltaje por cada celda sintetizada

Celdas	V(mV)
<b>C1</b>	48.3
<b>C2</b>	18.2
<b>C3</b>	47.8
<b>C4</b>	43.7
<b>C5</b>	61.3
<b>C6</b>	35.8

*Fuente:* elaboración propia, 2020

Previamente por cada celda a sintetizar se usaron proporciones de 1 a 2 tanto de bórax como de  $\text{TiO}_2$ , respectivamente con 4g de yoduro de potasio diluido con agua ionizada a 4mL.

**Tabla 3.** Datos en el registro de pesaje

<b>Reactivos o semiconductores propios en la celda</b>	
<b>(m) Bórax (en g)</b>	<b>(m) TiO<sub>2</sub> (en g)</b>
2	4
4	8
6	12
8	16

*Fuente:* elaboración propia, 2020

Al emplear la masa de bórax y de TiO<sub>2</sub> respecto al cuadro no se mostró ningún resultado en las micas previamente con el método CVD casero y secadas o enfriadas para la medición con el multímetro quedando por descarte la menor masa, luego a partir de 4g de bórax y 8g de TiO<sub>2</sub>, respectivamente se procedió a elaborar 2 celdas sintetizadas en adelante para obtener un total de (06) prototipos de celdas.

**Tabla 4.** Masas ideales

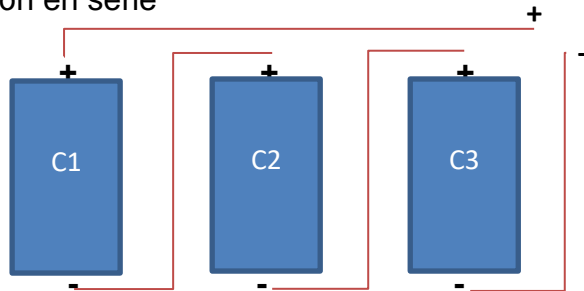
<b>(m) Bórax (en g)</b>	<b>(m) TiO<sub>2</sub> (en g)</b>	
4	8	→ 2 celdas (C1; C2)
6	12	→ 2 celdas (C3; C4)
8	16	→ 2 celdas (C5; C6)

*Fuente:* elaboración propia, 2020

Luego, separando en 2 grupos de 3 celdas para establecer las conexiones en serie y en paralelo, se debió determinar cuánto de amperaje presentó dicho circuito de conexión.

1er grupo (C1; C2; C3)

Conexión en serie

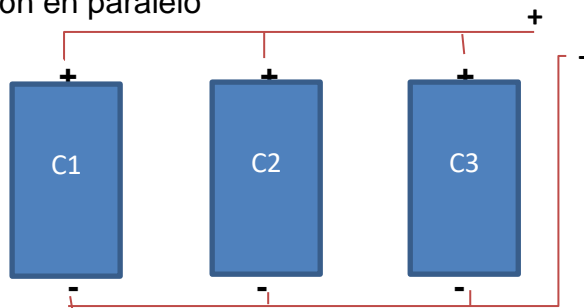


Medición en serie

Voltaje (V)=  $74.3 \text{ mV} \pm 0.03$

Amperios (A)=  $1.33 \text{ A} \pm 0.03$

Conexión en paralelo



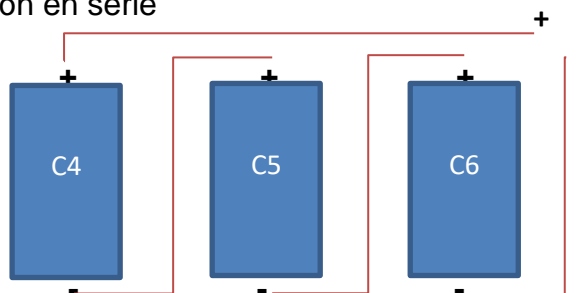
Medición en paralelo

Voltaje (V)=  $45.1 \text{ mV} \pm 0.03$

Amperios (A)=  $1.36 \text{ A} \pm 0.03$

2do grupo (C4; C5; C6)

Conexión en serie

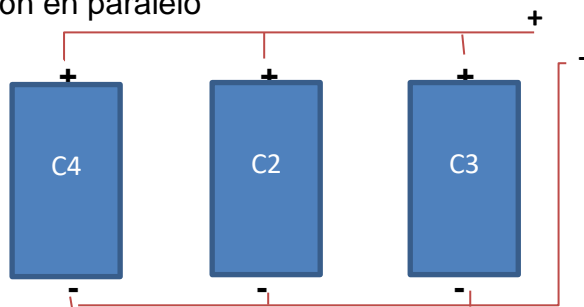


Medición en serie

Voltaje (V)=  $134.2 \text{ mV} \pm 0.03$

Amperios (A)=  $1.41 \text{ A} \pm 0.03$

Conexión en paralelo



Medición en paralelo

Voltaje (V)=  $50.3 \text{ mV} \pm 0.03$

Amperios (A)=  $1.30 \text{ A} \pm 0.03$



### **3.6. Método de análisis de datos**

En el momento de examinar los datos se emplearon tablas de frecuencia, de único acceso con cifras absolutas y relativas que se computaron con el promediado, se diseñaron tablas y gráficos para exponer las diferenciaciones y valores haciendo uso del Excel.

Para determinar el grado de eficiencia en la generación de energía eléctrica se realizó la prueba de normalidad a través de Shapiro-Wilk de los datos; para luego proceder con el análisis estadístico deductivo con la prueba de T de Student en el software SPSS25.

### **3.7. Aspectos éticos**

A través de la realización del proyecto se hizo uso de todos los parámetros de bioseguridad necesarios antes, durante y después del procedimiento para garantizar el mayor nivel de seguridad.

Se hace constar que los datos manejados durante la investigación fueron plenamente reales siguiendo los lineamientos de la Universidad César Vallejo tanto en la elaboración de la Guía de Elaboración de Productos Observables respetando el código y los principios de la ética. En cuanto a la búsqueda del bien, se identificaron y expusieron los riesgos vinculados a la investigación, teniendo en consideración las muestras que no tuvieron errores; en cuanto a la no maleficencia, no se manipularon los datos resultantes durante la experimentación; en cuanto a la justicia, se trató de igual forma a las muestras recogidas, separando algunas bajo los criterios de exclusión expuestos en el metodología. Además, toda la información se encontró apropiadamente referenciada y se incluyeron todos los mecanismos de medios probatorios para la verificación de su autenticidad y validez.

Por último, cabe destacar que los resultados obtenidos están dirigidos exclusivamente para uso académico, garantizando con ello la discreción de los mismos con el fin de generar la confianza necesaria con respecto a la reserva de actuaciones y con ello evitar dificultades legales o repercusiones impropias.

## IV. RESULTADOS

### 4.1. Identificación de la zona de estudio

#### 4.1.1. Características climáticas de la zona de prueba

La zona residencial donde se encuentra ubicada la Cooperativa Huanaspampa en San Martín de Porres, Lima posee una temperatura media de 17°C, precipitaciones de  $3 \times 10^{-4}$  m, ráfagas de viento de 5.65 m/s y radiación solar de 20°C (Ver **Anexo 7**).

#### 4.1.2. Cantidad de elementos a utilizar

Previo al inicio del desarrollo de los prototipos de celdas fotovoltaicas se efectuó un proceso para identificar la cantidad o volumen idóneo (de  $\text{TiO}_2$  y bórax) que debe contener cada uno de los prototipos. Cabe comentar que para el desarrollo de la mitad de las celdas se utilizó exclusivamente dióxido de titanio mientras que para la otra mitad se empleó bórax. Para ello, las cantidades fueron distintas y precisadas en la Tabla 5.

**Tabla 5.** Volumen o Masa de elementos, según la celda par

CELDAS PARES	VOLUMEN DE BASES A SINTETIZAR	
	Bórax (en g)	$\text{TiO}_2$ (en g)
1	4	8
2	4	8
3	6	12
4	6	12
5	8	16
6	8	16

Fuente: Elaboración propia, 2020.

## 4.2. Desarrollo de las celdas fotovoltaicas

Durante el desarrollo de las celdas fotovoltaicas del estudio se hizo anotación constante y detallada sobre los datos relacionados con el tiempo de sintetizado, temperatura de sintetizado y parámetros preliminares de voltaje e intensidad de corriente, los cuales son presentados en la Tabla 6.

**Tabla 6.** Ficha de registro en el desarrollo de las celdas fotovoltaicas con base en dióxido de titanio y bórax.

N° de celda a sintetizar	Vol. TiO <sub>2</sub> (g)	Vol. de bórax a sintetizar (g)	Tiempo de sintetizado (s) x 4 repeticiones	Temperatura de sintetizado (°C)	Medición de Parámetros	
					Voltaje (mV)	Intensidad (A)
1	4	8	15	100	48.3	9.66×10 <sup>-8</sup>
2	4	8	15	100	18.3	3.64×10 <sup>-8</sup>
3	6	12	15	100	47.8	9.56×10 <sup>-8</sup>
4	6	12	15	100	43.7	8.74×10 <sup>-8</sup>
5	8	16	15	100	61.3	12.26×10 <sup>-8</sup>
6	8	16	15	100	35.8	7.16×10 <sup>-8</sup>

*Fuente:* Elaboración propia, 2020.

## 4.3. Medición de parámetros

Las celdas fotovoltaicas desarrolladas durante el estudio se dividieron en dos grupos de tres elaboradas a base de dióxido de titanio y base de bórax en función a las concentraciones de dichas bases cuyos resultados arrojados en relación con los parámetros de voltaje, intensidad de corriente e intensidad de luz (radiación) teniendo en cuenta que cada grupos de tres celdas fueron conectadas en serie y en paralelo respectivamente, dichas conexiones y mediciones luego de 72 horas previamente expuestas en periodos de cinco horas continuas durante dos días. La evidencia de medición de parámetros eléctricos se localiza en el **Anexo 8**. Los resultados de las muestras recolectadas en tramos por cada celda se muestran en la Tabla 8.

**Tabla 7.** Medición de parámetros en una conexión circuito por medio de celdas

<b>Celdas sintetizadas</b>	<b>Lectura de voltaje (mV)</b>	<b>Tiempo de sintetizado (por cada celda)</b>	<b>Conexión en serie (24 horas) después</b>	<b>Conexión en paralelo (24 horas) después</b>
<b>C1</b>	48.3	15 s (4 repeticiones)	74.3 mV	45.1 mV
<b>C2</b>	18.2	15 s (4 repeticiones)	1.33 A	1.36 A
<b>C3</b>	47.8	15 s (4 repeticiones)		
<b>C4</b>	43.7	15 s (4 repeticiones)	134.2 mV	50.3 mV
<b>C5</b>	61.3	15 s (4 repeticiones)	1.42 A	1.30 A
<b>C6</b>	35.8	15 s (4 repeticiones)		

*Fuente:* Elaboración propia, 2020.

A continuación, se muestran los resultados del voltaje, el amperaje, la potencia y la irradiación de las seis celdas fotovoltaicas.

#### **4.3.1. Celda fotovoltaica N° 1**

Se trata de una celda fotovoltaica desarrollada a base de dióxido de titanio (TiO<sub>2</sub>), expuesta por un lapso de cinco horas, durante un periodo de tres días; cuyo voltaje promedio fue de 48.3°C, intensidad de corriente promedio de  $9.66 \times 10^{-8} \text{A}$  e intensidad de luz o radiación promedio de  $29.71 \text{W/m}^2$ , como se muestra a continuación.

**Tabla 8.** Ficha de recolección de datos en la celda fotovoltaica 1

Celda 01		Voltaje (mV)	Amperaje ( $\times 10^{-8}$ A)	Potencia ( $\times 10^{-6}$ W)	Irradiación (W/m <sup>2</sup> )	V <sub>máx</sub>	P <sub>máx</sub>	FF	n (%)
Día	Hora								
1	1	46.7	9.51	444.117	28.4	51.3	501.201	0.70	4.07
	2	44.8	9.46	423.808	29.9				
	3	45.8	9.57	438.306	29				
	4	46.8	9.68	453.024	28.9				
	5	47.2	9.72	458.784	29				
2	1	46.9	9.73	456.337	29.8				
	2	47.9	9.69	464.151	29.9				
	3	48.6	9.54	463.644	30				
	4	47.9	9.63	461.277	30				
	5	51.1	9.67	494.137	29.9				
3	1	50.5	9.66	487.83	29.9				
	2	50.6	9.71	491.326	29				
	3	51.3	9.77	501.201	30				
	4	49.7	9.75	484.575	31				
	5	48.7	9.81	477.747	31				
Σ		48.3	9.66	466.6842667	29.71				

Fuente: Elaboración propia, 2020.

Los tres días brindaron resultados un tanto similares. Tan solo en la primera hora del primer día, la celda fotovoltaica alcanzó los valores máximos de voltaje, amperaje y potencia a pesar de recibir un nivel de radiación solar no tan elevado como los otros. En el segundo día no sucedió lo mismo dado que los valores máximos se encontraron en la quinta hora. En el tercer día, los valores registraron un nuevo límite superior en la tercera hora. Por la variabilidad de los resultados, no se identificó un patrón.

Acorde a la Tabla 8, en la tercera hora del tercer día, el voltaje y la potencia alcanzaron límites superiores de 51.3 mV y  $501.201 \times 10^{-6}$  W, respectivamente. Con base en estos datos, se halló 0.70 para el factor de llenado (FF) y 4.07% para la eficiencia (n).

Los datos del voltaje, amperaje e irradiación fueron recogidos directamente de la experimentación. La potencia (P<sub>mc</sub>) fue calculada con la Ecuación (2), el factor de llenado (FF) con la Ecuación (4) y la eficiencia (n) con la Ecuación (3).

$$P_{mc} = 51.3 * 9.77 = 501.201$$

$$FF = \frac{501.201}{51.3 \times 13.9} = 0.70$$

$$n\% = \frac{501.201}{30 \times 410.48} * 100 = 4.07$$

#### 4.3.2. Celda fotovoltaica N° 2

Se trata de una celda fotovoltaica desarrollada a base de dióxido de titanio (TiO<sub>2</sub>), expuesta por un lapso de cinco horas, durante un periodo de tres días; cuyo voltaje promedio fue de 18.2°C, intensidad de corriente promedio de 3.64×10<sup>-8</sup>A e intensidad de luz o radiación promedio de 30.47W/m<sup>2</sup>, como se muestra a continuación.

**Tabla 9.** Ficha de recolección de datos en la celda fotovoltaica 2

Celda 02		Voltaje (mV)	Amperaje (×10 <sup>-8</sup> A)	Potencia (×10 <sup>-6</sup> W)	Irradiación (W/m <sup>2</sup> )	V <sub>máx</sub>	P <sub>máx</sub>	FF	n
Día	Hora								
1	1	16.5	3.47	57.255	28.9	19.7	74.466	0.55	3.01
	2	17.6	3.59	63.184	29.8				
	3	19.7	3.78	74.466	29.9				
	4	18.3	3.74	68.442	30				
	5	16.7	3.55	59.285	29.9				
2	1	17.7	3.49	61.773	29.8				
	2	18.5	3.75	69.375	30.1				
	3	19.1	3.73	71.243	31.1				
	4	17.9	3.72	66.588	31				
	5	18.8	3.65	68.62	31				
3	1	18.7	3.47	64.889	31.2				
	2	17.8	3.62	64.436	31				
	3	18.4	3.74	68.816	31.2				
	4	18.5	3.76	69.56	31				
	5	18.8	3.54	66.552	31.2				
Σ		18.2	3.64	66.29893333	30.47				

Fuente: Elaboración propia, 2020.

Esta celda fotovoltaica tuvo un comportamiento distinto al primero puesto que sus valores alcanzaron un punto máximo solo en el primer día, aunque dichos sean mucho más pequeños en comparación. Es decir, la primera celda obtuvo entre 45 y 51 mV mientras que la segunda celda no sobrepasó los 20 mV. Esto no se debió a la presencia de fenómenos climáticos que pudieran obstaculizar la captación de luz solar dado que la irradiación fue la misma a la anterior celda y de las que están más adelante. Los niveles fueron decreciendo para el segundo y tercer día.

Acorde a la Tabla 9, en la tercera hora del primer día, el voltaje y la potencia alcanzaron límites superiores de 19.7 mV y  $74.766 \times 10^{-6}$  W, respectivamente. Con base en estos datos, se halló 0.55 para el factor de llenado (FF) y 3.01% para la eficiencia ( $\eta$ ).

Los datos del voltaje, amperaje e irradiación fueron recogidos directamente de la experimentación. La potencia ( $P_{mc}$ ) fue calculada con la Ecuación (2), el factor de llenado (FF) con la Ecuación (4) y la eficiencia ( $\eta$ ) con la Ecuación (3).

$$P_{mc} = 19.7 * 3.78 = 74.466$$

$$FF = \frac{74.466}{19.7 \times 6.87} = 0.55$$

$$\eta\% = \frac{74.466}{29.9 \times 82.74} * 100 = 3.01$$

#### 4.3.3. Celda fotovoltaica N° 3

Se trata de una celda fotovoltaica desarrollada a base de dióxido de titanio (TiO<sub>2</sub>), expuesta por un lapso de cinco horas, durante un periodo de tres días; cuyo voltaje promedio fue de 47.8°C, intensidad de corriente promedio de  $9.56 \times 10^{-8}$  A e intensidad de luz o radiación promedio de 30.55W/m<sup>2</sup>, como se muestra a continuación.

**Tabla 10.** Ficha de recolección de datos en la celda fotovoltaica 3

Celda 03		Voltaje (mV)	Amperaje ( $\times 10^{-8}$ A)	Potencia ( $\times 10^{-6}$ W)	Irradiación (W/m <sup>2</sup> )	V <sub>máx</sub>	P <sub>máx</sub>	FF	n
Día	Hora								
1	1	45.4	9.45	429.03	29.9	50.3	488.413	0.67	3.62
	2	47.9	9.51	455.529	29.8				
	3	46.7	9.55	445.985	30.1				
	4	48.6	9.55	464.13	31.1				
	5	49.5	9.61	475.695	31				
2	1	50.3	9.71	488.413	31				
	2	46.3	9.69	448.647	29.9				
	3	46.4	9.58	444.512	29.8				
	4	50.2	9.63	483.426	30.1				
	5	49.9	9.65	481.535	31.1				
3	1	46.7	9.63	449.721	31				
	2	47.7	9.31	444.087	31				
	3	45.9	9.54	437.886	31.2				
	4	46.8	9.45	442.26	31				
	5	48.7	9.51	463.137	30.2				
Σ		47.8	9.558	456.9328667	30.55				

Fuente: Elaboración propia, 2020.

La tercera celda fotovoltaica presentó resultados similares al de la primera celda. En el primer día, los valores de cada medida fueron creciendo hasta llegar a un tope alto en la quinta hora. En el segundo día, sucedió lo contrario puesto que el nivel máximo de ese día y de toda la experimentación, se obtuvo en la primera hora. Al siguiente día, los valores decrecieron.

Acorde a la Tabla 10, en la primera hora del segundo día, el voltaje y la potencia alcanzaron límites superiores de 50.3 mV y  $488.413 \times 10^{-6}$  W, respectivamente. Con base en estos datos, se halló 0.67 para el factor de llenado (FF) y 3.62% para la eficiencia (n).

Los datos del voltaje, amperaje e irradiación fueron recogidos directamente de la experimentación. La potencia (P<sub>mc</sub>) fue calculada con la Ecuación (2), el factor de llenado (FF) con la Ecuación (4) y la eficiencia (n) con la Ecuación (3).



$$P_{mc} = 50.3 * 9.71 = 488.413$$

$$FF = \frac{488.413}{50.3 \times 14.49} = 0.67$$

$$n\% = \frac{488.413}{31 \times 435.228} * 100 = 3.62$$

#### 4.3.4. Celda fotovoltaica N° 4

Se trata de una celda fotovoltaica desarrollada a base de bórax, expuesta por un lapso de cinco horas, durante un periodo de tres días; cuyo voltaje promedio fue de 43.7°C, intensidad de corriente promedio de  $8.74 \times 10^{-8}A$  e intensidad de luz o radiación promedio de  $30.97W/m^2$ , como se muestra a continuación.

**Tabla 11.** Ficha de recolección de datos en la celda fotovoltaica 4

Celda 04		Voltaje (mV)	Amperaje ( $\times 10^{-8}A$ )	Potencia ( $\times 10^{-6}W$ )	Irradiación ( $W/m^2$ )	$V_{m\acute{a}x}$	$P_{m\acute{a}x}$	FF	n
Día	Hora								
1	1	41.1	8.65	355.515	30	45.6	402.648	0.65	3.34
	2	43.9	8.57	376.223	29.9				
	3	42.1	8.87	373.427	30.2				
	4	42.8	8.71	372.788	31.3				
	5	44.3	8.57	379.651	31.4				
2	1	45.1	9.03	407.253	31.1				
	2	44.6	8.79	392.034	31.2				
	3	43.6	8.83	384.988	31.4				
	4	44.6	8.55	381.33	31.4				
	5	43.2	8.99	388.368	31				
3	1	44.6	8.69	387.574	31.1				
	2	43.8	8.75	383.25	31.3				
	3	45.6	8.83	402.648	31.3				
	4	42.6	8.58	365.508	31				
	5	43.6	8.69	378.884	31				
$\Sigma$		43.7	8.74	381.9627333	30.97				

Fuente: Elaboración propia, 2020.

La cuarta celda no obtuvo niveles tan malos como la segunda celda, pero no alcanzó los estándares de las celdas 1 y 3 puesto que sus niveles de potencia oscilaron entre 355 y  $402 \times 10^{-6}$  W. En el primer día, los valores fueron bajos; pero este comportamiento fue mejorando con el paso del tiempo de experimentación dado que la irradiación fue incrementando. Es así que, al tercer día, se lograron registrar los niveles máximos.

Acorde a la Tabla 11, en la tercera hora del tercer día, el voltaje y la potencia alcanzaron límites superiores de 45.6 mV y  $402.648 \times 10^{-6}$ W, respectivamente. Con base en estos datos, se halló 0.65 para el factor de llenado (FF) y 3.34% para la eficiencia (n).

Los datos del voltaje, amperaje e irradiación fueron recogidos directamente de la experimentación. La potencia (Pmc) fue calculada con la Ecuación (2), el factor de llenado (FF) con la Ecuación (4) y la eficiencia (n) con la Ecuación (3).

$$P_{mc} = 45.6 * 8.83 = 402.648$$

$$FF = \frac{402.648}{45.6 \times 13.58} = 0.65$$

$$n\% = \frac{402.648}{31.3 \times 385.15} * 100 = 3.34$$

#### 4.3.5. Celda fotovoltaica N° 5

Se trata de una celda fotovoltaica desarrollada a base de bórax, expuesta por un lapso de cinco horas, durante un periodo de tres días; cuyo voltaje promedio fue de 61.3°C, intensidad de corriente promedio de  $12.26 \times 10^{-8}$  e intensidad de luz o radiación promedio de 27.87W/m<sup>2</sup>, como se muestra a continuación:

**Tabla 12.** Ficha de recolección de datos en la celda fotovoltaica 5

Celda 05		Voltaje (mV)	Amperaje ( $\times 10^{-8}$ A)	Potencia ( $\times 10^{-6}$ W)	Irradiación (W/m <sup>2</sup> )	V <sub>máx</sub>	P <sub>máx</sub>	FF	n
Día	Hora								
1	1	57.7	11.41	658.357	25.4	64.3	978.003	0.74	4.54
	2	58.3	10.2	594.66	25.8				
	3	60.8	13.07	794.656	26				
	4	63.1	13.21	833.551	26				
	5	62.5	12.32	770	26.4				
2	1	57.7	11.01	635.277	26.8				
	2	64.2	12.11	777.462	27				
	3	62.3	11.14	694.022	28				
	4	62.4	14.21	886.704	28.3				
	5	60.5	11.52	696.96	29.1				
3	1	63.7	10.02	638.274	29.4				
	2	61.3	11.01	674.913	29.9				
	3	61.6	14.22	875.952	29.9				
	4	64.3	15.21	978.003	30.1				
	5	59.1	13.24	782.484	30				
Σ		61.3	12.26	752.7516667	27.87				

Fuente: Elaboración propia, 2020.

Hasta este punto, la quinta celda fotovoltaica obtuvo los mejores resultados dado que sus valores se elevaron y, con ello, su potencia osciló entre 594 y  $978 \times 10^{-6}$  W. Esto se vio favorecido por las excelentes condiciones climáticas y la ausencia de un fenómeno que pudiera entorpecer el resultado. En los tres días, demostró excelentes resultados, siendo el último de estos cuando registró el límite máximo.

Acorde a la Tabla 12, en la cuarta hora del tercer día, el voltaje y la potencia alcanzaron límites superiores de 64.3 mV y  $978.003 \times 10^{-6}$  W, respectivamente. Con base en estos datos, se halló 0.74 para el factor de llenado (FF) y 4.54% para la eficiencia (n).

Los datos del voltaje, amperaje e irradiación fueron recogidos directamente de la experimentación. La potencia (P<sub>mc</sub>) fue calculada con la Ecuación (2), el factor de llenado (FF) con la Ecuación (4) y la eficiencia (n) con la Ecuación (3).

$$P_{mc} = 64.3 * 15.21 = 978.003$$

$$FF = \frac{978.003}{64.3 \times 20.55} = 0.74$$

$$n\% = \frac{978.003}{30.1 \times 715.67} * 100 = 4.54$$

#### 4.3.6. Celda fotovoltaica N° 6

Se trata de una celda fotovoltaica desarrollada a base de bórax, expuesta por un lapso de cinco horas, durante un periodo de tres días; cuyo voltaje promedio fue de 35.8°C, intensidad de corriente promedio de 7.16×10<sup>-8</sup>A e intensidad de luz o radiación promedio de 30.28W/m<sup>2</sup>, como se muestra a continuación.

**Tabla 13.** Ficha de recolección de datos en la celda fotovoltaica 6

Celda 06		Voltaje (mV)	Amperaje (×10 <sup>-8</sup> A)	Potencia (×10 <sup>-6</sup> W)	Irradiación (W/m <sup>2</sup> )	Vmáx	Pmáx	FF	n
Día	Hora								
1	1	33.5	7.07	236.845	29.1	39.7	291.001	0.62	3.23
	2	31.2	7.11	221.832	29.4				
	3	36.7	7.23	265.341	29.9				
	4	35.1	7.41	260.091	29.9				
	5	37.7	6.91	260.507	30.1				
2	1	33.4	7.16	239.144	30				
	2	39.7	7.33	291.001	30.1				
	3	35.3	7.11	250.983	31.1				
	4	37.9	7.23	274.017	31				
	5	32.8	6.89	225.992	31				
3	1	37.7	7.14	269.178	31.2				
	2	39.1	7.31	285.821	31				
	3	34.9	7.11	248.139	30.2				
	4	36.6	7.25	265.35	30.1				
	5	35.4	7.14	252.756	30.1				
Σ		35.8	7.16	256.4664667	30.28				

Fuente: Elaboración propia, 2020.

La sexta celda fotovoltaica no proporcionó resultados aceptables dado que las celdas 1, 3, 4 y 5 obtuvieron niveles más altos. La potencia no sobrepasó los  $300 \times 10^{-6}$  W a pesar de contar con grados similares de irradiación al de las otras celdas. Su voltaje más alto fue muy bajo y no el esperado.

Acorde a la Tabla 13, en la segunda hora del segundo día, el voltaje y la potencia alcanzaron límites superiores de 39.7 mV y  $291.001 \times 10^{-6}$ W, respectivamente. Con base en estos datos, se halló 0.62 para el factor de llenado (FF) y 3.23% para la eficiencia (n).

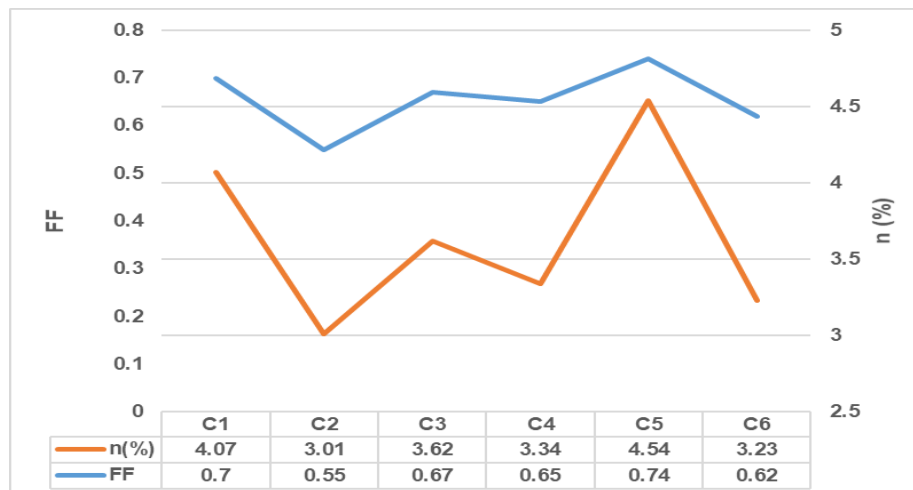
Los datos del voltaje, amperaje e irradiación fueron recogidos directamente de la experimentación. La potencia (Pmc) fue calculada con la Ecuación (2), el factor de llenado (FF) con la Ecuación (4) y la eficiencia (n) con la Ecuación (3).

$$P_{mc} = 39.7 * 7.33 = 291.001$$

$$FF = \frac{291.001}{39.7 \times 11.82} = 0.62$$

$$n\% = \frac{291.001}{30.1 \times 299.31} * 100 = 3.23$$

Los datos del factor de llenado y la eficiencia según la celda fotovoltaica analizada son diagramados en la siguiente gráfica.



**Figura 4.** Comportamiento del factor de llenado y la eficiencia de celda

El comportamiento expuesto por la Figura 4 reveló que las celdas 1 y 5 obtuvieron los mejores resultados. A comparación con el resto, su eficiencia

sobrepasó el 4% y sus niveles de calidad oscilaron entre 0.7 y 0.74, lo que significa que la potencia real se acerca mucho a la potencia ideal. Lo esperado es que, según Herrera (2013), esta última cifra se acerque a 1.

#### 4.4. Análisis estadísticos

##### 4.4.1. Estadístico descriptivo

El primer análisis efectuado al conjunto de datos fue el de carácter descriptivo con la finalidad de conocer el comportamiento promedio de la celda es así como se tiene:

**Tabla 14.** Estadísticos descriptivos para la Celda fotovoltaica 1 Voltaje (mV)

<b>Estadísticos</b>		
Voltaje		
N	Válido	15
	Perdidos	0
Media		554.3576
Mediana		551.6410
Moda		507.97 <sup>a</sup>
Desv. Desviación		24.70102
Mínimo		507.97
Máximo		592.27

*Fuente:* Elaborado por autor, salida del programa SPSS v.25, 2020.

El promedio que contiene el conjunto de datos, o también conocido como media, para la celda fotovoltaica 1 voltaje (mV) fue 554.3576. El valor que se encontró en la mitad del conjunto de datos, o también conocido como mediana, de la celda fue 551.6410. El valor que con mayor frecuencia se repitió en el conjunto de datos, o también denominado moda, dentro de la primera celda fotovoltaica 1 del estudio fue 19.

La medida en la que se dispersan los datos en relación con la media o mejor conocido como desviación para la celda fotovoltaica 1 Voltaje (mV) fue 24.70102. El punto mínimo del conjunto de datos se posicionó en 507.97, mientras que el punto máximo o valor máximo fue 592.27.

**Tabla 15.** Estadísticos descriptivos para la celda fotovoltaica 1 amperaje

<b>Estadísticos</b>		
Amperaje		
N	Válido	15
	Perdidos	0
Media		9.6600
Mediana		9.6800
Moda		9.46 <sup>a</sup>
Desv. Desviación		.10036
Mínimo		9.46
Máximo		9.81

*Fuente:* Elaborado por autor, salida del programa SPSS v.25, 2020.

El promedio que contiene el conjunto de datos, o también conocida como media, para la celda fotovoltaica 1 amperaje fue 9.6600. El valor que se encontró en la mitad del conjunto de datos, o también conocido como mediana, de la celda fue 9.6800. El valor que con mayor frecuencia se repitió en el conjunto de datos, o también denominado moda, dentro de la primera celda fotovoltaica 1 del estudio fue 9.46.

La medida en la que se dispersaron los datos en relación con la media, o mejor conocido como desviación, para la celda fotovoltaica 1 amperaje fue 0.10036. El punto mínimo del conjunto de datos se posicionó en 9.46, mientras que el punto máximo o valor máximo fue 9.81.

**Tabla 16.** Estadísticos descriptivos para la celda fotovoltaica 1 potencia

<b>Estadísticos</b>		
Potencia		
N	Válido	15
	Perdidos	0
Media		466.6843
Mediana		463.6440
Moda		423.81 <sup>a</sup>
Desv. Desviación		22.35404
Mínimo		423.81
Máximo		501.20

*Fuente:* Elaborado por autor, salida del programa SPSS v.25, 2020.

El promedio que contiene el conjunto de datos, o también conocido como media, para la celda fotovoltaica 1 potencia fue 466.6843. El valor que se encontró en la mitad del conjunto de datos, o también conocido como mediana, de la celda fue 463.6440. El valor que con mayor frecuencia se repitió en el conjunto de datos, o también denominado moda, dentro de la primera celda fotovoltaica 1 del estudio fue 423.81.

La medida en la que se dispersaron los datos en relación con la media o mejor conocido como desviación para la celda fotovoltaica 1 potencia fue 22.35404. El punto mínimo del conjunto de datos se posicionó en 423.81, mientras que el punto máximo o valor máximo fue 501.20.

**Tabla 17.** Estadísticos descriptivos para la celda fotovoltaica 1 irradiación

<b>Estadísticos</b>		
Irradiación		
N	Válido	15
	Perdidos	0
Media		29.7133
Mediana		29.9000
Moda		29.90
Desv. Desviación		.73763
Mínimo		28.40
Máximo		31.00

*Fuente:* Elaborado por autor, salida del programa SPSS v.25, 2020.

El promedio que contiene el conjunto de datos, o también conocida como media, para la celda fotovoltaica 1 irradiación fue 29.7133. El valor que se encontró en la mitad del conjunto de datos, o también conocido como mediana, de la celda fue 29.9000. El valor que con mayor frecuencia se repitió en el conjunto de datos, o también denominado moda, dentro de la primera celda fotovoltaica 1 del estudio fue 29.90.

La medida en la que se dispersaron los datos en relación con la media, o mejor conocido como desviación, para la celda fotovoltaica 1 irradiación fue 0.73763. El punto mínimo del conjunto de datos se posicionó en 28.40, mientras que el punto máximo o valor máximo fue 31.00.



**Tabla 18.** Estadísticos descriptivos para la celda fotovoltaica 2 voltaje (mV)

<b>Estadísticos</b>		
Voltaje		
N	Válido	15
	Perdidos	0
Media		18.2000
Mediana		18.4000
Moda		18.50 <sup>a</sup>
Desv. Desviación		.85607
Mínimo		16.50
Máximo		19.70

*Fuente:* Elaborado por autor, salida del programa SPSS v.25, 2020.

El promedio que contiene el conjunto de datos, o también conocida como media, para la Celda fotovoltaica 2 voltaje (mV) fue 18.200. El valor que se encontró en la mitad del conjunto de datos, o también conocido como mediana, de la celda fue 18.4000. El valor que con mayor frecuencia se repitió en el conjunto de datos, o también denominado moda, dentro de la primera celda fotovoltaica 2 del estudio fue 18.50.

La medida en la que se dispersaron los datos en relación con la media, o mejor conocido como desviación, para la celda fotovoltaica 2 voltaje (mV) fue 0.85607. el punto mínimo del conjunto de datos se posicionó en 16.50, mientras que el punto máximo o valor máximo fue 19.70.

**Tabla 19.** Estadísticos descriptivos para la celda fotovoltaica 2 amperaje

<b>Estadísticos</b>		
Amperaje		
N	Válido	15
	Perdidos	0
Media		3.6400
Mediana		3.6500
Moda		3.47 <sup>a</sup>
Desv. Desviación		.11402
Mínimo		3.47
Máximo		3.78

*Fuente:* Elaborado por autor, salida del programa SPSS v.25, 2020.

El promedio que contiene el conjunto de datos, o también conocida como media, para la celda fotovoltaica 2 amperaje fue 3.6400. El valor que se encontró en la mitad del conjunto de datos, o también conocido como mediana, de la celda fue 3.6500. El valor que con mayor frecuencia se repitió en el conjunto de datos, o también denominado moda, dentro de la primera celda fotovoltaica 2 del estudio fue 3.47.

La medida en la que se dispersaron los datos en relación con la media, o mejor conocido como desviación, para la celda fotovoltaica 2 amperaje fue 0.11402. El punto mínimo del conjunto de datos se posicionó en 3.47, mientras que el punto máximo o valor máximo fue 3.78.

**Tabla 20.** Estadísticos descriptivos para la celda fotovoltaica 2 potencia

<b>Estadísticos</b>		
Potencia		
N	Válido	15
	Perdidos	0
Media		66.2989
Mediana		66.5880
Moda		57.26 <sup>a</sup>
Desv. Desviación		4.58521
Mínimo		57.26
Máximo		74.47

*Fuente:* Elaborado por autor, salida del programa SPSS v.25, 2020.

El promedio que contiene el conjunto de datos, o también conocida como media, para la celda fotovoltaica 2 potencia fue 66.2989. El valor que se encontró en la mitad del conjunto de datos, o también conocido como mediana, de la celda fue 66.5880. El valor que con mayor frecuencia se repitió en el conjunto de datos, o también denominado moda, dentro de la primera celda fotovoltaica 2 del estudio fue 57.26.

La medida en la que se dispersaron los datos en relación con la media, o mejor conocido como desviación, para la celda fotovoltaica 2 potencia fue 4.58521. El punto mínimo del conjunto de datos se posicionó en 57.26, mientras que el punto máximo o valor máximo fue 74.47.

**Tabla 21.** Estadísticos descriptivos para la celda fotovoltaica 2 irradiación

<b>Estadísticos</b>		
Irradiación		
N	Válido	15
	Perdidos	0
Media		30.4733
Mediana		31.0000
Moda		31.00
Desv. Desviación		.73140
Mínimo		28.90
Máximo		31.20

*Fuente:* Elaborado por autor, salida del programa SPSS v.25, 2020.

El promedio que contiene el conjunto de datos, o también conocido como media, para la celda fotovoltaica 2 irradiación fue 30.4733. El valor que se encontró en la mitad del conjunto de datos, o también conocido como mediana, de la celda fue 31.000. El valor que con mayor frecuencia se repitió en el conjunto de datos, o también denominado moda, dentro de la primera celda fotovoltaica 2 del estudio fue 31.00.

La medida en la que se dispersaron los datos en relación con la media, o mejor conocido como desviación, para la celda fotovoltaica 2 Irradiación fue 0.73140. El punto mínimo del conjunto de datos se posicionó en 28.90, mientras que el punto máximo o valor máximo fue 31.20.

**Tabla 22.** Estadísticos descriptivos para la celda fotovoltaica 3 voltaje (mV)

<b>Estadísticos</b>		
Voltaje		
N	Válido	15
	Perdidos	0
Media		47.8000
Mediana		47.7000
Moda		46.70
Desv. Desviación		1.64273
Mínimo		45.40
Máximo		50.30

*Fuente:* Elaborado por autor, salida del programa SPSS v.25, 2020.

El promedio que contiene el conjunto de datos, o también conocida como media, para la celda fotovoltaica 3 voltaje (mV) fue 47.800. El valor que se encontró en la mitad del conjunto de datos, o también conocido como mediana, de la celda fue 47.700. El valor que con mayor frecuencia se repitió en el conjunto de datos, o también denominado moda, dentro de la primera celda fotovoltaica 3 del estudio fue 46.7.

La medida en la que se dispersaron los datos en relación con la media, o mejor conocido como desviación, para la celda fotovoltaica 3 voltaje (mV) fue 1.64273. El punto mínimo del conjunto de datos se posicionó en 45.40, mientras que el punto máximo o valor máximo fue 50.30.

**Tabla 23.** Estadísticos descriptivos para la celda fotovoltaica 3 amperaje

<b>Estadísticos</b>		
Amperaje		
N	Válido	15
	Perdidos	0
Media		9.5580
Mediana		9.5500
Moda		9.45 <sup>a</sup>
Desv. Desviación		.10435
Mínimo		9.31
Máximo		9.71

*Fuente:* Elaborado por autor, salida del programa SPSS v.25, 2020.

El promedio que contiene el conjunto de datos, o también conocida como media, para la celda fotovoltaica 3 amperajes fue 9.5580. El valor que se encontró en la mitad del conjunto de datos, o también conocido como mediana, de la celda fue 9.5500. El valor que con mayor frecuencia se repitió en el conjunto de datos, o también denominado moda, dentro de la primera celda fotovoltaica 3 del estudio fue 9.45.

La medida en la que se dispersaron los datos en relación con la media, o mejor conocido como desviación, para la celda fotovoltaica 3 amperaje fue 0.10435. El punto mínimo del conjunto de datos se posicionó en 9.31, mientras que el punto máximo o valor máximo fue 9.71.

**Tabla 24.** Estadísticos descriptivos para la celda fotovoltaica 3 potencia

<b>Estadísticos</b>		
Potencia		
N	Válido	15
	Perdidos	0
Media		456.9329
Mediana		449.7210
Moda		429.03 <sup>a</sup>
Desv. Desviación		18.24220
Mínimo		429.03
Máximo		488.41

*Fuente:* Elaborado por autor, salida del programa SPSS v.25, 2020.

El promedio que contiene el conjunto de datos, o también conocida como media, para la celda fotovoltaica 3 potencia fue 456.9329. El valor que se encontró en la mitad del conjunto de datos, o también conocido como mediana, de la celda fue 449.7210. El valor que con mayor frecuencia se repitió en el conjunto de datos, o también denominado moda, dentro de la primera celda fotovoltaica 3 del estudio fue 429.03.

La medida en la que se dispersaron los datos en relación con la media, o mejor conocido como desviación, para la celda fotovoltaica 3 potencia fue 18.24220. El punto mínimo del conjunto de datos se posicionó en 429.03, mientras que el punto máximo o valor máximo fue 488.41.

**Tabla 25.** Estadísticos descriptivos para la Celda fotovoltaica 3 irradiación

<b>Estadísticos</b>		
Irradiación		
N	Válido	15
	Perdidos	0
Media		30.5467
Mediana		31.0000
Moda		31.00
Desv. Desviación		.56929
Mínimo		29.80
Máximo		31.20

*Fuente:* Elaborado por autor, salida de programa SPSS v.25, 2020.

El promedio que contiene el conjunto de datos, o también conocida como media, para la celda fotovoltaica 3 irradiaciones fue 30.5467. El valor que se encontró en la mitad del conjunto de datos, o también conocido como mediana, de la celda fue 31.0000. El valor que con mayor frecuencia se repitió en el conjunto de datos, o también denominado moda, dentro de la primera celda fotovoltaica 3 del estudio fue 31.00.

La medida en la que se dispersaron los datos en relación con la media, o mejor conocido como desviación, para la celda fotovoltaica 3 irradiaciones fue 0.56929. El punto mínimo del conjunto de datos se posicionó en 29.80, mientras que el punto máximo o valor máximo fue 31.20.

**Tabla 26.** Estadísticos descriptivos para la celda fotovoltaica 4 voltaje (mV)

<b>Estadísticos</b>		
Voltaje		
N	Válido	15
	Perdidos	0
Media		43.7000
Mediana		43.8000
Moda		44.60
Desv. Desviación		1.19583
Mínimo		41.10
Máximo		45.60

*Fuente:* Elaborado por autor, salida de programa SPSS v.25, 2020.

El promedio que contiene el conjunto de datos, o también conocida como media, para la celda fotovoltaica 4 voltaje (mV) fue 43.7000. El valor que se encontró en la mitad del conjunto de datos, o también conocido como mediana, de la celda fue 43.8000. El valor que con mayor frecuencia se repitió en el conjunto de datos, o también denominado moda, dentro de la primera celda fotovoltaica 4 del estudio fue 44.60.

La medida en la que se dispersaron los datos en relación con la media, o mejor conocido como desviación, para la celda fotovoltaica 4 voltaje (mV) fue 1.19583. El punto mínimo del conjunto de datos se posicionó en 41.10, mientras que el punto máximo o valor máximo fue 45.60

**Tabla 27.** Estadísticos descriptivos para la celda fotovoltaica 4 amperaje

<b>Estadísticos</b>		
Amperaje		
N	Válido	15
	Perdidos	0
Media		8.7400
Mediana		8.7100
Moda		8.57 <sup>a</sup>
Desv. Desviación		.15019
Mínimo		8.55
Máximo		9.03

*Fuente:* Elaborado por autor, salida de programa SPSS v.25, 2020.

El promedio que contiene el conjunto de datos, o también conocida como media, para la celda fotovoltaica 4 amperaje fue 8.7400. El valor que se encontró en la mitad del conjunto de datos, o también conocido como mediana, de la celda fue 8.7100. El valor que con mayor frecuencia se repitió en el conjunto de datos, o también denominado moda, dentro de la primera celda fotovoltaica 4 del estudio fue 8.57.

La medida en la que se dispersaron los datos en relación con la media, o mejor conocido como desviación, para la celda fotovoltaica 4 amperaje fue 0.15019. El punto mínimo del conjunto de datos se posicionó en 8.55, mientras que el punto máximo o valor máximo fue 9.03.

**Tabla 28 .** Estadísticos descriptivos para la celda fotovoltaica 4 potencia

<b>Estadísticos</b>		
Potencia		
N	Válido	15
	Perdidos	0
Media		381.9627
Mediana		381.3300
Moda		355.52 <sup>a</sup>
Desv. Desviación		13.16834
Mínimo		355.52
Máximo		407.25

*Fuente:* Elaborado por autor, salida de programa SPSS v.25, 2020.

El promedio que contiene el conjunto de datos, o también conocida como media, para la celda fotovoltaica 4 potencia fue 381.9627. El valor que se encontró en la mitad del conjunto de datos, o también conocido como mediana, de la celda fue 381.3300. El valor que con mayor frecuencia se repitió en el conjunto de datos, o también denominado moda, dentro de la primera celda fotovoltaica 4 del estudio fue 355.52.

La medida en la que se dispersaron los datos en relación con la media, o mejor conocido como desviación, para la celda fotovoltaica 4 potencia fue 13.16834. El punto mínimo del conjunto de datos se posicionó en 355.52, mientras que el punto máximo o valor máximo fue 407.25.

**Tabla 29.** Estadísticos descriptivos para la celda fotovoltaica 4 irradiación

<b>Estadísticos</b>		
Irradiación		
N	Válido	15
	Perdidos	0
Media		30.9733
Mediana		31.1000
Moda		31.00 <sup>a</sup>
Desv. Desviación		.51056
Mínimo		29.90
Máximo		31.40

*Fuente:* Elaborado por autor, salida de programa SPSS v.25, 2020.

El promedio que contiene el conjunto de datos, o también conocida como media, para la celda fotovoltaica 4 irradiación fue 30.973. El valor que se encontró en la mitad del conjunto de datos, o también conocido como mediana, de la celda fue 31.100. El valor que con mayor frecuencia se repitió en el conjunto de datos, o también denominado moda, dentro de la primera celda fotovoltaica 4 del estudio fue 31.0.

La medida en la que se dispersaron los datos en relación con la media, o mejor conocido como desviación, para la celda fotovoltaica 4 irradiación fue 0.51056. El punto mínimo del conjunto de datos se posicionó en 29.90, mientras que el punto máximo o valor máximo fue 31.40.



**Tabla 30.** Estadísticos descriptivos para la celda fotovoltaica 5 voltaje (mV)

<b>Estadísticos</b>		
Voltaje		
N	Válido	15
	Perdidos	0
Media		61.3000
Mediana		61.6000
Moda		57.70
Desv. Desviación		2.24881
Mínimo		57.70
Máximo		64.30

*Fuente:* Elaborado por autor, salida de programa SPSS v.25, 2020.

El promedio que contiene el conjunto de datos, o también conocida como media, para la celda fotovoltaica 5 voltaje (mV) fue 61.3000. El valor que se encontró en la mitad del conjunto de datos, o también conocido como mediana, de la celda fue 61.6000. El valor que con mayor frecuencia se repite en el conjunto de datos, o también denominado moda, dentro de la primera celda fotovoltaica 5 del estudio fue 57.70.

La medida en la que se dispersaron los datos en relación con la media, o mejor conocido como desviación, para la celda fotovoltaica 5 voltaje (mV) fue 2.24881. El punto mínimo del conjunto de datos se posicionó en 57.70, mientras que el punto máximo o valor máximo fue 64.30.

**Tabla 31.** Estadísticos descriptivos para la celda fotovoltaica 5 amperaje

<b>Estadísticos</b>		
Amperaje		
N	Válido	15
	Perdidos	0
Media		12.2600
Mediana		12.1100
Moda		11.01
Mínimo		10.02
Máximo		15.21
Suma		183.90

*Fuente:* Elaborado por autor, salida de programa SPSS v.25, 2020.

El promedio que contiene el conjunto de datos, o también conocida como media, para la celda fotovoltaica 1 voltaje (mV) fue 554.3576 El valor que se encontró en la mitad del conjunto de datos, o también conocido como mediana, de la celda fue 551.6410. El valor que con mayor frecuencia se repitió en el conjunto de datos, o también denominado moda, dentro de la primera celda fotovoltaica 1 del estudio fue 19.

La medida en la que se dispersaron los datos en relación con la media, o mejor conocido como desviación, para la celda fotovoltaica 1 voltaje (mV) fue 24.70102. El punto mínimo del conjunto de datos se posicionó en 507.97, mientras que el punto máximo o valor máximo fue 592.27.

**Tabla 32.** Estadísticos descriptivos para la celda fotovoltaica 5 amperaje

<b>Estadísticos</b>		
Potencia		
N	Válido	15
	Perdidos	0
Media		752.7517
Mediana		770.0000
Moda		594.66 <sup>a</sup>
Desv. Desviación		109.33756
Mínimo		594.66
Máximo		978.00

*Fuente:* Elaborado por autor, salida de programa SPSS v.25, 2020.

El promedio que contiene el conjunto de datos, o también conocida como media, para la celda fotovoltaica 5 Potencia fue 752.7517. El valor que se encontró en la mitad del conjunto de datos, o también conocido como mediana, de la celda fue 770.0000. El valor que con mayor frecuencia se repitió en el conjunto de datos, o también denominado moda, dentro de la primera celda fotovoltaica 5 del estudio fue 594.66.

La medida en la que se dispersaron los datos en relación con la media, o mejor conocido como desviación, para la celda fotovoltaica 5 Potencia fue 109.33756. El punto mínimo del conjunto de datos se posicionó en 594.66, mientras que el punto máximo o valor máximo fue 978.00.

**Tabla 33.** Estadísticos descriptivos para la Celda fotovoltaica 5 Irradiación

<b>Estadísticos</b>		
Irradiación		
N	Válido	15
	Perdidos	0
Media		27.8733
Mediana		28.0000
Moda		26.00 <sup>a</sup>
Desv. Desviación		1.75762
Mínimo		25.40
Máximo		30.10

*Fuente:* Elaborado por autor, salida de programa SPSS v.25, 2020.

El promedio que contiene el conjunto de datos, o también conocida como media, para la Celda fotovoltaica 5 Irradiación (mV) fue 27.8733. El valor que se encontró en la mitad del conjunto de datos, o también conocido como mediana, de la celda fue 28.0000. El valor que con mayor frecuencia se repite en el conjunto de datos, o también denominado moda, dentro de la primera celda fotovoltaica 5 del estudio fue 26.00.

La medida en la que se dispersaron los datos en relación con la media, o mejor conocido como desviación, para la celda fotovoltaica 5 Irradiación fue 1.75762. El punto mínimo del conjunto de datos se posicionó en 25.40, mientras que el punto máximo o valor máximo fue 30.10

**Tabla 34.** Estadísticos descriptivos para la Celda fotovoltaica 6 Voltaje (mV)

<b>Estadísticos</b>		
Voltaje		
N	Válido	15
	Perdidos	0
Media		35.8000
Mediana		35.4000
Moda		37.70
Desv. Desviación		2.42163
Mínimo		31.20
Máximo		39.70

*Fuente:* Elaborado por autor, salida de programa SPSS v.25, 2020.

El promedio que contiene el conjunto de datos, o también conocida como media, para la Celda fotovoltaica 6 Voltaje (mV) fue 35.8000. El valor que se encontró en la mitad del conjunto de datos, o también conocido como mediana, de la celda fue 35.4000. El valor que con mayor frecuencia se repitió en el conjunto de datos, o también denominado moda, dentro de la primera celda fotovoltaica 6 del estudio fue 37.70.

La medida en la que se dispersaron los datos en relación con la media, o mejor conocido como desviación, para la celda fotovoltaica 6 Voltaje (mV) fue 2.421163. El punto mínimo del conjunto de datos se posicionó en 31.20, mientras que el punto máximo o valor máximo fue 39.70.

**Tabla 35.** Estadísticos descriptivos para la Celda fotovoltaica 6 Amperaje

<b>Estadísticos</b>		
Amperaje		
N	Válido	15
	Perdidos	0
Media		7.1600
Mediana		7.1400
Moda		7.11
Desv. Desviación		.14233
Mínimo		6.89
Máximo		7.41

*Fuente:* Elaborado por autor, salida de programa SPSS v.25, 2020.

El promedio que contiene el conjunto de datos, o también conocida como media, para la Celda fotovoltaica 6 Amperaje fue 7.1600. El valor que se encontró en la mitad del conjunto de datos, o también conocido como mediana, de la celda fue 7.1400. El valor que con mayor frecuencia se repitió en el conjunto de datos, o también denominado moda, dentro de la primera celda fotovoltaica 6 del estudio fue 7.11.

La medida en la que se dispersaron los datos en relación con la media, o mejor conocido como desviación, para la celda fotovoltaica 6 Amperaje fue 0.14233. El punto mínimo del conjunto de datos se posicionó en 6.89, mientras que el punto máximo o valor máximo fue 7.41.

**Tabla 36.** Estadísticos descriptivos para la Celda fotovoltaica 6 Potencia

<b>Estadísticos</b>		
Potencia		
N	Válido	15
	Perdidos	0
Media		256.4665
Mediana		260.0910
Moda		221.83 <sup>a</sup>
Desv. Desviación		20.06695
Mínimo		221.83
Máximo		291.00

*Fuente:* Elaborado por autor, salida de programa SPSS v.25, 2020.

El promedio que contiene el conjunto de datos, o también conocida como media, para la Celda fotovoltaica 6 Potencia fue 256.4665. El valor que se encontró en la mitad del conjunto de datos, o también conocido como mediana, de la celda fue 260.0910. El valor que con mayor frecuencia se repitió en el conjunto de datos, o también denominado moda, dentro de la primera celda fotovoltaica 6 del estudio fue 221.83.

La medida en la que se dispersaron los datos en relación con la media o mejor conocido como desviación para la celda fotovoltaica 6 Potencia fue 20.06695. El punto mínimo del conjunto de datos se posicionó en 221.83, mientras que el punto máximo o valor máximo fue 291.00.

**Tabla 37.** Estadísticos descriptivos para la Celda fotovoltaica 6 Irradiación

<b>Estadísticos</b>		
Irradiación		
N	Válido	15
	Perdidos	0
Media		30.2800
Mediana		30.1000
Moda		30.10
Desv. Desviación		.64054
Mínimo		29.10
Máximo		31.20

*Fuente:* Elaborado por autor, salida de programa SPSS v.25, 2020.

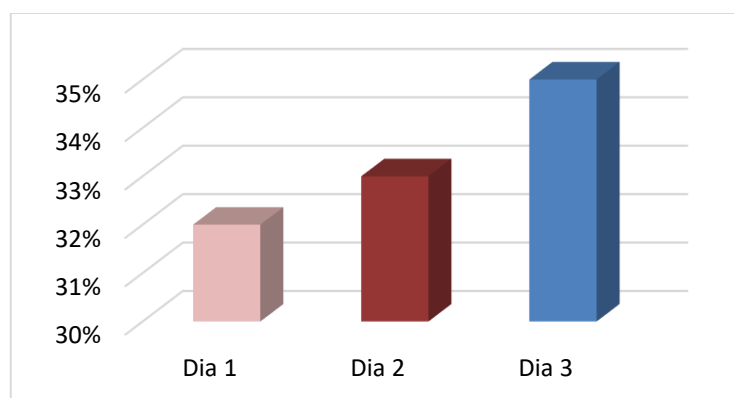
El promedio que contiene el conjunto de datos, o también conocida como media, para la Celda fotovoltaica 6 irradiación fue 30.2800. El valor que se encuentra en la mitad del conjunto de datos, o también conocido como mediana, de la celda fue 30.1000. El valor que con mayor frecuencia se repitió en el conjunto de datos, o también denominado moda, dentro de la primera celda fotovoltaica 6 del estudio fue 30.10.

La medida en la que se dispersaron los datos en relación con la media, o mejor conocido como desviación, para la celda fotovoltaica 6 Irradiación fue 0.64054. El punto mínimo del conjunto de datos se posicionó en 29.10, mientras que el punto máximo o valor máximo fue 31.20.

#### 4.4.2. Estadístico comparativo

**Tabla 38.** Distribución por días Voltaje C1

CELDA 1		
DIA	Voltaje	%
1	46.26	32%
2	48.26	33%
3	50.16	35%



**Figura 23. Celda 1 Voltaje**

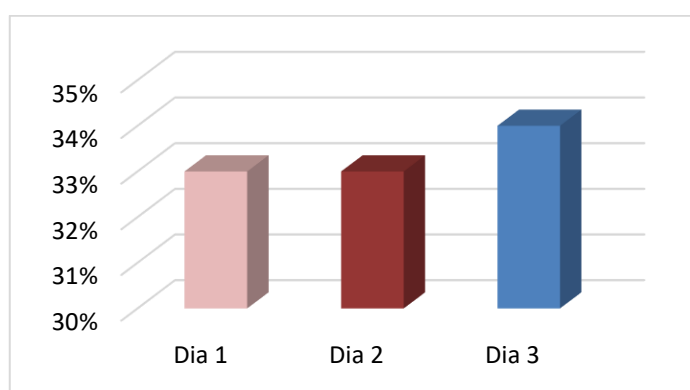
Elaboración propia, 2020.

La celda 1 el día uno mostró un porcentaje de voltaje equivalente a 32%, el día dos un porcentaje de 33% y el día tres un porcentaje de 35%, lo que evidenció

que a medida que transcurrían los días incrementaba el porcentaje de voltaje de energía eléctrica generada por la celda 1, siendo el tercer día el de mayor número.

**Tabla 39.** Distribución por días Amperaje C1

CELDA 1		
DIA	Amperaje	%
1	9.588	33%
2	9.652	33%
3	9.74	34%



**Figura 24. Celda 1 Amperaje**

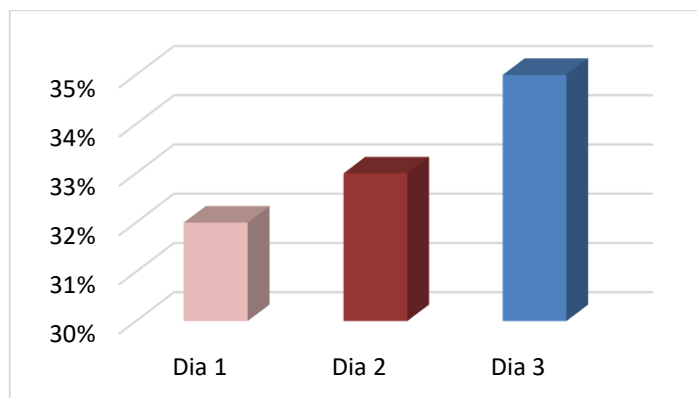
Elaboración propia, 2020.

La celda 1 el día uno mostró un porcentaje de amperaje equivalente a 33%, el día dos un porcentaje de 33% y el día tres un porcentaje de 34%, lo que evidenció que a medida que el amperaje se mantuvo los dos primeros días, pero el tercer día se incrementó el porcentaje de amperaje de energía eléctrica generada por la celda 1, siendo el tercer día el de mayor número.

**Tabla 40.** Distribución por días Potencia C1

CELDA 1		
DIA	Potencia	%
1	443.6078	32%
2	467.9092	33%
3	488.5358	35%

Elaboración propia, 2020.



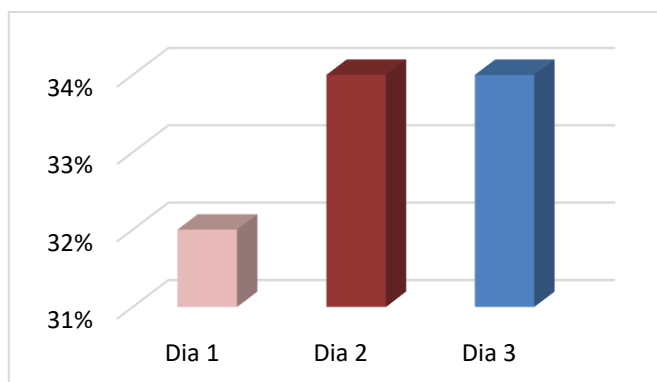
**Figura 25. Celda 1 Potencia**

La celda 1 el día uno mostró un porcentaje de potencia equivalente a 32%, el día dos un porcentaje de 33% y el día tres un porcentaje de 35%, lo que evidenció que a medida que el amperaje se incrementaba día a día el porcentaje de amperaje de energía eléctrica generada por la celda 1, siendo el tercer día el de mayor número.

**Tabla 41. Distribución por días Irradiación C1**

<b>CELDA 1</b>		
<b>DIA</b>	<b>Irradiación</b>	<b>%</b>
<b>1</b>	28.92	32%
<b>2</b>	29.92	34%
<b>3</b>	30.18	34%

Elaboración propia, 2020.



**Figura 26. Celda 1 irradiación**

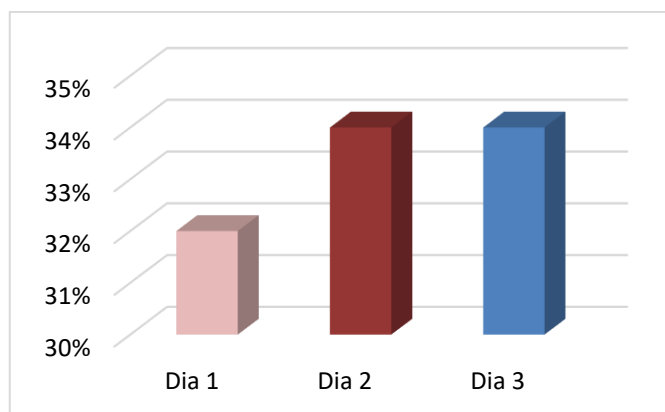


La celda 1 el día uno mostró un porcentaje de irradiación equivalente a 32%, el día dos un porcentaje de 34% y el día tres un porcentaje de 34%, lo que evidenció que la irradiación se incrementaba diariamente, el porcentaje de amperaje de energía eléctrica generada por la celda 1, siendo el tercer día el de mayor número.

**Tabla 42.** Distribución por días Voltaje C2

CELDA 2		
DIA	Voltaje	%
1	17.76	32%
2	18.4	34%
3	18.44	34%

Elaboración propia, 2020.



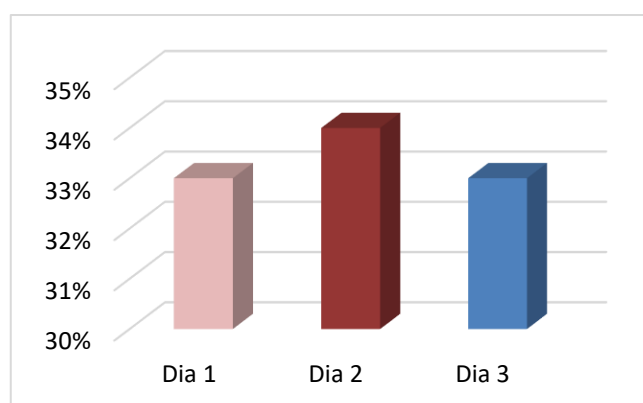
**Figura 27.** Celda 2 Voltaje

La celda 2 el día uno mostró un porcentaje de voltaje equivalente a 32%, el día dos un porcentaje de 34% y el día tres un porcentaje de 34%, lo que evidenció que el voltaje se incrementaba diariamente, el porcentaje de amperaje de energía eléctrica generada por la celda 2, siendo el tercer día el de mayor número, aunque solo incrementa una pequeña cantidad.

**Tabla 43.** Distribución por días Amperaje C2

CELDA 2		
DIA	Amperaje	%
1	3.626	33%
2	3.668	34%
3	3.626	33%

Elaboración propia, 2020.

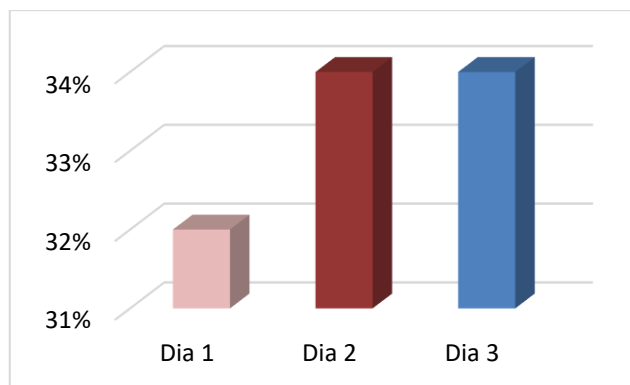


**Figura 28.** Celda 2 Amperaje

La celda 2 el día uno mostró un porcentaje de amperaje equivalente a 32%, el día dos un porcentaje de 34% y el día tres un porcentaje de 33%, lo que evidenció que el amperaje se incrementó el segundo día el porcentaje de amperaje de energía eléctrica generada por la celda 2, pero el día tres disminuye este número, aunque solo en una pequeña cantidad.

**Tabla 44.** Distribución por días Potencia C2

CELDA 2		
DIA	Potencia	%
1	64.5264	32%
2	67.5198	34%
3	66.8506	34%



**Figura 29. Celda 2 Potencia**

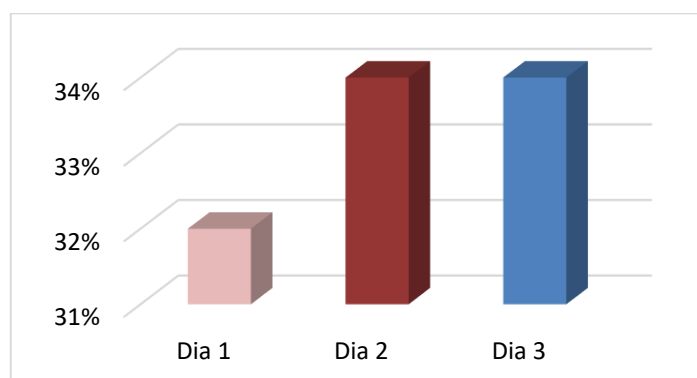
Elaboración propia, 2020

La celda 2 el día uno mostró un porcentaje de potencia equivalente a 32%, el día dos un porcentaje de 34% y el día tres un porcentaje de 34%, lo que evidenció que la potencia se incrementó el segundo día el porcentaje de potencia de energía eléctrica generada por la celda 2, disminuyendo un poco el día tres, aunque solo fue una pequeña cantidad.

**Tabla 45. Distribución por días irradiación C2**

CELDA 2		
DIA	Irradiación	%
1	29.7	32%
2	30.88	34%
3	31.1	34%

Elaboración propia, 2020



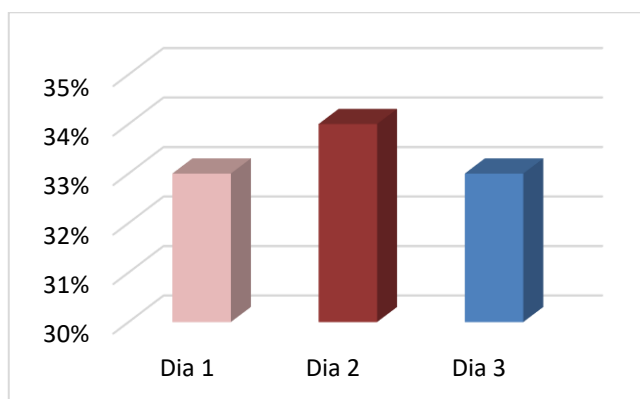
**Figura 30. Celda 2 irradiación**

La celda 2 el día uno mostró un porcentaje de irradiación equivalente a 32%, el día dos un porcentaje de 34% y el día tres un porcentaje de 34%, lo que evidenció que la irradiación se incrementó el segundo día el porcentaje de irradiación de energía eléctrica generada por la celda 2, aumentando un poco el día tres, aunque solo fue una pequeña cantidad.

**Tabla 46.** Distribución por días voltaje C3

<b>CELDA 3</b>		
<b>DIA</b>	<b>Voltaje</b>	<b>%</b>
<b>1</b>	47.62	33%
<b>2</b>	48.62	34%
<b>3</b>	47.16	33%

Elaboración propia, 2020

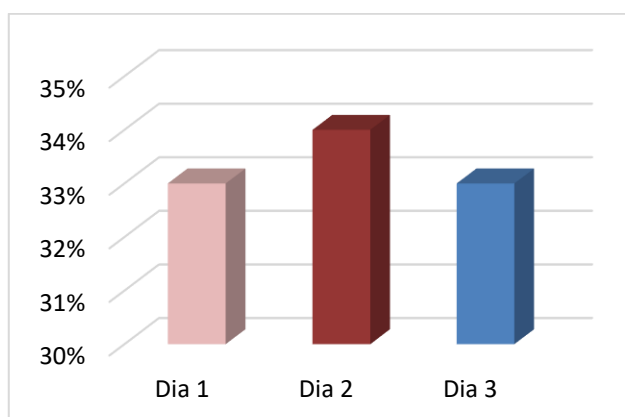


**Figura 31.** Celda 3 Voltaje

La celda 3 el día uno mostró un porcentaje de voltaje equivalente a 33%, el día dos un porcentaje de 34% y el día tres un porcentaje de 33%, lo que evidenció que el voltaje se incrementó en el segundo día el porcentaje de voltaje de energía eléctrica generada por la celda 3, disminuyendo un poco el día tres, aunque solo fue una pequeña cantidad.

**Tabla 47.** Distribución por días Amperaje C3

<b>CELDA 3</b>		
<b>DIA</b>	<b>Amperaje</b>	<b>%</b>
<b>1</b>	9.534	33%
<b>2</b>	9.652	34%
<b>3</b>	9.488	33%

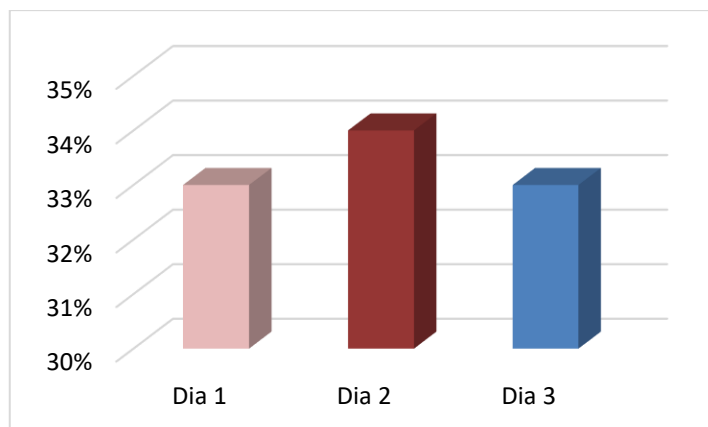


**Figura 32.** Celda 3 Amperaje

La celda 3 el día uno mostró un porcentaje de amperaje equivalente a 33%, el día dos un porcentaje de 34% y el día tres un porcentaje de 33%, lo que evidenció que el amperaje se incrementó en el segundo día el porcentaje de amperaje de energía eléctrica generada por la celda 3, disminuyendo un poco el día tres, aunque solo fue una pequeña cantidad.

**Tabla 48.** Distribución por días Potencia C3

<b>CELDA 3</b>		
<b>DIA</b>	<b>Potencia</b>	<b>%</b>
<b>1</b>	454.0738	33%
<b>2</b>	469.3066	34%
<b>3</b>	447.4182	33%

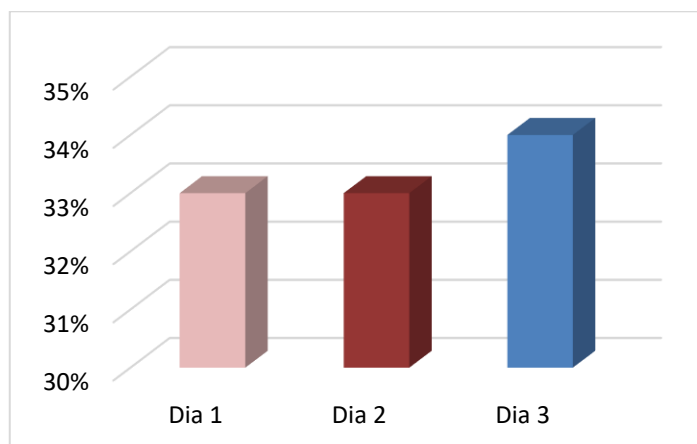


**Figura 33. Celda 3 Potencia**

La celda 3 el día uno mostró un porcentaje de potencia equivalente a 33%, el día dos un porcentaje de 34% y el día tres un porcentaje de 33%, lo que evidenció que la potencia se incrementó en el segundo día el porcentaje de potencia de energía eléctrica generada por la celda 3, disminuyendo un poco el día tres, aunque solo fue una pequeña cantidad.

**Tabla 49.** Distribución por días irradiación C3

CELDA 3		
DIA	Irradiación	%
1	30.48	33%
2	30.38	33%
3	30.88	34%

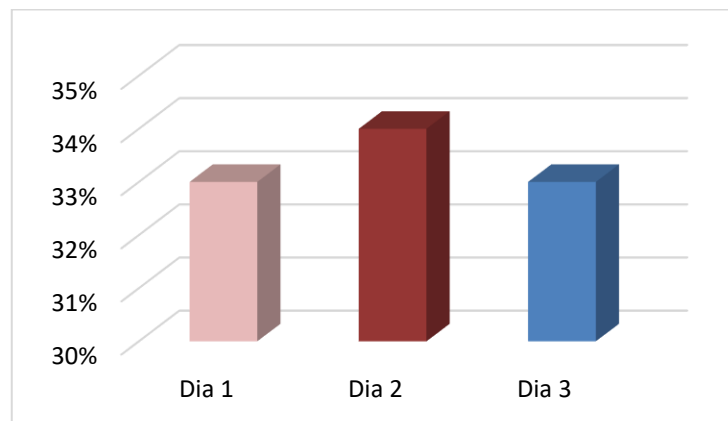


**Figura 34. Celda 3 irradiación**

La celda 3 el día 1 mostró un porcentaje de irradiación equivalente a 33%, el día 2 un porcentaje de 33% y el día 3 un porcentaje de 34%, lo que evidenció que la irradiación se incrementó en el segundo día el porcentaje de irradiación de energía eléctrica generada por la celda 3, incrementándose un poco el día 3, aunque solo fue una pequeña cantidad.

**Tabla 50.** Distribución por días voltaje C4

<b>CELDA 4</b>		
<b>DIA</b>	<b>Voltaje</b>	<b>%</b>
<b>1</b>	42.84	33%
<b>2</b>	44.22	34%
<b>3</b>	44.04	33%

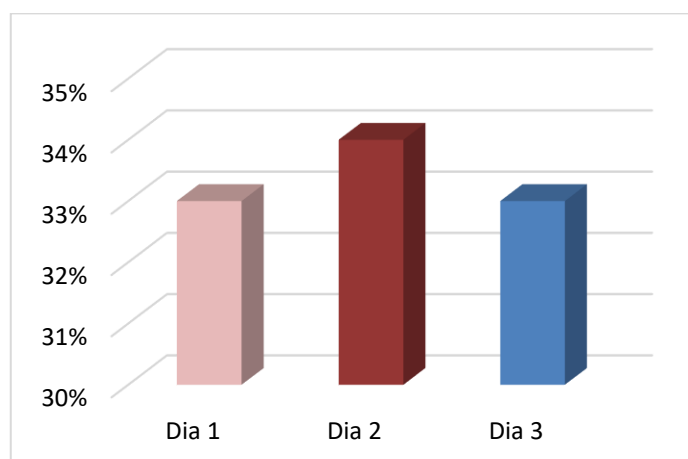


**Figura 35.** Celda 4 Voltaje

La celda 4 el día uno mostró un porcentaje de voltaje equivalente a 33%, el día dos un porcentaje de 34% y el día tres un porcentaje de 33%, lo que evidenció que el voltaje se incrementó en el segundo día el porcentaje de voltaje de energía eléctrica generada por la celda 4, disminuyendo un poco el día tres, aunque solo fue una pequeña cantidad.

**Tabla 51.** Distribución por días Amperaje C4

CELDA 4		
DIA	Amperaje	%
1	8.674	33%
2	8.838	34%
3	8.708	33%



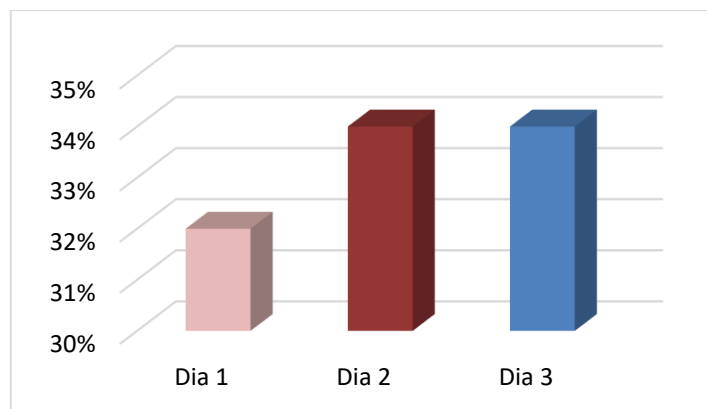
**Figura 36.** Celda 4 amperaje

La celda 4 el día uno mostró un porcentaje de amperaje equivalente a 33%, el día dos un porcentaje de 34% y el día tres un porcentaje de 33%, lo que evidenció que el amperaje se incrementó en el segundo día el porcentaje de amperaje de energía eléctrica generada por la celda 4, disminuyendo un poco el día tres, aunque solo fue un pequeño porcentaje.

**Tabla 52.** Distribución por días Potencia C4

CELDA 4		
DIA	Potencia	%
1	371.5208	32%
2	390.7946	34%
3	383.5728	34%



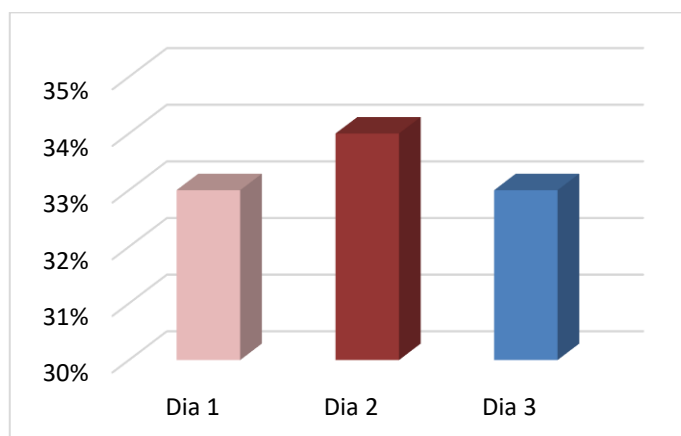


**Figura 37. Celda 4 potencia**

La celda 4 el día uno mostró un porcentaje de potencia equivalente a 32%, el día dos un porcentaje de 34% y el día tres un porcentaje de 34%, lo que evidenció que el porcentaje se incrementó en el segundo día el porcentaje de potencia de energía eléctrica generada por la celda 4, disminuyendo un poco el día tres, aunque solo fue una pequeña cantidad.

**Tabla 53.** Distribución por días irradiación C4

CELDA 4		
DIA	Irradiación	%
1	30.56	33%
2	31.22	34%
3	31.14	33%

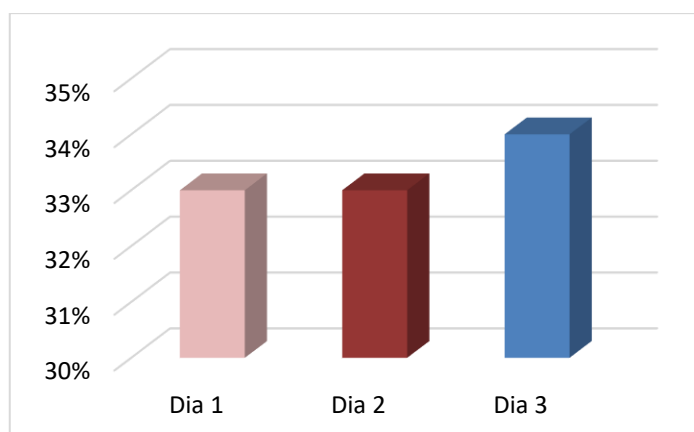


**Figura 38. Celda 4 irradiación**

La celda 4 el día uno mostró un porcentaje de irradiación equivalente a 33%, el día dos un porcentaje de 34% y el día tres un porcentaje de 33%, lo que evidenció que la irradiación se incrementó en el segundo día el porcentaje de irradiación de energía eléctrica generada por la celda 4, disminuyendo un poco el día tres, aunque solo fue un pequeño porcentaje.

**Tabla 54.** Distribución por días Voltaje C5

<b>CELDA 5</b>		
<b>DIA</b>	<b>Voltaje</b>	<b>%</b>
<b>1</b>	60.48	33%
<b>2</b>	61.42	33%
<b>3</b>	62	34%

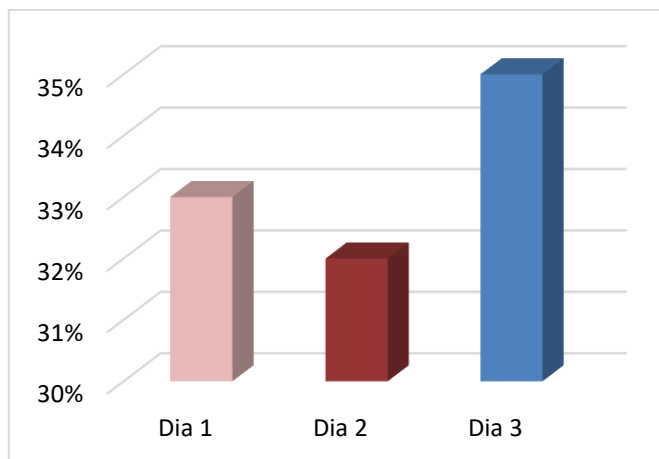


**Figura 39.** Celda 5 voltaje

La celda 5 el día uno mostró un porcentaje de voltaje equivalente a 33%, el día dos un porcentaje de 33% y el día tres un porcentaje de 34%, lo que evidenció que el voltaje se incrementó un poco en el segundo día el porcentaje de voltaje de energía eléctrica generada por la celda 5, se incrementó un poco el día tres, aunque solo fue un pequeño porcentaje.

**Tabla 55.** Distribución por días Amperaje C5

CELDA 5		
DIA	Amperaje	%
1	12.042	33%
2	11.998	32%
3	12.74	35%

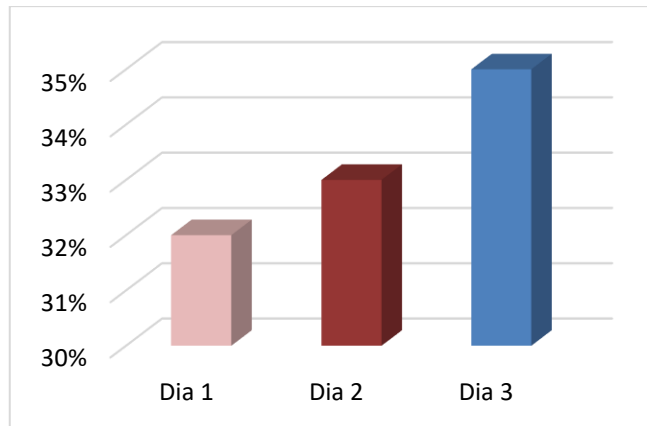


**Figura 40. Celda 5 amperaje**

La celda 5 el día uno mostró un porcentaje de amperaje equivalente a 33%, el día dos un porcentaje de 32% y el día tres un porcentaje de 35%, lo que evidenció que el amperaje disminuyó un 1% el segundo día, pero se incrementó un 2% en el tercer día el porcentaje de amperaje de energía eléctrica generada por la celda 5, se incrementó un poco el día tres, aunque solo fue un pequeño porcentaje.

**Tabla 56. Distribución por días Potencia C5**

CELDA 5		
DIA	Potencia	%
1	730.2448	32%
2	738.085	33%
3	789.9252	35%

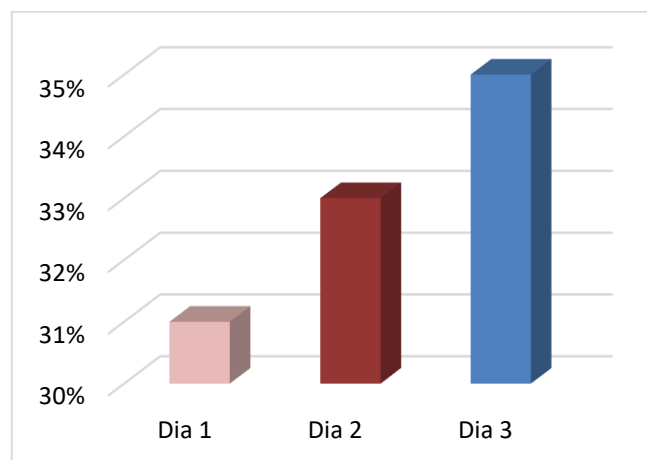


**Figura 41. Celda 5 potencia**

La celda 5 el día uno mostró un porcentaje de potencia equivalente a 32%, el día dos un porcentaje de 33% y el día tres un porcentaje de 35%, lo que evidenció que la potencia aumentó un 1% el segundo día, pero se incrementó un 2% en el tercer día el porcentaje de potencia de energía eléctrica generada por la celda 5, se incrementó un poco el día tres, aunque solo fue un pequeño porcentaje.

**Tabla 57. Distribución por días irradiación C5**

CELDA 5		
DIA	Irradiación	%
1	25.92	31%
2	27.84	33%
3	29.86	36%

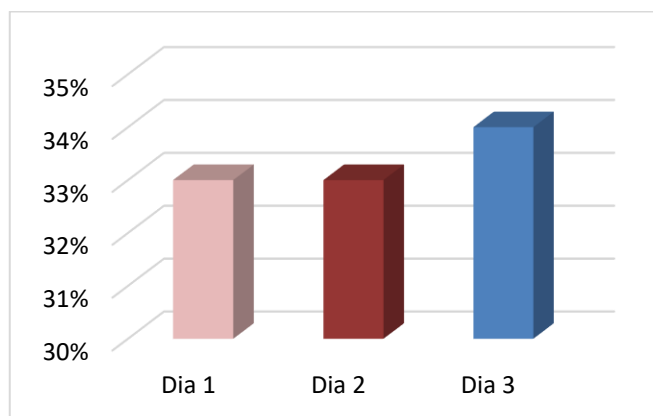


**Figura 42. Celda 5 irradiación**

La celda 5 el día uno mostró un porcentaje de irradiación equivalente a 31%, el día dos un porcentaje de 33% y el día tres un porcentaje de 36%, lo que evidenció que la irradiación ha ido incrementando día con día, aumentó un 2% el segundo día, al igual que se incrementó un 2% en el tercer día el porcentaje de irradiación de energía eléctrica generada por la celda 5, mostró el mayor porcentaje.

**Tabla 58.** Distribución por días Voltaje C6

CELDA 6		
DIA	Voltaje	%
1	34.84	33%
2	35.82	33%
3	36.74	34%

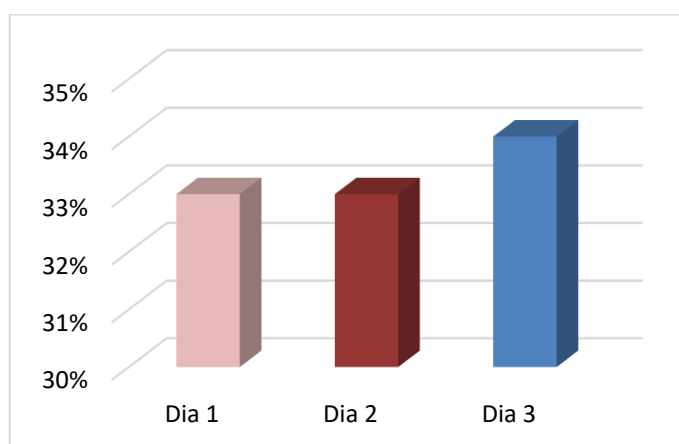


**Figura 43.** Celda 6 voltaje

La celda 6 el día uno mostró un porcentaje de voltaje equivalente a 33%, el día dos un porcentaje de 33% y el día tres un porcentaje de 34%, lo que evidenció que el voltaje ha ido incrementando día con día, aumentando una pequeña cantidad el segundo día, y se incrementó un 2% en el tercer día el porcentaje de voltaje de energía eléctrica generada por la celda 6.

**Tabla 59.** Distribución por días Amperaje C6

CELDA 6		
DIA	Amperaje	%
1	7.146	33%
2	7.144	33%
3	7.19	34%

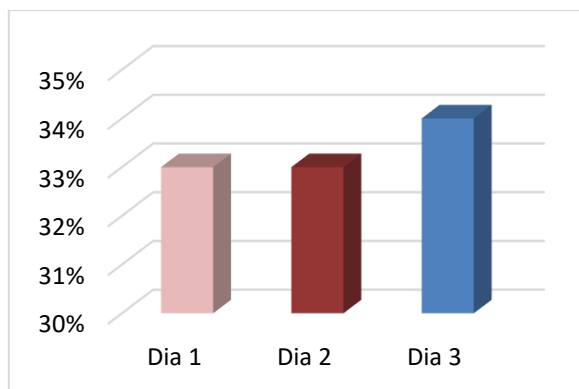


**Figura 44.** Celda 6 amperaje

La celda 6 el día uno mostró un porcentaje de amperaje equivalente a 33%, el día dos un porcentaje de 33% y el día tres un porcentaje de 34%, lo que evidenció que el amperaje ha ido incrementando día con día, disminuyendo una pequeña cantidad el segundo día, y se incrementó un 2% en el tercer día el porcentaje de amperaje de energía eléctrica generada por la celda 6.

**Tabla 60.** Distribución por días Potencia C6

CELDA 6		
DIA	Potencia	%
1	248.9232	33%
2	256.2274	33%
3	264.2488	34%

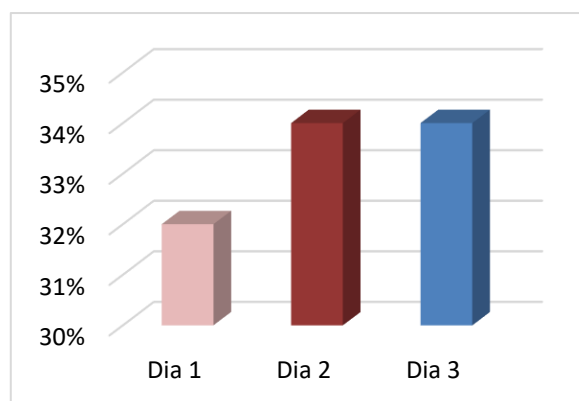


**Figura 45. Celda 6 potencia**

La celda 6 el día uno mostró un porcentaje de potencia equivalente a 33%, el día dos un porcentaje de 33% y el día tres un porcentaje de 34%, lo que evidenció que la potencia ha ido incrementando día con día, incrementándose una pequeña cantidad en el segundo día, y se incrementó un 1% en el tercer día el porcentaje de potencia de energía eléctrica generada por la celda 6.

**Tabla 61. Distribución por días irradiación C6**

CELDA 6		
DIA	Irradiación	%
1	28.94	32%
2	30.64	34%
3	30.52	34%



**Figura 43. Celda 6 irradiación**

Elaboración propia, 2020

La celda 6 el día uno mostró un porcentaje de irradiación equivalente a 32%, el día dos un porcentaje de 34% y el día tres un porcentaje de 34%, lo que evidenció que la irradiación ha incrementado un 2% en el segundo día, manteniéndose el porcentaje de irradiación de energía eléctrica en el tercer día generada por la celda 6.

#### 4.4.3. Estadístico deductivo

Con base en el análisis es evidente que las celdas C3 y C4 fueron las que mejores resultados arrojaron en las pruebas al generar la energía eléctrica.

El siguiente paso fue determinar la normalidad entre el conjunto de datos para cada una de las celdas seleccionadas con la finalidad de precisar el tipo de prueba apropiada a aplicar para la comprobación de hipótesis en la búsqueda de la relación entre las variables. Para lo cual se efectuó la prueba de Shapiro-Wilk puesto que el total de la muestra es  $\leq 50$ , teniendo como base de análisis que:

$P(\text{sig.}) \leq 0.05$  = la distribución no es anormal (asimétrica) y se aplica chi cuadrado.

$P(\text{sig.}) \geq 0.05$  = la distribución es normal (simétrica) y se aplica T-Student.

**Tabla 62.** Prueba de normalidad para la celda C3

#### Pruebas de normalidad

	Shapiro-Wilk		
	Estadístico	Gl	Sig.
Voltaje	.925	15	.229
Amperaje	.955	15	.601
Potencia	.930	15	.276
Irradiación	.789	15	.003

*Fuente:* Elaborado por autor, salida de programa SPSS v.25, 2020.



**Tabla 63.** Prueba de normalidad para la celda C4

**Pruebas de normalidad**

	Shapiro-Wilk		
	Estadístico	Gl	Sig.
Voltaje	.972	15	.883
Amperaje	.936	15	.333
Potencia	.980	15	.966
Irradiación	.757	15	.001

*Fuente:* Elaborado por autor, salida de programa SPSS v.25, 2020.

Al realizar la prueba de normalidad en los resultados obtenidos en la celda 3 y en la celda 4, se precisó que el resultado es mayor de 0.05, lo que quiere decir que, la distribución fue simétrica lo que causa que se aplique una prueba paramétrica, en este caso T Student, por cuanto se utiliza cuando se desea comparar dos medias de las muestras de dos distribuciones normales, en este caso entre las celdas C3 y C4, desarrollado a continuación teniendo en cuenta el siguiente parámetro de análisis:

P (sig.) >0.05 se rechaza la hipótesis alternativa y se toma la hipótesis nula.

P (sig.) <0.05 se rechaza la hipótesis nula y se toma la hipótesis alternativa.

Ha: La fabricación de celdas fotovoltaicas con base de dióxido de titanio y bórax generan energía eléctrica en niveles aceptables en Lima.

H0: La fabricación de celdas fotovoltaicas con base de dióxido de titanio y bórax no generan energía eléctrica en niveles aceptables en Lima.

**Tabla 64.** Prueba T – Student entre las celdas C3 y C4

		Diferencias emparejadas					t	gl	Sig. (bilateral)
		Media	Desv. Desviación	Desv. Error promedio	95% de intervalo de confianza de la diferencia				
					Inferior	Superior			
Par 1	Voltaje - Voltaje	4.10000	1.72295	.44486	3.14586	5.05414	9.216	14	.000
Par 2	Amperaje - Amperaje	.81800	.14732	.03804	.73642	.89958	21.505	14	.000
Par 3	Potencia - Potencia	74.97013	17.83229	4.60428	65.09494	84.84533	16.283	14	.000
Par 4	Irradiación - Irradiación	-.42667	.54833	.14158	-.73032	-.12301	-3.014	14	.009
	- Irradiación								

*Fuente:* Elaborado por autor, salida de programa SPSS v.25, 2020.

De la Tabla 64 se evidenció que el sig-valor o valor de significancia se ubicó en 0.000 para los parámetros voltaje, amperaje y potencia mientras que para la irradiación fue de 0.009, estando todos por debajo de 0.05, comprobándose la hipótesis alternativa y rechazándose la hipótesis nula. Entonces, se establece que la fabricación de celdas fotovoltaicas a base de dióxido de titanio y bórax generan energía eléctrica en niveles aceptables en Lima.

#### IV. DISCUSIÓN

En cuanto al objetivo general perseguido por la presente investigación, se obtuvo que, a través de las celdas fotovoltaicas utilizando los semiconductores bórax y  $\text{TiO}_2$ , se generó efectivamente energía eléctrica. Las celdas que demostraron tener mejores resultados en cuanto a la producción de electricidad fueron la C3 y C4. Por tanto, una vez emparejados todos y cada uno de los componentes que formaron cada una de las celdas previamente seleccionadas, dio como resultado un valor de significancia de 0.000, lo que significó la aceptación de la hipótesis general en la que se estableció que las celdas fotovoltaicas a base de los dos elementos mencionados eran adecuadas para generar energía eléctrica.

Esto concuerda con los descubrimientos de cuatro estudios que se enfocaron en el desarrollo de celdas fotovoltaicas integrando dióxido de titanio. Indiferentemente de los medios que utilizaron para la experimentación, todos encontraron que el  $\text{TiO}_2$  era un componente decisivo para la eficiencia de dichas celdas. Por ejemplo, después de obtener 0.811 como valor de correlación de Pearson entre la inclusión de pigmento de aguaymanto al  $\text{TiO}_2$  y un nivel mayor de eficiencia para obtener energía eléctrica, Silva (2018) determinó que dicho pigmento estimulaba la eficiencia y generaba electricidad con un valor medio de  $2.33 \times 10^{-6}\%$ . Asimismo, Rojas (2016) experimentó con diversos prototipos de celdas fotovoltaicas a base de  $\text{TiO}_2$ , determinando que aquel que contenía una sola capa modificada logró una eficiencia de 4.37%, cifra muy similar a la obtenida por el presente estudio en la C2 y C6. Abdulrehman, Al-Kamal y Salman (2016), por su parte, establecieron que una celda solar con una capa de 9 micras de  $\text{TiO}_2$  obtuvo una eficiencia de 39.14% en relación a la intensidad de la corriente eléctrica. Sin embargo, es Velasco (2019) quien evidenció un resultado óptimo y atractivo dado que los sistemas fotovoltaicos contruidos por el investigador fueron colocados secuencialmente para que compartieran la corriente durante la conducción, alcanzando una eficiencia del 94.17%.

En un caso particular, otros dos estudios reafirmaron la capacidad del  $\text{TiO}_2$ , pero advirtieron la inclusión de materiales semiconductores. Al evaluar el comportamiento de la eficiencia de las celdas con  $\text{TiO}_2$  y  $\text{NiO}$ , Toralva, Solís,

Gómez (2016) identificaron dos hechos distintos. Mientras que agregar dióxido de titanio significó el aumento de la eficiencia, el óxido de níquel supuso un impacto negativo en el rendimiento de la celda solar; esto se debió a que dicho compuesto actuó como aislante y, así, evitó el transporte de electrones en el semiconductor. Bierman (2014), por su parte, estableció que el dióxido de titanio mejoraba en 50% la conversión de los rayos del sol en electricidad.

En cuanto al bórax, no se encontró información concisa o antecedentes que reconocieran su participación en la eficiencia de la celda fotovoltaica. Sin embargo, existe un estudio que trató el tema desde otra perspectiva. Abass, Al-Zubaidi y Al-Waeli (2017) analizaron los elementos contaminantes que obstaculizaban el rendimiento de las celdas fotovoltaicas, es decir, la absorción de los rayos solares. Comparando tres tipos de elementos (cemento, bórax y yeso), el bórax fue identificado como aquel que menos tenía efecto sobre la celda fotovoltaica, aunque sí demostró influir poco y no tan significativamente la potencia.

Loryuenyong et al. (2019) desarrollaron un estudio que reemplazó al bórax por el grafeno en combinación con el  $\text{TiO}_2$ . Si bien no se concentra en el contexto de lo planteado en el presente trabajo científico, los investigadores comprobaron que el elemento sustituto al 0.3% aumentaba la eficiencia de conversión del fotoánodo de la célula solar en 3,6 veces más que el fotoánodo con solamente  $\text{TiO}_2$ .

En cuanto al objetivo específico 1 “identificar la zona de estudio para el desarrollo de la celda fotovoltaica con base de dióxido de titanio y bórax para la generación de energía eléctrica, Lima” se estableció plenamente una zona adecuada, específicamente en la Cooperativa Huanaspampa en el distrito de San Martín de Porres, la cual posee como temperatura media de  $17^\circ\text{C}$ , precipitaciones de 0.3 mm con radiación solar de  $20^\circ\text{C}$ .

Las investigaciones que trataron temas similares no se enfocaron en la región de Lima y mucho menos en el distrito mencionado. Arévalo et al. (2019), por ejemplo, desarrollaron un estudio del comportamiento de paneles solares para viviendas en la ciudad de Tarapoto mientras que Velasco (2019) ejecutó un análisis de sistemas fotovoltaicos en Bogotá, Colombia.

En cuanto al objetivo específico 2, “desarrollar la celda fotovoltaica a base de dióxido de titanio y bórax para la generación de energía eléctrica, Lima” se construyó seis celdas fotovoltaicas como muestras de estudio: C1, C2, C3, C4, C5 y C6, utilizando  $\text{TiO}_2$  y bórax, los cuales fueron semiconductores adecuados para la generación de electricidad.

El resultado del segundo objetivo concordó con lo que obtuvo el estudio de Abdulrehman, Al-Kamal y Salman (2016) que usó dióxido de titanio con el propósito de lograr efectividad en la obtención de intensidad de corriente eléctrica al sintetizarla a  $500^\circ\text{C}$  durante 2 horas y recomendó este prototipo para la creación de las celdas fotovoltaicas con menor costo. Del mismo modo, Padrón et al. (2016) incluyeron capas meso porosa y nano cristalinas de dióxido de titanio sensibilizadas con Perovskita. Por otro lado, Velasco (2019) empleó otro tipo de materiales para la construcción de sistemas fotovoltaicos puesto que el utilizó recursos y métodos alternativos como los diodos a base de silicio y colocados en láminas de acrílico. Los estudios encontraron una mejora en el nivel de eficiencia de 39.14%, 94.17% y 13.6%, respectivamente.

El estudio de Zhixing (2013) se ajustó más a lo desarrollado en la presente investigación dado que combinó el dióxido de titanio y otro elemento para la construcción de células fotovoltaicas. A comparación del presente trabajo que utilizó bórax, el de Zhixing integró calcio, elementos naturales, orgánicos y otros que se caracterizaron por ser más económicos. Como fue de esperarse, la eficiencia de la celda fotovoltaica se incrementó en un 50%.

Como ya se pudo comprobar, la eficiencia del  $\text{TiO}_2$  en la generación de energía eléctrica ha sido comprobada en diversos estudios, pero su combinación con bórax no ha tenido mucha relevancia en cuanto a investigación. Sin embargo, el uso del boro como elemento para generar nanopartículas dopadas de  $\text{TiO}_2$  mostraron una mayor actividad foto catalítica que la muestra de  $\text{TiO}_2$  puro y una mayor generación de electricidad bajo irradiación de luz UV (Chen et al., 2006; Szkoda, Lisowska-Oleksiak y Siuzdak, 2016).

En cuanto al objetivo específico 3, “determinar la medida para los parámetros de voltaje, intensidad de corriente e intensidad de luz, perteneciente a la celda fotovoltaica a base de dióxido de titanio y bórax en la generación de energía

eléctrica, Lima” se obtuvo que la celda CV3 presentó una intensidad de corriente promedio de  $9.56 \times 10^{-8}$  A e intensidad de luz o radiación promedio de  $30.55 \text{ W/m}^2$  y la celda C4 presentó una intensidad de corriente promedio de  $8.74 \times 10^{-8}$  A e intensidad de luz o radiación promedio de  $30.97 \text{ W/m}^2$ .

El resultado del tercer objetivo coincidió con lo hallado por Arévalo et al. (2019), quienes diseñaron un sistema fotovoltaico para generar electricidad para una vivienda, la cual poseería paneles solares de  $3,3 \times 10^{-10}$  W de tipo policristalino, un regulador y controlador de 80A, baterías de gel de 48V y un inversor DC/AC de 3000W, logrando generar un promedio mensual de energía eléctrica de  $1.5195 \times 10^{10}$  Ws (p. 54).

Bellota (2018), por su parte, elaboró 247 paneles solares de 260w con doscientas dieciséis baterías de 24 voltios conformados por celdas fotovoltaicas, modeladas con red neuronal. Esto consiguió la captación de energía de 23.9%, exponiéndolo de forma diaria en un panel móvil, ejecutando el análisis del impacto ambiental fue ejecutado a través de la metodología CRI comprobando que no genera impactos ambientales de gran significancia (Bellota, 2018, p. 102).

De igual manera, el uso del bórax junto con el dióxido de titanio no ha sido reportado en investigaciones previas, sin embargo si se ha comprobado que el boro puede mejorar la generación de energía eléctrica en celdas fotovoltaicas, tal como lo indicaron Chen, Shen y Du (2017) quienes demostraron que los valores medios de  $V_{oc}$  de las células solares de silicio con boro aumentaron en 0,4 mV absolutos en el  $V_{oc}$ , lo que demuestra la utilidad de los átomos de boro en el aumento del voltaje y sustenta de forma práctica el resultado obtenido en la presente investigación donde se utilizó el bórax como fuente de boro. Así mismo, los valores de factor de llenado se encontraron entre 0.55 y 0.74 con eficiencias de celda entre 3.01 y 4.54% valores que fueron consistentes con los reportados por Zhang, Wang y Wang (2011) quienes reportaron para celdas solares fabricadas con  $\text{TiO}_2$  valores entre 0.59 y 0.83 de factor de llenado y eficiencias entre 3.36 y 4.77%, lo que demuestra que las celdas fabricadas en este estudio tienen parámetros similares a las utilizadas en estudios similares, lo que da consistencia a los resultados.

## V. CONCLUSIONES

De acuerdo a los resultados obtenidos y la discusión realizada se concluyó que:

- Se logró la generación efectiva de energía eléctrica en celdas fotovoltaicas con base de dióxido de titanio y bórax, las cuales pueden ser utilizadas en la zona de estudio la zona residencial donde se encuentra ubicada Cooperativa Huanaspampa en San Martín de Porres, Lima.
- Se estableció que la zona geográfica donde se enmarca el estudio es adecuada para desarrollar las celdas fotovoltaicas con base de dióxido de titanio y bórax para la generación de energía eléctrica, debido a que posee condiciones idóneas como temperatura media de 17°C, precipitaciones de  $3 \times 10^{-4}$  m, ráfagas de viento de 5.65 m/s y radiación solar de 20°C.
- Las celdas fotovoltaicas elaboradas utilizando dióxido de titanio y bórax para la generación de energía eléctrica, presentaron un tiempo de sintetizado de 15 s x 4 repeticiones, una temperatura de sintetizado de 100°C y parámetros preliminares de voltaje e intensidad de corriente entre los 18.3 a 61.3 mV de voltaje y  $3.64 \times 10^{-8}$  A a  $12.26 \times 10^{-8}$  A de intensidad.
- Las mejores medidas para los parámetros de voltaje, intensidad de corriente e intensidad de luz, pertenecientes a las celdas fotovoltaicas desarrolladas a base de dióxido de titanio y bórax para la generación de energía eléctrica, se obtuvieron en las celdas C3 y C4.
- Los factores de llenado de las celdas se calcularon entre 0.55 y 0.74 los cuales se consideran entre medianamente buenos y buenos, ya que celdas de similares características reportan valores de FF de 0.70 o más. De igual forma la eficiencia de las celdas estuvo entre 3.01 y 4.54% que, aunque se consideran valores bajos, superaron a los de otras investigaciones similares, por lo que son considerados aceptables.
- El análisis realizado mediante la prueba T-Student para muestras relacionadas utilizando los resultados de las celdas C3 y C4 demostró con una significancia de 0.05 que se requiere generar las celdas fotovoltaicas a base de dióxido de titanio y bórax para la generación de energía eléctrica, Lima; esto bajo un sustento estadístico.

## VI. RECOMENDACIONES

- Realizar una ampliación de las pruebas ejecutadas con el propósito de obtener mayor desarrollo y análisis de resultados que ratifiquen los descubrimientos perpetrados en este estudio, mejorando o hallando semiconductores que conduzcan la energía eléctrica obtenida por la radiación solar, lo que optimizaría y perfeccionaría las celdas fotovoltaicas avanzadas aquí.
- Se demostró que el uso del bórax mejora el desempeño de la celda fotovoltaica fabricada con dióxido de titanio, sin embargo, se recomienda que se continúe el estudio utilizando otros semiconductores de boro como el borofeno para establecer si se mejora la celda, sobre todo a nivel de la eficiencia de la misma.
- Se debe seguir estudiando el sistema  $\text{TiO}_2$ /Bórax con diferentes compuestos orgánicos como tintes, como parte de las propuestas de mejora de las celdas fotovoltaicas propuestas para lograr los estándares necesarios para su uso en zonas no solo con características similares a la tomada como referencia, sino a otras zonas con características diferentes.
- Con base en los resultados se recomienda continuar estudiando celdas fotovoltaicas fabricadas con 6g de bórax y 12g de  $\text{TiO}_2$  debido a que con esta combinación se obtuvieron los mejores resultados de los parámetros medidos, por lo que deben ser la base para mejoras futuras.
- Los resultados de las pruebas estadísticas demostraron que existe la necesidad de generar las celdas fotovoltaicas con base de dióxido de titanio y bórax para la generación de energía eléctrica, por lo que es recomendable que se profundice en la investigación y el desarrollo de las mismas.



## REFERENCIAS

ABASS, Khaleel, AL-ZUBAIDI, Dina y AL-WAELI, Ali. Effect of pollution and dust on PV performance. International Journal of Civil, Mechanical and Energy Science, 3(4), 2017. ISSN: 2455-5304.

ABDULREHMAN, Mohammed, AL-KAMAL, Ahmed y SALMAN, Ali. The effect of titanium dioxide nanoparticles thin layer on overall performance of dye sensitized solar cells. International Journal of Energy & Environment, 7(6): 479-482, 2016. ISSN: 2076-2895

AKPAN, U. y HAMEED, B. Parameters affecting the photocatalytic degradation of dyes using TiO<sub>2</sub> based photocatalytic: a review. Journal of Hazardous Materials, 170(3): 520-529, octubre 2009. ISSN: 0304-3894

ARENCIBIA-CARBALLO, Gustavo. La importancia del uso de paneles solares en la generación de energía eléctrica. REDVET. Revista Electrónica de Veterinaria, 17(9): 1-4, setiembre 2016. ISSN: 1695-7504

ARÉVALO, Percy, [et al]. Diseño de sistema fotovoltaico para la generación de energía eléctrica en vivienda unifamiliar en el Distrito de Tarapoto – San Martín - 2019. (Tesis de Ingeniería Mecánica Eléctrica). Tarapoto: Universidad César Vallejo, 2019.

ARIAS, Fidias. El proyecto de Investigación: Introducción a la investigación científica. Caracas: Episteme C.A., 2012. ISBN: 9800785299

ARIZA, Héctor y HERNÁNDEZ, Ricardo. Uso del bórax como lubricante pulvimetalúrgico. Ingeniería Investigación y Desarrollo: I2+D, 14(2): 20-23. ISSN: 1900-771X.

BALESTRINI, Mirian. Como se elabora el proyecto de investigación. Caracas: BI Consultores Asociados, 2006.

BÁRCENAS, Rafael y OROZCO, Hernán. Investigación de la migración de energía convencional a energía fotovoltaica en la sede principal de aguas de Manizales S.A.

(Tesis de Licenciatura en Administración). Bogotá: Universidad Nacional Abierta y a Distancia, 2019.

BELLOTA, Luis. Proceso de generación de energía eléctrica a partir de energía solar para uso industrial: Planta de secado de mineral no metálico. (Tesis de maestría). Arequipa: Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa, 2018.

BID. Gobernanza y medio ambiente, 2017. Disponible en: <https://publications.aidb.org>

BIERMAN, David. Where solar thermal meets photovoltaic for high-efficiency power conversion. (Master Thesis). Massachusetts: Massachusetts Institute of Technology, 2014.

Bórax. INECC Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático. 30 de abril de 2014. Disponible en: [https://www.dof.gob.mx/nota\\_detalle.php?codigo=5342858&fecha=30/04/2014](https://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5342858&fecha=30/04/2014)

BROWN, Jerri. Titanium Dioxide: Chemical Properties, Applications and Environmental Effects. New York: Nova Science Publishers, 2014. ISBN: 9781633213913.

CÁCERES, Augusto, SILES, Fernando y VALENCIA, Mario. Potencial solar de la ciudad para el empleo de la energía fotovoltaica en las residencias de Arequipa 2018. Revista Postgrado Scientiarvm, 4(1): 11-22, enero 2018. ISSN: 2411- 8826

CARITA, Delia. Obtención del ácido bórico a partir del mineral de ulexita. (Tesis Ingeniería Química). Puno: Universidad Nacional del Altiplano, 2016.

CHEN, Daimei. Effects of Boron Doping on Photocatalytic Activity and Microstructure of Titanium Dioxide Nanoparticles. Industrial & Engineering Chemistry Research, 45(12): 4110–4116, mayo 2006. ISSN: 0888-5885

CHEN, Nan, SHEN, Shui Liang y DU, Guoping. Enhanced photovoltaic properties for rear passivated crystalline silicon solar cells by fabricating boron doped local back surface field. Journal of Wuhan University of Technology-Mater. Sci. Ed., 32: 1323–1328, 2017. ISSN: 1993-0437

CONCYTEC. Reglamento de calificación, clasificación y registro de los investigadores. Lima: CONCYTEC, 2018.

CONTRERAS, Armando. Síntesis de nanopartículas de dióxido de titanio asistida por microondas para su aplicación en celdas solares. (Tesis de maestría). Cuernavaca: Universidad Autónoma del Estado de Morelos, 2018.

CRUZ, Willy. Celdas solares sensibilizadas con colorante utilizando foto electrodos de TiO<sub>2</sub>/ZrO<sub>2</sub>. (Tesis de maestría). Lima: Universidad Nacional de Ingeniería, 2016.

CRUZ-ARDILA, Juan, CARDONA-GOMEZ, Juan y HERNANDEZ-PORRAS, Diego. Aplicación electrónica para el ahorro de energía eléctrica utilizando una energía alternativa. Entramado, 9(2): 234-248, 2013. ISSN: 1900-3803

DÍAZ, Jorge. Producción de bórax y ácido bórico a partir de la boronatrocalcita. Ingeniería Industrial, 19: 49-64, 2004. ISSN: 1025-9929.

ENERDATA. EnerData, 2020. Disponible en: <https://datos.enerdata.net/electricidad/estadisticas-mundiales-produccion-electricidad.html>

ENRÍQUEZ, Gilberto. Tecnología de generación de energía eléctrica. Editorial Limusa, 2009. ISBN: 9786070501357

FAGUA, Andrea y BERNAL, William. Organic solar cells. Revista Ciencia, Innovación y Tecnología (RCIYT), 2: 71-81, 2015. ISSN: 2225-8787

FAHRENBRUCH, Alan. Fundamentals of solar cells: photovoltaic solar energy conversion. Nueva York: Academic Press INC, 1983. ISBN: 9780122476808

FIQUE-NAVARRETE, Lindsay. El uso de las energías limpias como derecho y garantía, conexo al derecho a un ambiente sano. (Tesis de Derecho). Bogotá: Universidad Católica de Colombia, 2018.

FUJISHIMA, Akira, RAO, Tata y TRYK, Donald. Titanium dioxide photocatalysis. Journal of Photochemistry and Photobiology C: Photochemistry Reviews, 1(1): 1-21, Junio 2000. ISSN: 1389-5567

GARCÉS, Luis, [et al]. La fotocatalisis como alternativa para el tratamiento de aguas residuales. Revista Lasallista de Investigación, 1(1): 83-92, junio 2004. ISSN: 1794-4449

GONZÁLEZ, Julio. Nuevas tecnologías en el desarrollo de celdas solares. Perfiles de Ingeniería, 14(14): 14-22, 2018. ISSN: 2519-5719

GRANADOS, Araceli. Estructuras mesoporosas de TiO<sub>2</sub> y su aplicación en celdas solares de tercera generación. (Tesis doctoral). Cuernavaca: Universidad Autónoma del Estado de Morelos, 2018.

HERNÁNDEZ, Roberto, FERNÁNDEZ, Carlos y BAPTISTA, Pilar. Metodología de la Investigación. Ciudad de México: McGraw - Hill Editores, 2014. ISBN: 9781456223960

HORN, Manfred. El estado actual del uso de la energía solar en el Perú: situación y perspectivas de la energía solar en el Perú. Perú Económico, 29(11), noviembre 2006. Disponible en: <https://go.gale.com/ps/i.do?id=GALE%7CA163213732&sid=googleScholar&v=2.1&it=r&linkaccess=abs&issn=10180621&p=IFME&sw=w&userGroupName=anon~4ff2f35b>

IDÍGORAS, Jesús. Photoelectrochemistry of nanocrystalline semiconductor metal oxides in contact to liquid electrolytes: Photocatalytic and photovoltaic applications. (Tesis doctoral). Sevilla: University Pablo the Olavide, 2015.

INDEXMUNDI. IndexMundi, 2019. Disponible en: <https://www.indexmundi.com/map/?t=0&v=79&r=sa&l=es>

IRALY, Brian, [et al]. Borophene Synthesis on Au (111). ACS Nano, 13(4): 3816–3822, marzo 2019. ISSN: 1936-0851.

JUANILLO, W. Bórax en el proceso de recuperación de oro como un sustituto del mercurio en dos entables de la cooperativa minera de Suarez Cauca. (Tesis Ingeniería Ambiental). Cauca: Universidad Autónoma del Cauca.

KANDASAMY y MURUGESAN. Aminosilicate modified mesoporous anatase TiO<sub>2</sub>@graphene oxide nanocomposite for dye-sensitized solar cells. *Solar Energy*, 211: 789-798, 2020. ISSN: 0038-092X

KWON, Chul, [et al]. Degradation of methylene blue via photocatalysis of titanium dioxide. *Materials Chemistry and Physics*, 86(1): 78-82, Julio 2004. ISSN: 0254-0584

LIU, Qiang y WANG, Jinying. Dye-sensitized solar cells based on surface TiO<sub>2</sub> modification. *Solar Energy*, 184:454-465, mayo 2019. ISSN: 0038-092X

LÓPEZ, Juan. Así es el borofeno, el material que ha arrebatado al grafeno el podio al elemento más exótico y prometedor. *Xataka*, 2021. Disponible en: <https://www.xataka.com/investigacion/borofeno-material-que-ha-arrebatado-grafeno-podio-al-elemento-exotico-prometedor-1>

LORYUENYONG, Vorrada, [et al]. The Enhancement of Photoanode Efficiency in Dye-Sensitized Solar Cells with TiO<sub>2</sub>/Graphene Nanocomposite. *Journal of Nanoscience and Nanotechnology*, 19(12): 7702-7706, diciembre 2019. ISSN: 1533-4880

MANRIQUE, Jenny. Estudio comparativo de las propiedades eléctricas de celdas solares comerciales modificadas con grafeno sintetizado con ajo añejado. (Tesis de Ingeniería Ambiental). Lima: Universidad César Vallejo, 2019.

MARTÍN, Esperanza. Efectos del aporte de boro sobre el crecimiento radical en plántulas de "Arabidopsis thaliana". (Tesis doctoral). Sevilla: Universidad Pablo de Olavide, 2014.

MILLS, Andrew, O'ROURKE, Christopher y MOORE, Keith. Powder semiconductor photocatalysis in aqueous solution: An overview of kinetics-based reaction mechanisms. *Journal of Photochemistry and Photobiology A: Chemistry*, 310: 66-105, September 2015. ISSN: 1010-6030

MINEN. Principales indicadores del sector eléctrico a nivel nacional. Ministerio de Energía y Minas, 2020. Disponible en:

<http://www.minem.gob.pe/minem/archivos/Cifras%20preliminares%20del%20Sector%20Electrico%20-%20Enero%202020-V5.pdf>

MOLLO, Richard. Optimización de la explotación del mineral ulexita complementando su extracción de corte y relleno por transferencia con la recuperación selectiva de boratos presentes en el Horizonte A. (Tesis de Ingeniería de Minas). Arequipa: Universidad Nacional San Agustín de Arequipa, 2014.

MORO, Miguel. Instalaciones solares fotovoltaicas. Madrid: Paraninfo, 2018. ISBN: 9788428340113

MORTAZAVI, Bohayra, [et al]. Mechanical responses of borophene sheets: a first-principles study. *Physical Chemistry Chemical Physics*, 18(39): 27405-27413, setiembre 2016. ISSN: 1463-9076.

NÚÑEZ, Teresa y CRUZ, Víctor. Diseño de sistemas de energía solar fotovoltaica - aplicación en el Perú. *Paideia XXI*, 3(4): 160-170, diciembre 2013. ISSN: 2519-5700

PADRÓN, K. Propiedades ópticas del dióxido de titanio mesoporoso y nanocrystalino obtenido con la técnica de Doctor Blade. *Revista Cubana de Física*, 33(1): 27-31, julio 2016. ISSN: 0253-9268

PARANTHAMAN, Parans, WONG-NG, Winnie y BHATTACHARYA, Raghu. *Semiconductor Materials for solar photovoltaic cells*. USA: Springer, 2018. ISBN: 9783319203317

PEDRAZA, Julio. Estudio de la sensibilización del dióxido de titanio con tetrasulfoftalocianinas metálicas en la oxidación foto catalítica del ciclo hexeno. (Tesis de maestría en química). Bucaramanga: Fundación Universidad Industrial de Santander, 2005.

PIAZZA, Zachary, [et al]. Planar hexagonal B36 as a potential basis for extended single-atom layer boron sheets. *Nature Communications*, 5: 1-6, enero 2014. ISSN: 2041-1723

PRIETO, Laura. Evaluación de la técnica de sonicación para el diagnóstico microbiológico de infecciones asociadas al uso de implantes. (Tesis doctoral). Madrid: Universidad Complutense de Madrid, 2018.

QUEQUE, Ruth. Fabricación de celdas solares Grätzel sensibilizadas con NPs - TiO<sub>2</sub> y colorante orgánico natural maíz morado (*Zea mays* L.) como potencial uso en la industria fotovoltaica. (Tesis de Ingeniería Química). Puno: Universidad Nacional del Altiplano, 2019.

RAMOS, Susana. Fabricación y caracterización de celdas fotovoltaicas de perovskita de nueva composición. (Tesis de maestría). Sevilla: Universidad de Sevilla, 2018.

REÁTEGUI, Warren y TORO, Roberto. Proyecto de gestión para la implementación de celdas fotovoltaicas y generación eléctrica limpia aplicada a colegios educativos estatales. (Tesis de Ingeniería Industrial y Comercial). Lima: Universidad San Ignacio de Loyola, 2015.

ROJAS, Oswaldo. Celdas solares selladas a base de óxido de titanio modificado superficialmente con óxido de magnesio. (Tesis de maestría). Lima: Universidad Nacional de Ingeniería, 2016.

SALGADO, Rafael. Paneles solares: generadores de energía eléctrica. *Saber Más* Revista de divulgación, 29, enero 2017. Disponible en: <https://sabermais.umich.mx/archivo/tecnologia/133-numero-1755/268-paneles-solares-generadores-de-energia-electrica.html>

SHINN, Lora. Renewable energy clean facts, 2018. Disponible en: <https://www.nrdc.org/stories/renewable-energy-clean-facts>

SILVA, Rodolfo. Eficiencia de las células fotovoltaicas nanoestructuradas a base de dióxido de titanio, sensibilizadas con pigmentos nativos peruanos en Chaclacayo - 2018. (Tesis de Ingeniería Ambiental). Lima: Universidad Cesar Vallejo, 2018.

SZKODA, Mariusz, LISOWSKA-OLEKSIK, Anna y SIUZDAK, Katarzyna. Optimization of boron-doping process of titania nanotubes via electrochemical

method toward enhanced photoactivity. *Journal of Solid State Electrochemistry*, 20: 1765–1774, 2016. ISSN: 1432-8488

SUNG, Yung, y ZHOU, Yue. (2017). Effects of size and shape on filtration of TiO<sub>2</sub> nanoparticles. *Aerosol Science and Technology*, 51(8), 972-980. doi:10.1080/02786826.2017.1321102

TAMAYO, Mario. *El proceso de la investigación científica*. México: Limusa, 2004. ISBN: 9681858727

TORALVA, María, SOLIS, José y GÓMEZ, Mónica. Fabricación y caracterización de celdas solares sensibilizadas de TiO<sub>2</sub> modificado con nanopartículas de NiO. *Revista Sociedad Química Perú*, 81(1): 87-99, 2016. ISSN: 1810 - 634X

VALLES, Erick. Optimización del tiempo de adsorción de pigmentos naturales fotosensibles sobre dióxido de titanio (TiO<sub>2</sub>) para incrementar la eficiencia de celdas solares orgánicas. (Tesis de Ingeniería en Biotecnología). Imbabura: Universidad Técnica del Norte, 2018.

VELANDIA, Oscar. Estudio y desarrollo de celdas solares basadas en estructuras de silicio cristalino / silicio amorfo dopado. (Tesis de maestría). Puebla: Instituto Nacional de Astrofísica, Óptica y Electrónica, 2018.

YAN, Ning, [et al]. Borate Cross-Linked Graphene Oxide-Chitosan as Robust and High Gas Barrier Films. *Journal Nanoscale*, 8(20): 10783-10791, Abril 2016. ISSN: 2040-3372

YONG, Huifeng, [et al]. Over 16% efficiency organic photovoltaic cells enable by chlorinated acceptor with increased open-circuit voltages. *Nature Communications*, 10: 1-8, Junio 2019. ISSN: 2041-1723

YU, Hongbin, [et al]. Photocatalytic degradation of malathion in aqueous solution using an Au-Pd-TiO<sub>2</sub> nanotube film. *Journal of Hazardous Materials*, 184(3): 753-758, diciembre 2010. ISSN: 0304-3894

ZHANG, Xi., WANG, Shu-Tao y WANG, Zhong-Sheng. Effect of metal-doping in TiO<sub>2</sub> on fill factor of dye-sensitized solar cells. *Applied Physics Letters*, 99(11): 113503, septiembre 2011. ISSN: 0003-6951



ZHANG, Zhuhua, PENEV, Evgeni y YAKOBSON, Boris. Two-dimensional boron: structures, properties and applications. *Chemical Society Reviews*, 46(22): 6667–7096, octubre 2017. ISSN: 0306-0012

ZHIXING, Linda. Supply chain strategy development for the Chinese solar energy industry: A focus on thin film photovoltaic manufacturers. MIT Global Scale Network, 2013. Disponible en: <https://studylib.net/doc/10969284/mit-scale-research-report>

## ANEXOS

### Anexo 1. Matriz de Consistencia

	PROBLEMA	OBJETIVO	HIPÓTESIS	VARIABLES Y DIMENSIONES	METODOLOGÍA
<b>GENERAL</b>	¿Se puede generar energía eléctrica en celdas fotovoltaicas con base de dióxido de titanio y bórax, Lima?	Generar energía eléctrica en celdas fotovoltaicas con base de dióxido de titanio y bórax, Lima.	H0: La fabricación de celdas fotovoltaicas con base de dióxido de titanio y bórax no generan energía eléctrica en niveles aceptables en Lima.	<b>V1: CELDAS FOTOVOLTAICAS CON BASE DE DIÓXIDO DE TITANIO Y BÓRAX</b>	<ol style="list-style-type: none"> <li><b>1. Tipo de Investigación:</b> Aplicada</li> <li><b>2. Diseño de Investigación</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Experimental</li> <li>- Pre experimental</li> </ul> </li> <li><b>3. Población.</b> Seis (06) celdas <b>Muestreo:</b> No Probabilístico a Conveniencia <b>Muestra</b> Un (01) celda</li> <li><b>4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Técnicas de recolección de datos es la observación</li> <li>- Instrumento de recolección de datos ficha de datos</li> </ul> </li> <li><b>5. Técnicas de Análisis de Datos:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Análisis de relación entre variables: Estadístico Descriptivo y Deductivo</li> </ul> </li> </ol>
<b>ESPECÍFICOS</b>	¿Cuál será la zona de estudio más idónea para el desarrollo de la celda fotovoltaica con base de dióxido de titanio y bórax en la generación de energía eléctrica, Lima?	Identificar la zona de estudio para el desarrollo de la celda fotovoltaica con base de dióxido de titanio y bórax para la generación de energía eléctrica, Lima.	H1: La fabricación de celdas fotovoltaicas con base de dióxido de titanio y bórax generan energía eléctrica en niveles aceptables en Lima.	<b>V2: EFICIENCIA EN GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA</b>	
	¿Cómo se construirá la celda fotovoltaica con base de dióxido de titanio y bórax en la generación de energía eléctrica, Lima?	Desarrollar la construcción de la celda fotovoltaica con base de dióxido de titanio y bórax para la generación de energía eléctrica, Lima.			
	¿Cuál será la medición para los parámetros eléctricos (voltaje, intensidad de corriente e intensidad de luz), perteneciente a la celda fotovoltaica con base de dióxido de titanio y bórax en la generación de energía eléctrica, Lima?	Determinar la medida para los parámetros eléctricos (voltaje, intensidad de corriente e intensidad de luz), perteneciente a la celda fotovoltaica con base de dióxido de titanio y bórax en la generación de energía eléctrica, Lima.			

Fuente: Elaboración propia, 2020

## Anexo 2. Matriz de Operacionalización de Variable

VARIABLES	DEFINICION CONCEPTUAL	DEFINICION OPERACIONAL	DIMENSIONES	INDICADORES	ESCALA DE MEDICION/UNIDAD
<b>CELDA FOTOVOLTAICA CON BASE DE DIÓXIDO DE TITANIO Y BÓRAX</b>	Instrumento elaborado a través de láminas muy finas de materiales semiconductores en forma cuadrada y cuya razón de ser es convertir en electricidad los fotones que irradia la luz solar (Fagua y Bernal, 2015, pág. 73).	Se refiere a la integración de los componentes que conforman la estructura de la celda fotovoltaica para que sea funcional, anexando base de dióxido de titanio y bórax. La cual será medida durante el desarrollo de la celda fotovoltaica.	Identificación de la zona de estudio	Volumen de TiO <sub>2</sub>	Mililitro (mL)
				Volumen de Bórax a sintetizar	Kilogramo (kg)
			Construcción de celda fotovoltaica	Tiempo de sintetizado	Segundo (s)
				Temperatura de sintetizado	Grados centígrados (°C)
<b>GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA</b>	Medida obtenida a través del fenómeno de conversión, siendo ésta la correlación entre energía de luz y la energía eléctrica que se puede generar con ella, representado de manera porcentual y calculada a través de la siguiente formula (Moro, Instalaciones solares fotovoltaicas, 2018, pág. 42).	Se refiere a la medida de desempeño que tengan las celdas fotovoltaicas preparadas con una base de dióxido de titanio y bórax para transformar energía solar en energía eléctrica. Se mide a través del Voltaje, Intensidad de Corriente, Radiación y Superficie. Además de la siguiente formula:  $n\% = \frac{P_{max}}{G * A_c} * 100$	Parámetros eléctricos	Voltaje (V)	Potencia Eléctrica $P_e = V * A$ (Watts)
				Intensidad de Corriente (A)	
				Intensidad de Luz (radiación)	Vatios por metro cuadrado (W/m <sup>2</sup> )

Fuente: Elaboración propia, 2020

### Anexo 3. Etapas del Estudio.

<b>ETAPA</b>	<b>FUENTE</b>	<b>TÉCNICA</b>	<b>INSTRUMENTO</b>	<b>RESULTADO</b>
Identificación de la zona de estudio	Zona de estudio Internet	Observación	4.	Establecer características del semiconductor.
Desarrollo de celdas fotovoltaicas	Laboratorio	Experimentación	Ficha de registro de elaboración de prototipos	Obtener prototipos de acuerdo a criterios de elaboración ya precisados.
Medición de parámetros de celdas	Zona de aplicación	Experimentación y Observación	Ficha de recolección de datos	Registrar los datos obtenidos

*Fuente:* Elaboración propia, 2020.

**Anexo 4.** Ficha de Registro de Elaboración de Celdas Fotovoltaicas

N°	Vol TiO <sub>2</sub> (mL)	Vol de bórax a sintetizar (mg)	Tiempo de sintetizado (seg)	Temperatura de sintetizado (°C)	Medición de Parámetros	
					Voltaje (V)	Intensidad (A)

**Especialista 1**

Nombre y Apellido:



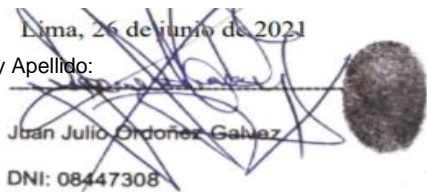
CP:

Fecha: *Dr. Eusterio Horacio Acosta Suasnabar*  
CIP N° 25450

**Especialista 2**

Lima, 26 de junio de 2021

Nombre y Apellido:



CP:

Fecha: DNI: 08447308

**Especialista 3**

Nombre y Apellido:

CP:

Fecha:

**Anexo 5. Ficha de Recolección de Datos de Celdas Fotovoltaicas**

Celdas	Voltaje (V)	Amperaje (A)	Potencia (W)	Irradiación (W/m <sup>2</sup> )	V <sub>máx</sub>	P <sub>máx</sub>	FF	n(%)

**Especialista 1**

Nom

CP:

Fec

*Dr. Eusterio Horacio Acosta Suasnabar*  
CIP N° 25450

**Especialista 2**

Nombre y Apellido:

CP:

Fecha:

Lima, 26 de junio de 2021  
  
 Juan Julio Ordoñez Galvez  
 DNI: 08447308

Nombre y Apellido:

CP:

Fecha:

**Especialista 3**

## VALIDACIÓN DE INSTRUMENTO

### I. DATOS GENERALES:

- 1.1 Apellidos y Nombres del validador: Acosta Suasnabar ~~Eusebio~~, Horacio
- 1.2 Cargo e institución donde labora: Docente de la Universidad César Vallejo
- 1.3 Especialidad del validador: .....
- 1.4 Nombre de Instrumento: Registro de Datos en Campo
- 1.5 Título de Investigación: "Ficha de recolección de datos de celdas fotovoltaicas"
- 1.6 Autor(es) del Instrumentos:

### 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. ORGANIZACION	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				

### II. OPINIÓN DE APLICABILIDAD

- El Instrumento cumple con los Requisitos para su aplicación
- Los requisitos para su aplicación los Requisitos para su aplicación

 SI  


### III. PROMEDIO DE VALORACIÓN:

80%

Lima, 28 de junio de 2021

  
 Dr. Eusebio Horacio Acosta Suasnabar  
 CIP N° 25450

## VALIDACIÓN DE INSTRUMENTO

### III. DATOS GENERALES:

- 3.1 Apellidos y Nombres del validador: .....
- 3.2 Cargo e institución donde labora: Docente de la Universidad César Vallejo
- 3.3 Especialidad del validador: .....
- 3.4 Nombre de Instrumento: Registro de Datos en Campo
- 3.5 Título de Investigación: "Ficha de registro de elaboración de celdas fotovoltaicas"
- 3.6 Autor(es) del Instrumentos:

### IV. ASPECTOS DE VALIDACIÓN:

CRITERIOS	INDICADORES	INACEPTABLE					MINIMAMENTE ACEPTABLE			ACEPTABLE			
		40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95
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. ORGANIZACION	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				

### IV. OPINIÓN DE APLICABILIDAD

- El Instrumento cumple con los Requisitos para su aplicación
- Los requisitos para su aplicación los Requisitos para su aplicación

### V. PROMEDIO DE VALORACIÓN:

80%

Lima, 28 de junio de.2021



*Dr. Eustero Horacio Acosta Suasnobar*  
CIP N° 25450



## VALIDACIÓN DE INSTRUMENTO

### I. DATOS GENERALES:

- 1.1 Apellidos y Nombres del validador: Ordoñez Galvez, Juan Julio
- 1.2 Cargo e institución donde labora: Docente de la Universidad César Vallejo
- 1.3 Especialidad del validador: Ingeniero Hidrólogo Ambiental
- 1.4 Nombre de Instrumento: Registro de Datos en Campo
- 1.5 Título de Investigación: "Ficha de recolección de datos de celdas fotovoltaicas"
- 1.6 Autor(es) del Instrumentos:

### 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 adecuación al Método Científico.											X		

### II. OPINIÓN DE APLICABILIDAD

- El Instrumento cumple con los Requisitos para su aplicación
- Los requisitos para su aplicación los Requisitos para su aplicación

SI



### III. PROMEDIO DE VALORACIÓN:

90%

Atentamente,  
Lima, 26 de junio de 2021

Juan Julio Ordoñez Galvez

DNI: 08447308

## VALIDACIÓN DE INSTRUMENTO

### III. DATOS GENERALES:

- 3.1 Apellidos y Nombres del validador: Ordoñez Galvez, Juan Julio
- 3.2 Cargo e institución donde labora: Docente de la Universidad César Vallejo
- 3.3 Especialidad del validador: Ingeniero Hidrólogo Ambiental
- 3.4 Nombre de Instrumento: Registro de Datos en Campo
- 3.5 Título de Investigación: "Ficha de registro de elaboración de celdas fotovoltaicas"
- 3.6 Autor(es) del Instrumentos:

### IV. 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 adecuación al Método Científico.											X		

#### IV. OPINIÓN DE APLICABILIDAD

- El Instrumento cumple con los Requisitos para su aplicación
- Los requisitos para su aplicación los Requisitos para su aplicación

SI  
 NO

#### V. PROMEDIO DE VALORACIÓN:

90%

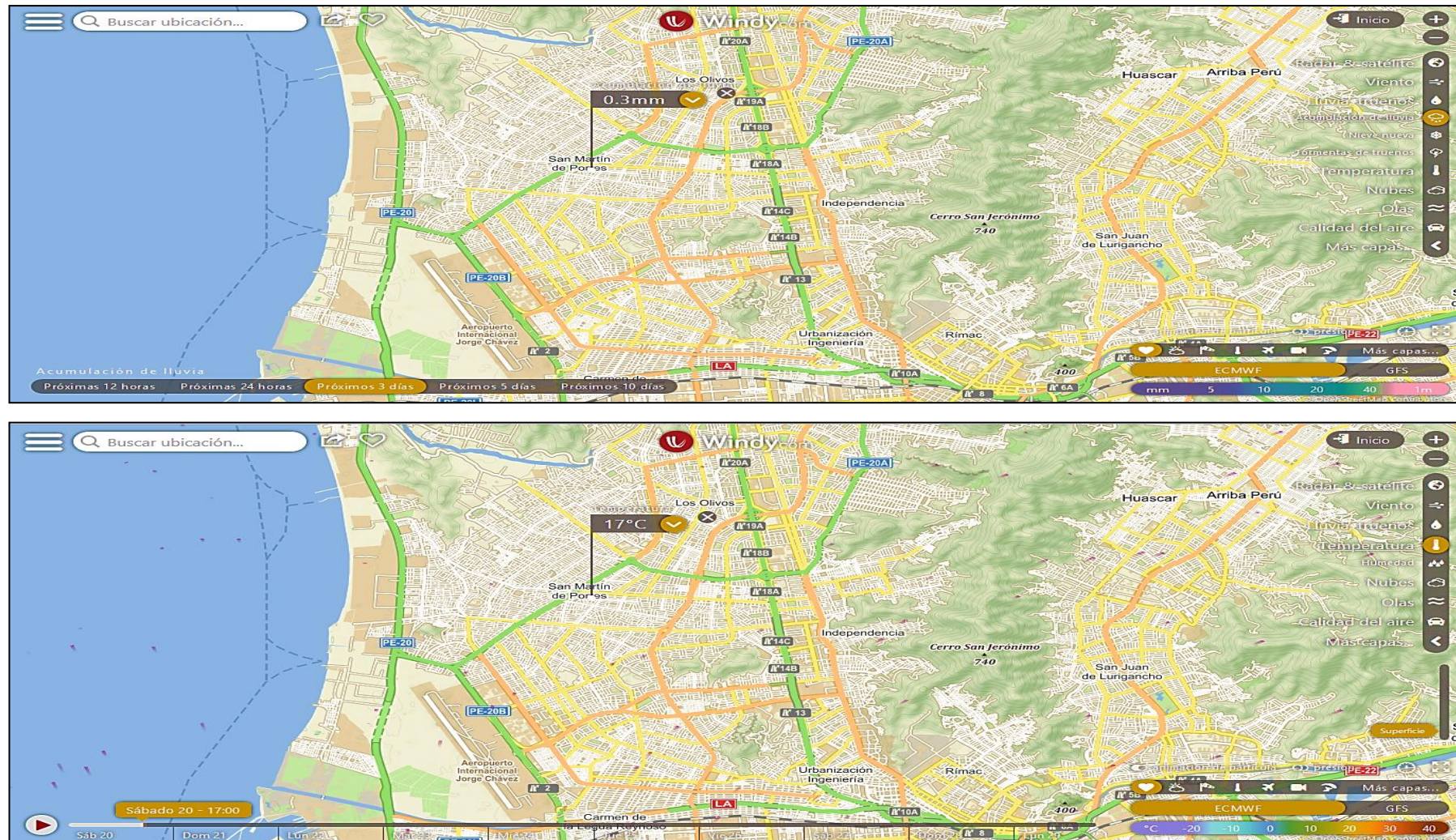
Atentamente,  
Lima, 26 de junio de 2021

Juan Julio Ordoñez Galvez

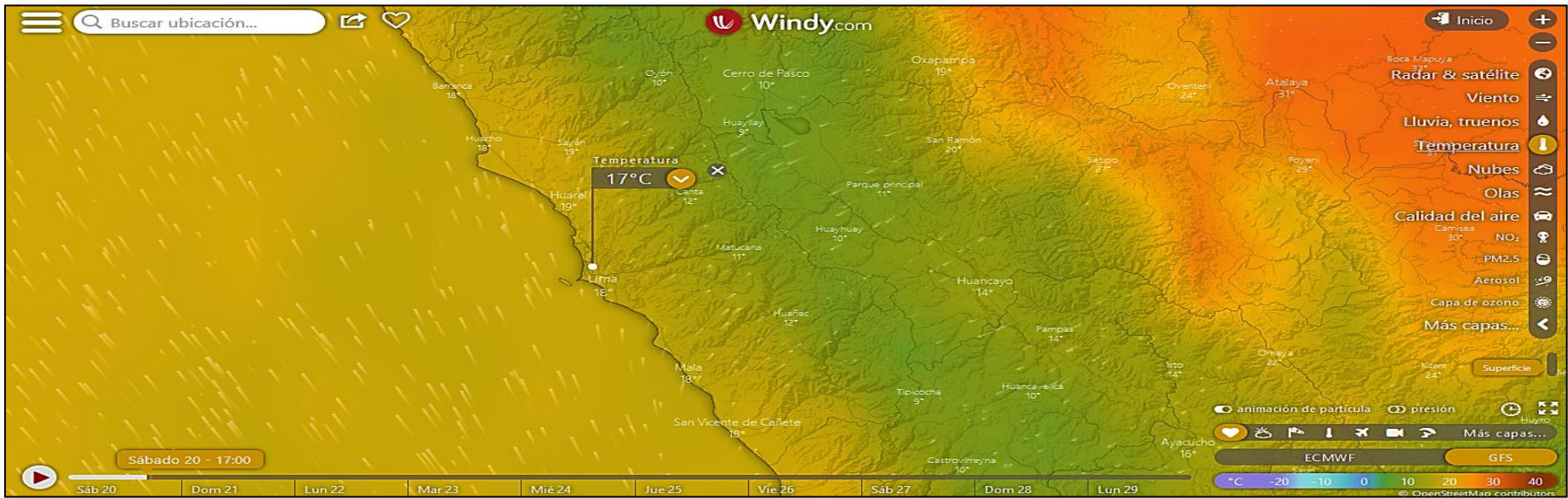
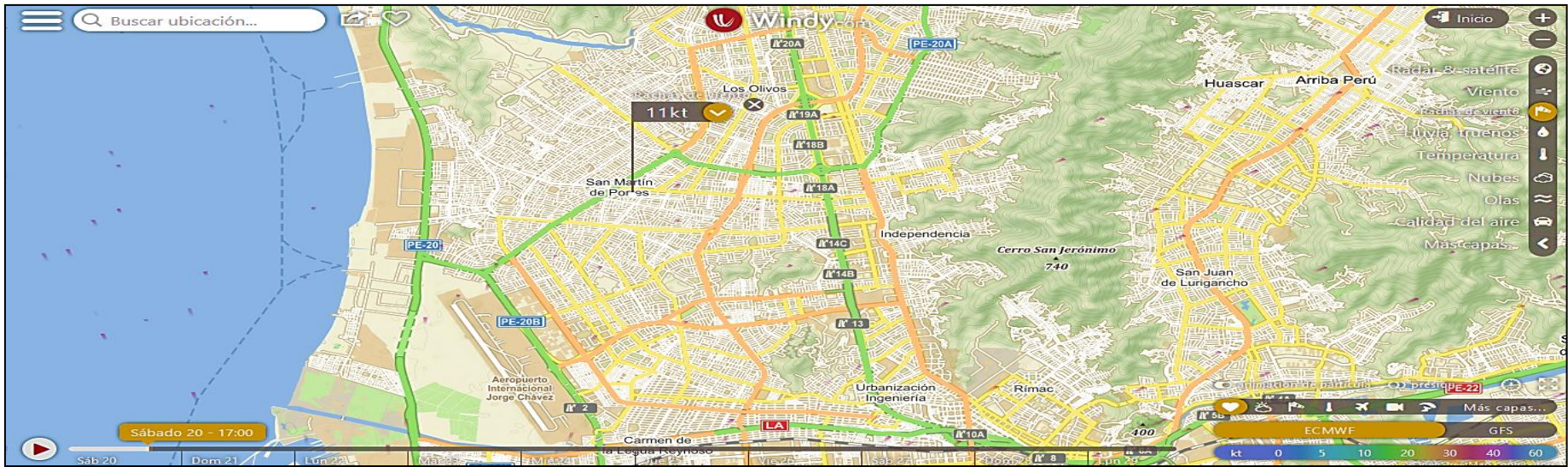
DNI: 08447308



## Anexo 6. Características climáticas de la zona para estudio

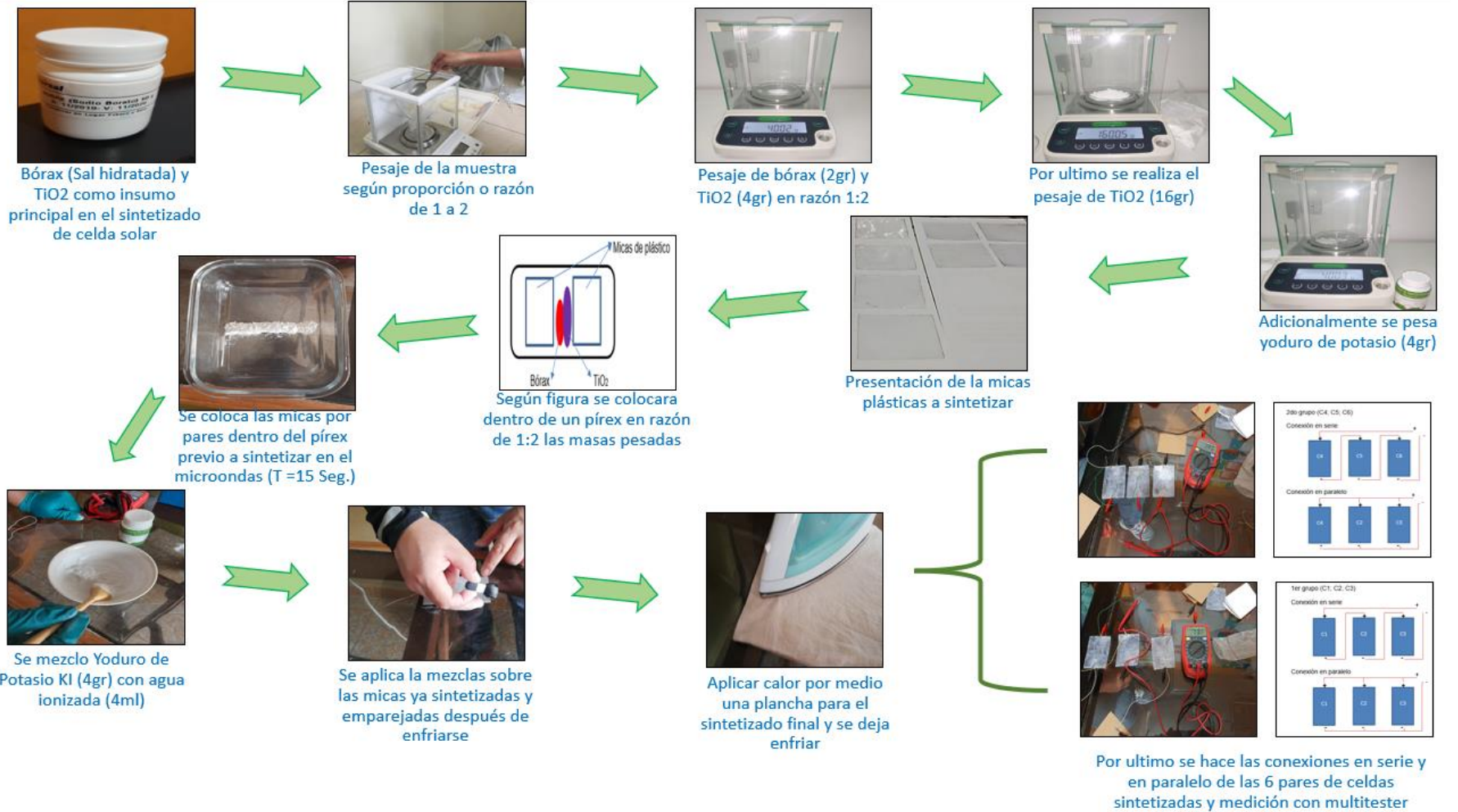








## Anexo 7. Procedimiento de Fabricación de la Celda Solar



## Anexo 8. Mediciones de parámetros eléctricos











