



UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

**FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA
ELÉCTRICA**

Análisis comparativo del efecto del nivel de radiación solar en la eficiencia de un módulo fotovoltaico monocristalino y uno policristalino.

TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

Ingeniero Mecánico Electricista

AUTOR(ES):

Carbajal Cano, Jonathan Kevin (orcid.org/0000-0002-8629-7081)

Marín Ruiz, Edwin Erick (orcid.org/0000-0001-5550-794X)

ASESOR:

Mg. Castro Anticona, Walter Miguel (orcid.org/0000-0002-8127-4040)

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:

Generación, Transmisión y Distribución

LÍNEA DE RESPONSABILIDAD SOCIAL UNIVERSITARIA:

Desarrollo sostenible y adaptación al cambio climático

TRUJILLO - PERÚ

2023

DEDICATORIA

A Dios, mi roca y mi refugio, te agradezco por cada una de las bendiciones que has derramado sobre mi familia. Gracias por tu amor incondicional, tu guía y tu protección.

A mis padres, ustedes son mis guías y mis maestros. Gracias por enseñarme los valores fundamentales de la vida y por brindarme una educación llena de amor y dedicación.

A mi esposa y mis queridos hijos, ustedes son mi razón de ser, mi mayor orgullo y mi mayor alegría.

AGRADECIMIENTO

En primer lugar, quiero expresar mi gratitud a la Universidad Cesar Vallejo y mis estimados profesores y mentores. Su guía experta, paciencia y dedicación han sido fundamentales en mi formación.

A mi asesor, Ing. Walter Miguel Castro Anticona, gracias por compartir sus conocimientos, por desafiarme a superar mis límites y por brindarme el apoyo constante a lo largo de mi tesis.

A mis queridos padres, familiares y amigos, no tengo palabras suficientes para expresar mi gratitud por su apoyo incondicional y amor inquebrantable.



UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

**FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA**

Declaratoria de Autenticidad del Asesor

Yo, CASTRO ANTICONA WALTER MIGUEL, docente de la FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA de la escuela profesional de INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA de la UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO SAC - TRUJILLO, asesor de Tesis titulada: "Análisis comparativo del efecto del nivel de radiación solar en la eficiencia de un módulo fotovoltaico monocristalino y uno policristalino.", cuyos autores son MARIN RUIZ EDWIN ERICK, CARBAJAL CANO JONATHAN KEVIN, constato que la investigación tiene un índice de similitud de 12.00%, verificable en el reporte de originalidad del programa Turnitin, el cual ha sido realizado sin filtros, ni exclusiones.

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

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

TRUJILLO, 12 de Julio del 2023

Apellidos y Nombres del Asesor:	Firma
CASTRO ANTICONA WALTER MIGUEL DNI: 18173382 ORCID: 0000-0002-8127-4040	Firmado electrónicamente por: CASTROA el 23-07- 2023 11:06:53

Código documento Trilce: TRI - 0587571





UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA

Declaratoria de Originalidad de los Autores

Nosotros, CARBAJAL CANO JONATHAN KEVIN, MARIN RUIZ EDWIN ERICK estudiantes de la FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA de la escuela profesional de INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA de la UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO SAC - TRUJILLO, declaramos bajo juramento que todos los datos e información que acompañan la Tesis titulada: "Análisis comparativo del efecto del nivel de radiación solar en la eficiencia de un módulo fotovoltaico monocristalino y uno policristalino.", es de nuestra autoría, por lo tanto, declaramos que la Tesis:

1. No ha sido plagiada ni total, ni parcialmente.
2. Hemos mencionado todas las fuentes empleadas, identificando correctamente toda cita textual o de paráfrasis proveniente de otras fuentes.
3. No ha sido publicada, ni presentada anteriormente para la obtención de otro grado académico o título profesional.
4. Los datos presentados en los resultados no han sido falseados, ni duplicados, ni copiados.

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

Nombres y Apellidos	Firma
MARIN RUIZ EDWIN ERICK DNI: 45301892 ORCID: orcid.org/0000-0001-5550	Firmado electrónicamente por: EEMARINM el 26-07-2023 10:32:51
CARBAJAL CANO JONATHAN KEVIN DNI: 70504655 ORCID: 0000-0002-8629-7081	Firmado electrónicamente por: JKCARBAJAL el 25-07-2023 23:18:49

Código documento Trilce: INV - 1320220

ÍNDICE DE CONTENIDOS

Carátula.....	i
Dedicatoria.....	ii
Agradecimiento	iii
Declaratoria de autenticidad del asesor.....	iv
Declaratoria de originalidad de los autores.....	v
Índice de contenidos	vi
Índice de tablas	vii
Índice de gráficos y figuras.....	viii
Resumen.....	ix
Abstract.....	x
I. INTRODUCCIÓN.....	1
II. MARCO TEÓRICO	5
III. METODOLOGÍA.....	26
3.1. Tipo y diseño de investigación	26
3.2. Variables y operacionalización.....	27
3.3. Población, muestra, muestreo y unidad de análisis	27
3.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos.....	28
3.5. Procedimiento	28
3.6. Método de análisis de datos.....	30
3.7. Aspectos éticos.....	30
IV. RESULTADOS	31
V. DISCUSIÓN.....	50
VI. CONCLUSIONES.....	54
VII. RECOMENDACIONES	56
REFERENCIAS.....	57
ANEXOS.....	67

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1	Fechas de medición	32
Tabla 2	Equipos y dispositivos para la medición	33
Tabla 3	Especificaciones técnicas de los paneles fotovoltaicos.....	33
Tabla 4	Especificaciones técnicas de los controladores de carga.....	34
Tabla 5	Tabla de frecuencias de potencia para panel monocristalino.....	38
Tabla 6	Tabla de frecuencias de potencia para panel policristalino	39
Tabla 7	Energía generada por tipo de panel	41
Tabla 8	Tabla de frecuencias de eficiencia para panel monocristalino	46
Tabla 9	Tabla de frecuencias de eficiencia para panel policristalino.....	47
Tabla 10	Comparación eficiencias medidas con eficiencia ficha técnica	49

ÍNDICE DE GRÁFICOS Y FIGURAS

Figura 1. Radiación global y sus componentes	12
Figura 2. Celda solar y módulo fotovoltaico.....	14
Figura 3. Panel monocristalino y policristalino.....	16
Figura 4. Curva I-V de un módulo fotovoltaico	17
Figura 5. Curva P-V de un módulo fotovoltaico	18
Figura 6. Variación de la corriente, voltaje y potencia debido a la temperatura ...	21
Figura 7. a) Conexión de sistema con un módulo fotovoltaico monocristalino. b) Conexión de sistema con un módulo fotovoltaico policristalino.....	25
Figura 8. Procedimiento para el desarrollo de la investigación	29
Figura 9. Mapa satelital del lugar de instalación de los módulos fotovoltaicos.....	31
Figura 10. Placa de características para los paneles fotovoltaicos en estudio.....	35
Figura 11. Irradiancia diaria para cada día de medición.....	36
Figura 12. Potencia de salida vs Irradiancia.....	37
Figura 13. Histograma de potencias para panel monocristalino.....	38
Figura 14. Histograma de potencias para panel policristalino	39
Figura 15. Potencia de salida vs Temperatura ambiente	40
Figura 16. Energía diaria vs Energía generada por tipo de panel	42
Figura 17. Eficiencia vs Temperatura ambiente	44
Figura 18. Eficiencia vs Irradiancia.....	45
Figura 19. Histograma de eficiencias para panel monocristalino	47
Figura 20. Histograma de eficiencias para panel policristalino.....	48
Figura 21. Comparación eficiencias medidas con eficiencia ficha técnica	49

RESUMEN

El presente informe final de tesis se enfocó en evaluar la variación de la eficiencia energética de un módulo fotovoltaico monocristalino y uno policristalino para diferentes niveles de radiación. La investigación desarrollada fue del tipo experimental y aplicada, empleando un enfoque cuantitativo y de alcance explicativo. La muestra estuvo conformada por 2 módulos fotovoltaicos, uno del tipo monocristalino y otro del tipo policristalino de 150 W cada uno. En el estudio se determinó que el panel monocristalino generó valores de potencia dentro del rango de 48 a 55 W, mientras que el panel policristalino generó dentro del rango de 29 a 36 W, en la mayoría de datos. El panel monocristalino generó un total de 2545,09 Wh y el panel policristalino generó 1901,50 Wh. Se evaluó que el aumento de la temperatura produce una reducción en la eficiencia de los módulos. La eficiencia del panel monocristalino se presentó en el rango de 6,03 a 8,03 %. Por el contrario, el panel policristalino presentó datos de eficiencia entre los valores de 5,03 a 7,03 %, en la mayoría de datos. La eficiencia máxima medida para el panel monocristalino fue de 15,55 % y para el panel policristalino fue de 12,63 %.

Palabras clave: Panel monocristalino, panel policristalino, eficiencia energética, niveles de radiación solar, temperatura.

ABSTRACT

This final thesis report focused on analyzing the variation in the energy efficiency of a monocrystalline and a polycrystalline photovoltaic module for different levels of radiation. The research developed was experimental and basic, using a quantitative approach and explanatory scope. The sample consisted of 2 photovoltaic modules, one of the monocrystalline type and another of the polycrystalline type of 150 W each. In the study it was determined that the monocrystalline panel generated power values within the range of 48 to 55 W, while the polycrystalline panel generated within the range of 29 to 36 W, in most data. The monocrystalline panel generated a total of 2545.09 Wh and the polycrystalline panel generated 1901.50 Wh. It was evaluated that the increase in temperature produces a reduction in the efficiency of the modules. The efficiency of the monocrystalline panel was presented in the range of 6.03 to 8.03 %. On the contrary, the polycrystalline panel presented efficiency data between the values of 5.03 to 7.03%, in most data. The maximum efficiency measured for the monocrystalline panel was 15.55 % and for the polycrystalline panel was 12.63 %.

Keywords: Monocrystalline panel, polycrystalline panel, energy efficiency, solar radiation levels, temperature.

I. INTRODUCCIÓN

Actualmente, los diversos problemas ambientales causados por el calentamiento global y el agotamiento de la energía fósil, ha generado el interés común del impulso y la aplicación vigorosa de energías renovables en muchos países del mundo (Hanfang *et al.*, 2020, p. 2). Una de estas energías renovables es la energía fotovoltaica, la cual convierte la energía solar en electricidad mediante la captación de la radiación solar a través de módulos fotovoltaicos (Ourraoui y Ahaitouf, 2022, p. 34; Hassan, 2022, p. 240; Ben hmamou *et al.*, 2021, p. 9037).

Estos sistemas fotovoltaicos están jugando un papel cada vez más significativo en el suministro de la energía eléctrica del mundo, experimentando una radical reducción de costes que la posiciona como una de las tecnologías energéticas más prometedoras en el futuro (Mulcué-Nieto *et al.*, 2020, p. 203). Sin embargo, existen ciertos desafíos para mantener una buena eficiencia del sistema fotovoltaico y entregar la generación de energía deseada (Sajid *et al.* 2022, p. 12; Manno *et al.*, 2021, p. 98).

A nivel mundial se ha evidenciado que la reducción de la eficiencia y el déficit de producción son escenarios comunes para los sistemas fotovoltaicos cuando se enfrentan a eventos defectuosos interferidos por perturbaciones, defectos, inestabilidad climática y otros factores que contribuyen a la interrupción de la eficiencia del sistema deseado en términos de eficiencia y producción (Yaghoubirad *et al.*, 2022, p. 144; Sabry y Ker, 2021, p. 431). No obstante, a nivel mundial, el número de proyectos que buscan incorporar este tipo de sistemas fotovoltaicos para la generación de energía en procesos industriales, en hogares u otros establecimientos se ha intensificado considerablemente en los últimos 15 años, con al menos 891 instalaciones en todo el mundo al 2022 (Zsiboracs *et al.*, 2021, p. 32; Basu *et al.*, 2021, p. 4883).

Asimismo, en el Perú algunas investigaciones han reportado que la eficiencia y el beneficio de los sistemas fotovoltaicos está claramente relacionada con la radiación solar, la cantidad y las propiedades eléctricas del equipo (Ganesan y Valderrama, 2022, p. 3). En esa línea de ideas, el Perú es uno de los países que

también se ha comprometido al desarrollo de energía asequible y no contaminante, por lo cual está invirtiendo en fuentes de energía limpia como la energía fotovoltaica aprovechando que es un territorio que cuenta con una elevada radiación solar anual con valores de 5.5 a 6.5 kWh/m²; 5.0 a 6.0 kWh/m² y 4.5 a 5.0 kWh/m² en la sierra, costa y selva, respectivamente (Ministerio de Energía y Minas [MINEM], 2003).

De acuerdo con diversos estudios que vienen realizándose se considera que, para una buena eficiencia de un sistema fotovoltaico, se debe tener en cuenta diversos factores, entre ellos, la orientación correcta de los módulos fotovoltaicos, la elección de los ángulos de inclinación (Sreenath *et al.*, 2020, p. 23; De Souza Silva *et al.*, 2022, p. 10155; Narkwatchara *et al.*, 2020, p. 2578; Schaube *et al.*, 2022, p. 458), los efectos de la temperatura, la luz solar, la transparencia de la atmósfera, la velocidad del viento, la humedad y el polvo donde son instalados estos sistemas (Leonforte *et al.*, 2022, p. 58; Shen *et al.*, 2022, p. 789; Shubbak, 2019, p. 96; Ma *et al.*, 2021, p. 5497; Osmani *et al.* 2020, p. 456).

De no desarrollar e implementar estos tipos de energía alternativa, se seguirá contribuyendo de manera negativa al deterioro del medio ambiente que en un futuro tendrá efectos extremos. Según recientes estudios publicados, el sistema energético representa una de las fuentes que emite aproximadamente dos tercios de las emisiones mundiales de CO₂ (Soler-Castillo *et al.*, 2021, p. 115).

La ciudad de Chimbote ubicada al norte del Perú, presenta características climáticas favorables para el funcionamiento de sistemas fotovoltaicos gracias a su clima templado, desértico y oceánico. Donde la temperatura en términos generales oscila entre 16 a 27 °C y en casi pocas ocasiones, baja a menos de 14 °C o sube más de 29 °C y donde los días lluviosos son eventuales. Condiciones climáticas que parecen ser favorables para la implementación de módulos fotovoltaicos, puesto que, a la fecha se conoce que muchos de los factores climáticos que perturban la eficiencia de estos sistemas son: las altas temperaturas (mayores a 30 °C) y los días lluviosos.

Aun cuando las condiciones climáticas de Chimbote parecen ser favorables para la generación de energía eléctrica mediante el empleo de módulos fotovoltaicos, este tipo de sistemas hasta la fecha, son muy poco implementados

en el lugar mencionado y se encuentran en una etapa muy temprana de masificación, debido a falta de estudios que analicen la eficiencia de diferentes módulos fotovoltaicos bajo los aspectos climáticos específicos de esta zona. Con el objetivo de establecer las bases necesarias para realizar una buena elección del tipo de módulo fotovoltaico que sea más adecuado implementar en la ciudad para la producción de energía eléctrica.

Por lo tanto, la investigación que aquí se presenta, se justifica porque pretende establecer una parte importante de la información necesaria que se debe tener en cuenta en la inversión e implementación de los sistemas fotovoltaicos, específicamente la etapa de selección de un módulo fotovoltaico que genere una adecuada eficiencia energética bajo las condiciones climáticas de Chimbote. Asimismo, se justifica por su relevancia social y ambiental, debido a que, a partir de este estudio se promoverá la implementación de estos sistemas fotovoltaicos en Chimbote, generando un compromiso con el mejoramiento y mantenimiento del medio ambiente desarrollando proyectos basados en este tipo de energía limpia y segura proveniente de una fuente inagotable. Lo que conlleva a reducir los niveles del calentamiento global, la emisión de CO₂, reducir el consumo eléctrico hasta un 40% y contribuir al desarrollo sostenible.

Con base en lo anterior, la formulación del problema de investigación se plantea en base a la siguiente pregunta: ¿Cuál es la variación de la eficiencia de un módulo fotovoltaico monocristalino y uno policristalino para diferentes niveles de radiación?, y de manera específica se plantea las siguientes preguntas: ¿Cuáles son las características técnicas de ambos tipos de módulos fotovoltaicos para que sea sustentable un estudio de comparación?, ¿Cuál es la potencia generada por cada módulo fotovoltaico para diferentes niveles de radiación?, ¿Cuál es el efecto de la temperatura en la eficiencia energética de cada módulo fotovoltaico?, y ¿Cuál es la eficiencia final de los módulos fotovoltaicos en estudio?

Conforme a lo determinado, el objetivo general del presente proyecto de investigación es: Analizar la variación de la eficiencia energética de un módulo fotovoltaico monocristalino y uno policristalino para diferentes niveles de radiación. Y como objetivos específicos se planteó: Evaluar las características técnicas de ambos tipos de módulos fotovoltaicos para que sean sustentable un estudio de comparación, determinar la potencia generada por cada módulo fotovoltaico para diferentes niveles de radiación, evaluar el efecto de la temperatura en la eficiencia energética de cada módulo fotovoltaico y determinar la eficiencia final de los módulos fotovoltaicos en estudio.

II. MARCO TEÓRICO

El análisis de eficiencia energética de los sistemas fotovoltaicos es un punto clave para la predicción del mejor módulo fotovoltaico en cualquier condición climática específica. Es así que diversos estudios de investigación vienen evaluando esta variable en diferentes climas. Entre estos estudios encontramos a Mulcué-Nieto *et al.* (2020), quienes, en su trabajo realizado en Colombia, estudiaron la eficiencia energética de dos sistemas solares fotovoltaicos en las condiciones climáticas de Manizales. Para lo cual, los autores evaluaron variables como la temperatura del inversor, la radiación solar en el sitio de prueba y los voltajes de entrada y salida del inversor, los cuales fueron medidos cada 10 minutos por un periodo de 4 estaciones. En esta investigación se encontró que la principal causa de la óptima eficiencia de los módulos fotovoltaicos fue la temperatura de la ciudad. Concluyendo que no existe discrepancias relevantes entre la eficiencia de cada módulo dependiendo de las estaciones de invierno o verano.

En otro estudio realizado en Pakistán por Ur Rehman *et al.* (2022), se analizó la eficiencia de diferentes módulos fotovoltaicos en condiciones climáticas variables. Para ello, se centraron en la evaluación de la tasa de absorción de la radiación solar, la potencia máxima de salida, la relación de la eficiencia y el efecto de la temperatura en cada módulo bajo condiciones reales al aire libre. Los resultados de esta investigación reportaron que el módulo de silicio monocristalino presenta una mayor eficiencia del 20,8 % en comparación con otros módulos fotovoltaicos. Además, observaron que las altas temperaturas de verano mostraron una baja relación de eficiencia en comparación con la temporada de invierno. Concluyendo que la eficiencia alta de un módulo está relacionada con una alta tasa de absorción y alta tasa de conducción.

Asimismo, en una investigación realizada en Kuwait realizaron un análisis comparativo de la eficiencia energética de ocho tecnologías fotovoltaicas (FV) en las duras condiciones climáticas. Para ello los autores, emplearon dos módulos fotovoltaicos de ocho tecnologías disponibles comercialmente, con un total de 16 muestras. Y adquirieron sistemáticamente el conjunto de datos analizados durante un periodo de 12 meses. Prestando especial atención a las variables de temperatura y polvo sobre la eficiencia de los módulos. En esta investigación se

encontró que los módulos monocristalinos (m-Si, p-Si y HIT) presentaban mejores eficiencias en niveles de irradiación altos. Concluyendo que la geometría del módulo y los materiales de construcción poseen un impacto relevante en la temperatura del módulo, y posteriormente en la eficiencia energética del módulo (Adouane *et al.*, 2020).

Por otro lado, en una investigación realizada en África se evaluó la eficiencia de cuatro módulos fotovoltaicos bajo fuentes de luz artificial. Para ello, los investigadores emplearon cuatro fuentes de luz a diferentes niveles de iluminación de 100 lx a 200 lx. Los resultados alcanzados en este estudio mostraron que las mejores eficiencias energéticas se registran en módulos monocristalinos (m-Si PV4) obteniendo densidades de potencia de hasta 555.83 $\mu\text{W}/\text{cm}^2$ bajo las condiciones de luz emitidas por lámparas incandescentes. Asimismo, se obtuvo que los peores valores de eficiencia bajo condiciones de luz se suscitaron debido a lámparas LED con densidades de potencia de 0.16 $\mu\text{W}/\text{cm}^2$. Finalmente, esta investigación concluye que los módulos fotovoltaicos m-Si son adecuados para ser operados bajo luz artificial (Mengounou *et al.*, 2022).

En otra investigación realizada por Ebhota y Tabakov (2022), en Durban, se examinó la eficiencia de un sistema fotovoltaico correspondiente a diferentes tecnologías de células fotovoltaicas y temperatura ambiente. Para lo cual, emplearon rangos de temperatura ambiente de 10 a 50 °C, en un intervalo de 5 °C para investigar la preponderancia de la temperatura en la eficiencia energética del sistema fotovoltaico utilizando dos tipos diferente de células fotovoltaicas. En esta investigación se encontró que las células fotovoltaicas CIGS producen en mayor cantidad energía, en pruebas y condiciones estándares y temperatura elevadas. Concluyendo que las condiciones ambientales de las regiones templadas y tropicales se desvían significativamente de las condiciones estándares, lo cual provoca una baja eficiencia o reducción en la producción de la energía fotovoltaica.

También se encontró otra investigación realizada en Reino unido por Sreenath *et al.* (2020), quienes evaluaron la eficiencia de un módulo fotovoltaico bajo algunas condiciones climáticas extremas. Para ello, los investigadores emplearon el software comercial CFD de COMSOL Multiphysics v5.3, para

condiciones transitorias y realizaron los análisis en base a una ecuación de balance de energía unidimensional no lineal en Matlab. Los resultados de esta investigación reportaron que una posición inclinada y horizontal del módulo son débiles en relación a una posición vertical y una longitud del módulo inclinado hasta 1,3 m mejora la tasa de transferencia de calor. Concluyendo que, en una posición horizontal, la tasa de transferencia de calor por convección es menor, particularmente en la superficie inferior del sistema fotovoltaico que produce una baja eficiencia.

Por su parte Arenandan et al. (2022), realizaron un estudio en Malasia donde evaluaron la eficiencia energética en la generación de energía de módulos fotovoltaicos y determinaron la altura óptima de instalación en climas tropicales. Para el desarrollo de este estudio instalaron dos unidades de módulos fotovoltaicos de 1 kW cada uno en la azotea de un edificio en tres alturas diferentes (0,3 m; 0,6 m y 0,9 m) desde el nivel del piso y se monitorio el efecto de la altura, la temperatura ambiente y la eficiencia energética diario durante 6 meses. En esta investigación se reportó que el sistema fotovoltaico de techo verde presentó temperaturas ambientales y de módulo fotovoltaico más bajas de 3.36 % y 17 % en comparación con el sistema fotovoltaico de techo desnudo. Asimismo, que el módulo de techo verde mejoró la eficiencia de energía en un 1,6 %. Concluyendo que, el techo verde instalado a 0,3 m aumenta la eficiencia de generación de energía en un 3 % y un 11 % en comparación con el de 0,6 m y 0,9 m, respectivamente.

Y en otra investigación realizada en China se comparó y analizó el impacto de la diferencia en la temperatura del aire en los ingresos de la producción de energía fotovoltaica. Para ello, establecieron una ecuación funcional entre la generación de energía fotovoltaica, la radiación solar y la temperatura del aire. Los resultados de esta investigación revelaron la relación entre la radiación solar, la temperatura del aire y la generación de energía fotovoltaica.

Para profundizar, sobre la variable de estudio, se buscó información de investigadores que evaluaron la eficiencia energética de los sistemas fotovoltaicos, encontrando que la eficiencia relacionada con la energía fotovoltaica, es determinado como la cantidad de energía solar que se transforma en energía

eléctrica en el sistema fotovoltaico, la cual depende de las pérdidas que pueda haber en el sistema (Mulcué-Nieto *et al.*, 2020; Shinde y Sonje, 2021). Y cuya estimación es necesaria para garantizar el dimensionamiento adecuado de los dispositivos del sistema fotovoltaico (Alves Dos Santos *et al.*, 2021).

Para Janardhan *et al.* (2020) y Zhang *et al.* (2020), la eficiencia energética puede expresarse como la correspondencia existente entre la energía que ingresa a un sistema y la energía útil que se libera de ella. Una definición similar es la considerada por Nabil y Mansour (2022), quienes definen eficiencia, una transformación energética, donde el valor de la cantidad de energía entregada es igual a la suma de la energía disipada en forma de calor y la energía útil.

Otros investigadores como es el caso de Iringová y Kovačic (2021), mencionan que la eficiencia logra expresarse por la correspondencia entre la potencia eléctrica transmitida por la célula solar, y la potencia de la radiación que incide sobre ella. En este punto es significativo resaltar que dentro de estas definiciones diversos investigadores mencionan que la eficiencia de un sistema fotovoltaico está supeditada de muchos factores como la irradiación que le llega al sistema, la temperatura que adquiere (Arenandan *et al.*, 2022), la tecnología utilizada y de los parámetros climáticos del sitio de la planta de energía (Al-Damook *et al.*, 2022). Donde, la temperatura de los módulos solares fotovoltaicos afectará la eficiencia del sistema fotovoltaico, que se manifiesta principalmente en la reducción de la eficiencia de conversión fotoeléctrica y la disminución de la producción de energía fotovoltaica (Li *et al.*, 2022; Zhang *et al.*, 2020).

Por otro lado, con base en la revisión de las diferentes investigaciones, encontramos que las dimensiones consideradas por Leonforte *et al.* (2022), para valorar la eficiencia de un sistema fotovoltaico se basó en los balances de masa y energía, a partir de las medidas experimentales recolectadas durante el periodo de monitoreo, quienes consideraron medidas como la radiación solar, que se calcula usando un pirómetro colocado junto a los colectores solares, la energía eléctrica producida por los sistemas fotovoltaicos mediante analizadores de red multifuncionales y la potencia eléctrica consumida por la bomba de calor.

Mulcué-Nieto *et al.* (2020), basados en lo propuesto por otros autores evaluaron la eficiencia de los sistemas fotovoltaicos considerando una dimensión matemática, tomando el estándar establecido por la Agencia Internacional de Energía, quienes consideran medidas como la irradiación solar durante un periodo de tiempo específico, la radiación solar, la eficiencia de referencia, la energía generada como corriente continua que es la energía a la entrada del inversor medida en KWh y se calcula como la integración temporal de la potencia producida por el sistema fotovoltaico; y finalmente la salida de energía neta de todo el sistema fotovoltaico.

Asimismo, la eficiencia energética según lo propuesto por Maraj, *et al.* (2022), se dimensiona en datos medidos durante un período específico, que evalúa varios parámetros como: la energía generada a partir de la unidad fotovoltaica, la eficiencia final del sistema, la eficiencia del sistema y el factor de capacidad que se precisa como la relación entre la eficiencia energética diaria en el lado de la corriente alterna del sistema y la potencia nominal del conjunto fotovoltaico instalado en condiciones de prueba (Alshafeey y Csáki, 2021). Los cuales, proporcionarán un panorama claro sobre el funcionamiento de este sistema fotovoltaico.

Sumando a lo anterior, Bentouba *et al.* (2021), también consideran las dimensiones establecidas por el Programa de Sistemas de Energía Fotovoltaica de la Agencia Internacional de Energía (AIE) , quienes consideran que los parámetros más relevantes para el análisis de la eficiencia energética son: la producción de energía, la eficiencia del arreglo, la eficiencia final, la eficiencia de referencia, la eficiencia del módulo, la eficiencia del inversor , la eficiencia del sistema, la pérdida de energía (pérdida de captura del arreglo y pérdida del sistema), el índice de la eficiencia y el factor de capacidad. Cuyos indicadores normalizados sirven como comparadores clave para evaluar la eficiencia de una planta de energía fotovoltaica a gran escala (Ebhotu y Tabakov, 2022).

Entre algunos aportes se encontró el de Fernández-Solas *et al.* (2022), quienes señalan que los parámetros considerados para la evaluación de la eficiencia de los sistemas fotovoltaicos admiten la localización de problemas

operativos, que facilita el cotejo de sistemas fotovoltaicos. Sin embargo, eso puede diferir en cuanto a la tecnología, al diseño o la ubicación geográfica del sistema.

Por su parte Rodziewicz *et al.* (2021), señalan que al evaluar la eficiencia de los módulos fotovoltaicos es importante considerar las pérdidas de potencia en torno al 2 % por cada 5 °C de aumento de la temperatura de funcionamiento (cuyo porcentaje puede variar levemente según cada tecnología). Dado que, las temperaturas de funcionamiento de los sistemas fotovoltaicos son influenciados por factores ambientales, entre ellos, la irradiación, la temperatura, la posición de los módulos, la velocidad del viento o ventilación en la parte trasera (Mukisa *et al.*, 2021). Lo cual, implica que, en las mismas condiciones de radiación solar incidente, un solo sistema fotovoltaico produzca menos energía en un clima cálido que en un clima frío.

Un aporte similar fue señalado por Yaghoubirad *et al.* (2022), quienes mencionan que la temperatura es un determinante significativo que afecta la eficiencia de los módulos fotovoltaicos. Dado que, se ha informado ampliamente en la literatura que un aumento en la temperatura tiene un efecto perjudicial en la producción de energía de los módulos fotovoltaicos.

Asimismo, según el aporte realizado por Ur Rehman *et al.* (2022), la deposición de polvo del aire en los módulos fotovoltaicos exteriores también tiene un efecto perjudicial sobre la eficiencia, debido a que puede disminuir la transmitancia de la radiación solar a las celdas solares y, como resultado, disminuir la eficiencia de conversión solar de los módulos fotovoltaicos. Por lo tanto, se puede decir que la eficiencia de un sistema fotovoltaico puede variar no solo por el material y diseño de manufactura, sino también por factores naturales e intervención del usuario.

Finalmente, Kant *et al.* (2019), señalan que para la evaluación de la eficiencia de un sistema fotovoltaico se puede emplear una enorme base de datos registrada a través de un procedimiento basado en sensores que monitorean el estado eléctrico de los paneles, inversores y transformadores, así como las condiciones climáticas locales.

La forma más cuantiosa de energía renovable es la energía solar. Es la energía que puede ser utilizada para operaciones energéticas y viaja a la superficie terrestre como radiación solar. El sol envía enormes cantidades de energía hacia el planeta tierra, lo que a nivel humano equivale a una fuente interminable, confiable, segura, limpia y que no produce emisiones contaminantes para nuestro planeta (Guarin, 2022).

Mediante el efecto fotovoltaico según Salamanca-Ávila (2017), la energía solar fotovoltaica convierte la radiación solar en energía eléctrica. Las células solares, también conocidas como células fotovoltaicas, son los mecanismos básicos de los paneles solares. Cuando la luz del sol incide sobre materiales hechos de elementos semiconductores cristalinos, los enlaces entre los electrones de valencia y sus núcleos se rompen, lo que permite que los electrones circulen libremente en la misma dirección, llenando vacíos y, en última instancia, creando un flujo de electrones. Un módulo fotovoltaico tiene un número específico de células solares. Cuando se conectan entre sí, varios módulos forman un arreglo y se pueden conectar en paralelo o en serie.

La irradiancia, se refiere a la radiación solar por unidad de tiempo y por unidad de área. Su unidad correspondiente es el W/m^2 (Hasanuzzaman, 2022).

Para Hasanuzzaman, (2022), la irradiación es la cantidad de energía solar absorbida en un área definida en un momento determinado. Su unidad correspondiente es el J/m^2 o kWh/m^2 . Se mide sobre una base diaria promedio por hora, día y mes. Tres tipos de radiación solar componen la radiación global:

- Radiación directa: se origina directamente del sol y describe la radiación que tiene una dirección fija ya que no es dispersada por la atmósfera. También se conoce como "radiación de haz" o "radiación de haz directo".
- Radiación difusa: la radiación restante se dispersa por toda la atmósfera mediante aerosoles, nubes y moléculas. La radiación con componente difusa es la que se dispersa. Antes de que la radiación solar alcance a la superficie de la tierra, la atmósfera y otras partículas crean una serie de barreras. La intensidad de la luz se reduce a través de la reflexión, la absorción y la dispersión ocasionadas en la capa atmosférica.

- Radiación solar reflejada: una parte de la radiación global, como se ejemplifica en la Figura 1 y lo menciona Mertens (2019), se refleja desde el suelo y puede aportar radiación adicional a cualquier dispositivo de captación solar. El principal desafío al calcular este componente es que cada material del suelo se refleja (o, más precisamente, se dispersa) de manera diferente. El factor de reflexión resultante se describe mediante el denominado valor de albedo. El valor del albedo es diferente para cada material. El valor habitual de albedo se toma en un 0.20.

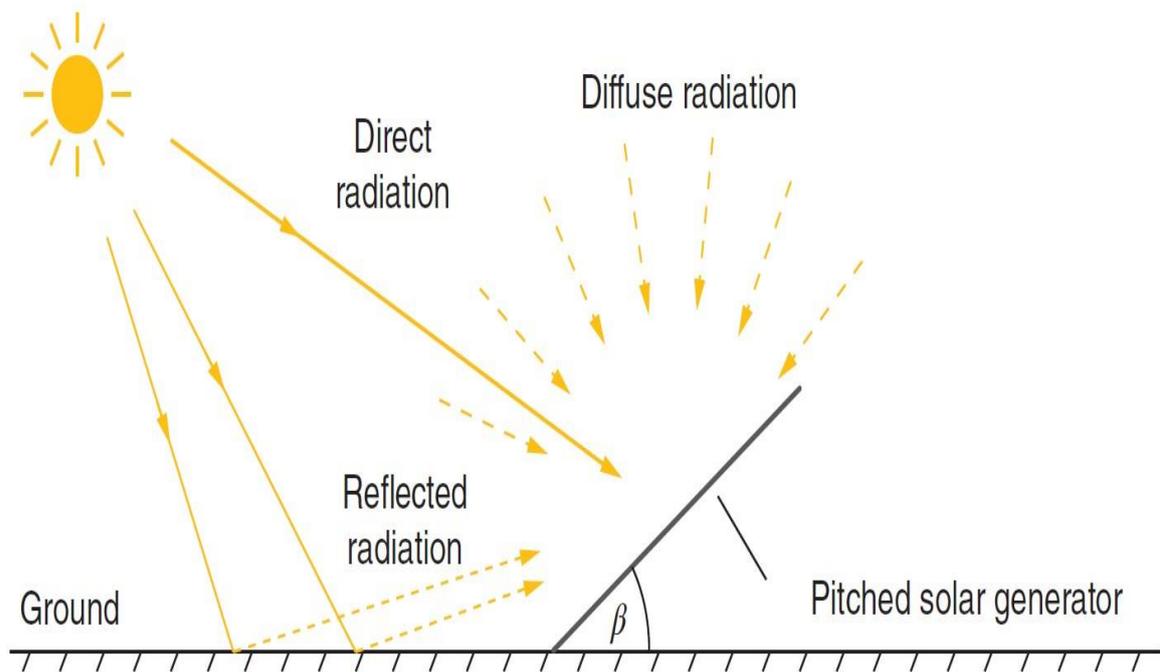


Figura 1. Radiación global y sus componentes

Fuente: Tomado de Photovoltaics: Fundamentals, Technology, and Practice (p. 35), por K. Mertens, 2019, John Wiley & Sons.

La mayor parte de la información sobre la radiación solar se recopila a través de piranómetros, los cuales según Duffie et al. (2020), son herramientas para medir la radiación total (o global). Las mediciones de radiación deben tener una precisión del 5% con un uso cuidadoso y una frecuencia razonable de calibración del piranómetro, de acuerdo con las estimaciones; los errores de integración elevarían esta cifra.

La energía fotovoltaica ha crecido hasta desempeñar un papel importante en la continua transición energética en los últimos diez años. El avance de ese

producto para Pastuszak y Węgierek (2022), se ha visto muy influida por los avances en los métodos de elaboración y la ciencia de los materiales. La energía fotovoltaica aún debe superar una serie de obstáculos antes de que pueda ofrecer energía limpia y barata.

La función principal de una celda fotovoltaica es convertir la radiación solar de luz pura en energía eléctrica a través de un proceso nombrado como efecto fotovoltaico. La producción de celdas solares utiliza una variedad de procesos, que incluyen la modificación de materiales y la eficiencia de conversión fotoeléctrica de los componentes de la celda con diferentes tasas de conversión fotoeléctrica. Las tecnologías fotovoltaicas se pueden separar por generaciones (Pastuszak y Węgierek, 2022). En la investigación presente, se hace hincapié en la primera generación de módulos fotovoltaicos. Esta categoría incluye tecnologías de células fotovoltaicas basadas en silicio monocristalino y policristalino.

Iqbal (2022), menciona que las células solares fotovoltaicas de primera generación se basan en la tecnología de película cristalina, que utiliza semiconductores como el silicio, el cual es el material más utilizado para aplicaciones comerciales y representa más del 90 % de la industria de células solares fotovoltaicas. Utilizar silicio en la fabricación de células solares fotovoltaicas tiene algunos beneficios, entre ellos:

- Está ampliamente distribuida por toda la corteza terrestre, lo que garantiza su disponibilidad y puede hacerla asequible.
- Es un compuesto no tóxico que evita que el material se contamine y pierda su durabilidad cuando se usa.
- La industria microelectrónica basada en silicio es fácilmente compatible con las células solares fotovoltaicas basadas en silicio, lo que lleva al desarrollo de las tecnologías más fascinantes.

Con una cuota de mercado del 90 %, las células solares basadas en silicio ahora representan más del 80 % de la capacidad instalada en alrededor del planeta. Son las celdas más utilizadas debido a su eficiencia comparativamente alta (Pastuszak y Węgierek, 2022).

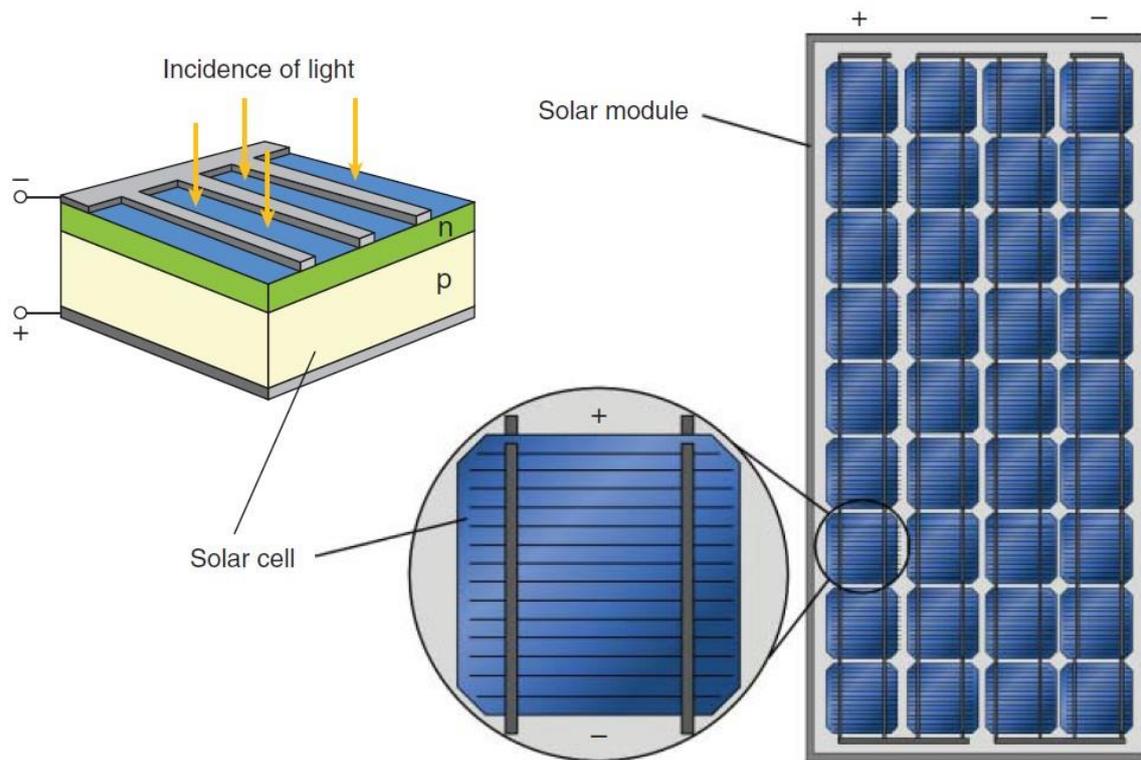


Figura 2. Celda solar y módulo fotovoltaico

Fuente: Tomado de Photovoltaics: Fundamentals, Technology, and Practice (p. 14), por K. Mertens, 2019, John Wiley & Sons.

La celda solar es la parte fundamental de todo sistema fotovoltaico, como se aprecia en la Figura 2. El silicio semiconductor, que también se utiliza en chips de computadora, diodos y transistores, constituye la mayor parte de esto. Se crea una unión p-n en la celda como resultado del dopaje de átomos, que "instala" un campo eléctrico en el cristal. Cuando la luz golpea una celda solar, los portadores de carga se liberan de sus enlaces de cristal y son transportados a los contactos externos por el campo eléctrico. Como resultado, se produce un voltaje de aproximadamente 0,5 V en los contactos de las celdas solares. La corriente descargada varía de 0 a 10 A y depende del área de la celda y la radiación (Mertens, 2019).

En un módulo solar, muchas celdas están conectadas en serie para proporcionar un voltaje utilizable en el rango de 20 a 50 V, tal como se observa en la Figura 2. Además, como asevera Mertens (2019), las células solares de los módulos están mecánicamente resguardadas y lacradas contra influencias externas (como la entrada de humedad y suciedad).

Las celdas monocristalinas se componen de piezas de un solo cristal de silicio y tiene una estructura cristalina ordenada con cada átomo idealmente situado en una posición preestablecida y comportándose de manera predecible. Los bloques de silicio, que tienen forma cilíndrica, se utilizan para crear células monocristalinas. Los bloques cilíndricos tienen esa propiedad física porque se cortan por los cuatro costados para crear láminas de silicio, lo que optimiza la eficiencia y abarata el costo de cada celda solar monocristalina (Huaman, 2018).

En las celdas o módulos fotovoltaicos del tipo monocristalino, la eficiencia de conversión de energía se encuentra dentro de un rango de 15 a 24 %. Se considera un tiempo de vida útil de 25 años y presentan como ventajas principales la estabilidad y la alta eficiencia. En contraposición sus desventajas radican en los altos costos de fabricación, su mayor sensibilidad a la temperatura, problemas de absorción y pérdidas de material (Pastuszak y Węgierek, 2022). El módulo fotovoltaico monocristalino se puede apreciar en la Figura 3.

Las celdas o módulos fotovoltaicos del tipo policristalino tal como menciona Huaman (2018), son menos costosas de producir porque están formadas por varias partículas cristalizadas diminutas que pasan por menos ciclos de filtración que consumen mucha energía. Estas celdas se producen en configuraciones cuadradas. Esto se debe a que el líquido fundido de los lingotes (cuadrados) no se extruye.

Además, Pastuszak y Węgierek (2022), mencionan que este tipo de módulos presentan eficiencias de conversión de energía de alrededor de 10 a 18 %. Se considera un tiempo de vida útil de 25 años de igual manera. Sus principales ventajas radican en su proceso de fabricación simple, rentable y que disminuye la pérdida del silicio como material. Sin embargo, la eficiencia de conversión de energía es menor y de igual forma tiene una alta sensibilidad a la temperatura. El módulo fotovoltaico policristalino se puede revisar en la Figura 3.

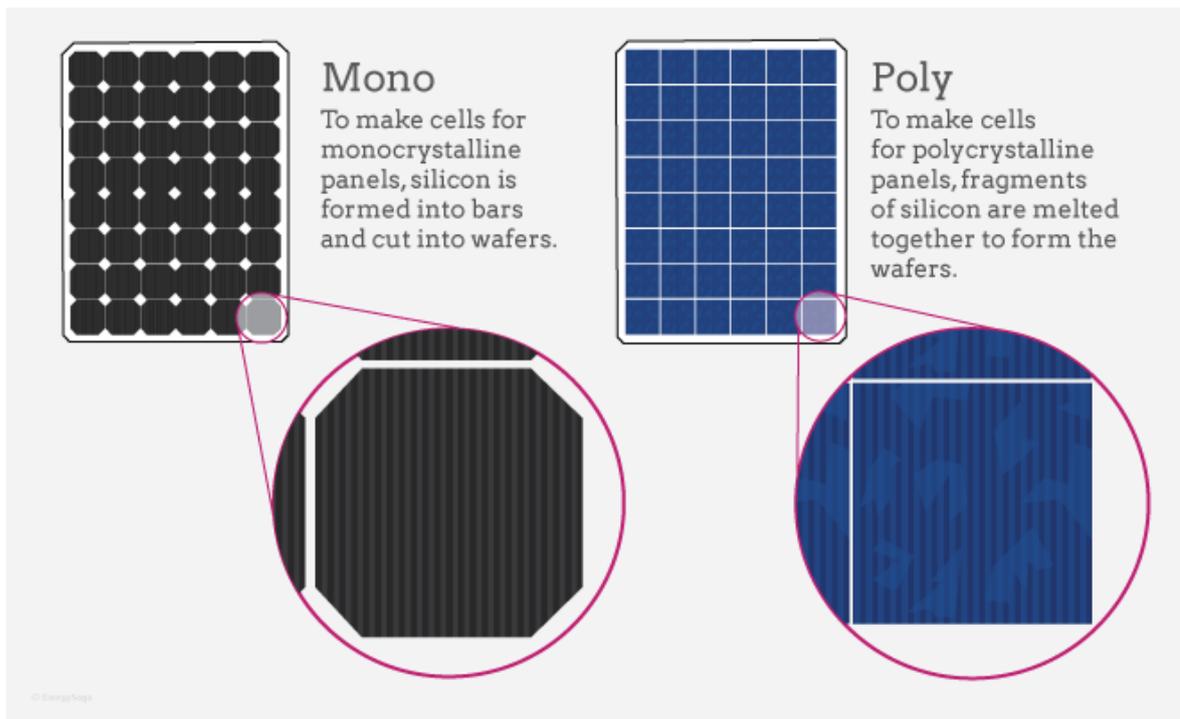


Figura 3. Panel monocristalino y policristalino

Fuente: Tomado de Monocrystalline vs Polycrystalline Solar Panels [Fotografía], por American Solar Energy Society, 2021, American Solar Energy Society. (<https://ases.org/monocrystalline-vs-polycrystalline-solar-panels/>).

Las caras anterior y posterior de una célula fotovoltaica pueden conectarse a un circuito externo para consentir la circulación de una corriente eléctrica. El circuito equivalente de una celda solar para Flores y Domínguez (2017), se puede utilizar para determinar la curva I-V del componente. Una celda solar fotovoltaica comparte la misma estructura que el diodo, uno de los elementos electrónicos de estado sólido más populares. Se produce por la combinación inducida en el interior del aparato, que se expresa en función de la tensión, V , y de la temperatura, $T(K)$.

Las curvas tipo son la consecuencia de modificaciones en la carga a la que está conectado el panel. El modelo físico de un panel fotovoltaico hace referencia a la representación de las variables físicas, como se puede ver en la Figura 4 y Figura 5, las cuales dependen directamente de factores de temperatura, radiación solar, sistemas resistivos en paralelo, serie y factor de forma, entre otros parámetros (Guarin, 2022).

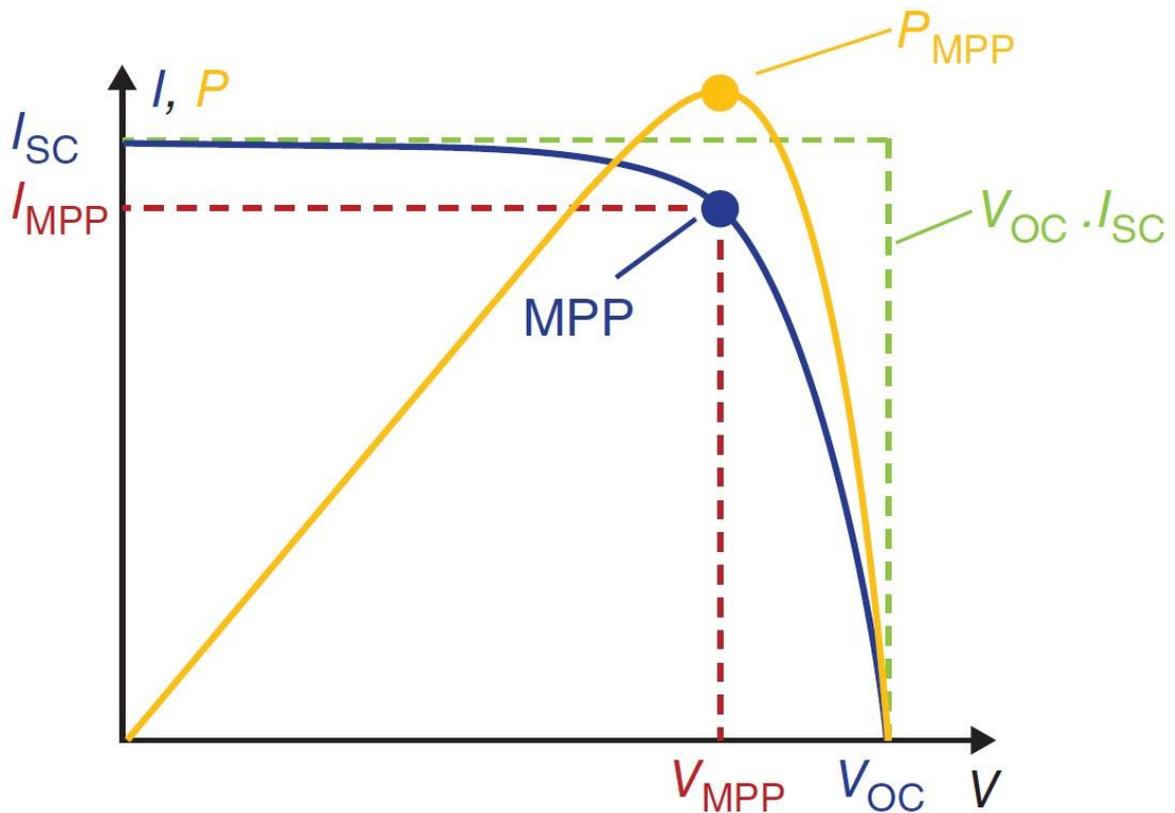


Figura 4. Curva I-V de un módulo fotovoltaico

Fuente: Tomado de Photovoltaics: Fundamentals, Technology, and Practice (p. 83), por K. Mertens, 2019, John Wiley & Sons.

La correspondencia entre el voltaje y la corriente producida por el módulo solar bajo las condiciones de prueba, se demuestra utilizando la curva característica de corriente-voltaje, también conocida como curva I-V, que es una propiedad crucial de las celdas solares. El módulo solar para Abou et al. (2022), se considera como una fuente de corriente regulada por voltaje en estas circunstancias, lo que implica que la curva I-V tendrá un valor de corriente constante mientras que el valor de voltaje puede variar dependiendo de la carga asociada. Esta curva ilustra el comportamiento eléctrico del módulo solar, con el voltaje mostrado en el eje x y la corriente en el eje y.

Se debe presentar también por parte del fabricante, una curva de potencia-voltaje o P-V en la hoja de datos del módulo, como se observa en la Figura 5, que multiplica la corriente por el voltaje para obtener la potencia de salida prevista en cada caída de voltaje en la carga (Abou et al., 2022).

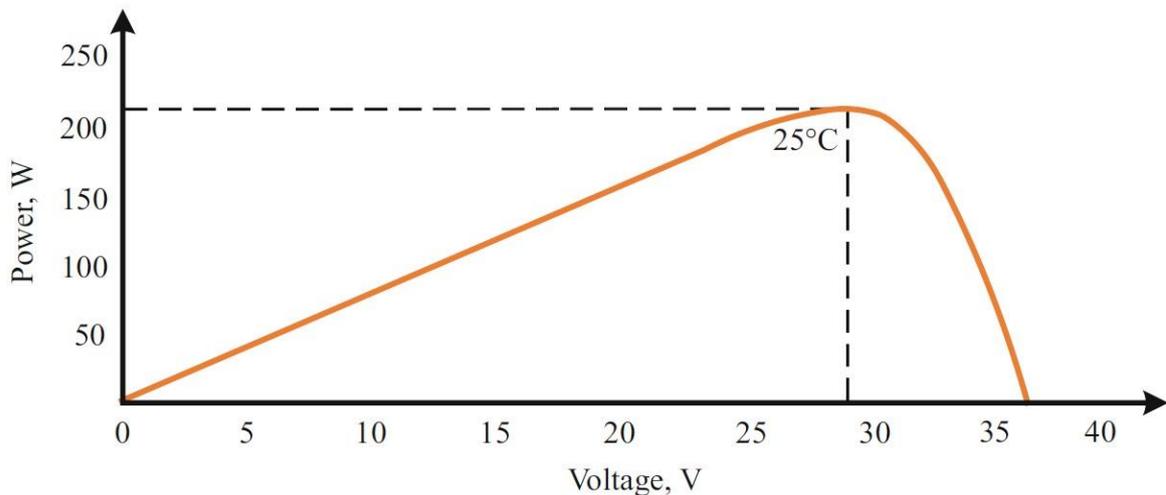


Figura 5. Curva P-V de un módulo fotovoltaico
 Tomado de Solar Photovoltaic Systems Fundamentals and Applications (p. 63), por Y. Abou et al., 2022, Springer.

En la curva I-V podemos apreciar los siguientes parámetros de funcionamiento:

Abou et al. (2022), explican que el valor medido del voltaje entre los terminales del módulo solar cuando se aplica una carga de resistencia infinita se conoce como voltaje de circuito abierto o V_{OC} , como se muestra en la Figura 4. Este voltaje es el máximo que el módulo es capaz de producir. Se puede utilizar un multímetro digital conectado en paralelo a los terminales del módulo solar para probar el valor de V_{OC} ; la salida mostrará un número positivo. El valor del voltaje de salida se puede localizar en la hoja de datos de cada módulo o se puede calcular desde el punto donde la curva I-V se cruza con el eje x.

La corriente más alta que puede producir cuando las dos terminales están conectadas sin carga es la corriente de cortocircuito, o I_{SC} , como se muestra en la Figura 4. La curva I-V, donde la intersección del eje y con la curva representan el valor de I_{SC} , o la hoja de datos de cada módulo solar, se pueden usar para obtener este valor (Abou et al., 2022).

Es importante tener en cuenta que los cables en los terminales del módulo están hechos para soportar valores altos de I_{SC} . Entonces, después de confirmar que el rango del multímetro es igual o mayor que el valor anticipado de la corriente

de cortocircuito, la prueba de cortocircuito se puede realizar separando los módulos solares y evaluándolo como un sistema independiente.

Los ingenieros eléctricos saben que la energía se deriva de las fuentes de energía de corriente continua al multiplicar la corriente por el voltaje. Por lo tanto, cuando el circuito funciona en los estados de cortocircuito o circuito abierto, no se entregará ninguna potencia significativa a la carga porque uno de los factores será igual a cero (Abou et al., 2022).

Mertens (2019), menciona que dependiendo del punto de operación real en el que se opera, la celda solar ofrece una gama de capacidades. El punto de máxima potencia (MPP) es el punto operativo donde se ofrece la mayor potencia. Dado que el área al multiplicar el valor de corriente y voltaje siempre es igual a la potencia de un punto de trabajo, el MPP exige que esta superficie sea máxima. Esta situación se representa en la Figura 4. Los valores de corriente y voltaje correspondientes al punto de máxima potencia se conocen como I_{MPP} y V_{MPP} respectivamente.

La relación entre la potencia MPP y la multiplicación del voltaje en circuito abierto y la corriente de cortocircuito se describe mediante el factor de llenado (FF). Como se muestra, el factor de llenado compara el tamaño de la región bajo el punto de trabajo de MPP con el de la región V_{OC} e I_{SC} . La calidad de una celda está determinada por su valor FF, que para las celdas de silicio normalmente oscila entre 0,75 y 0,85 (Mertens, 2019).

El factor de llenado se evalúa con la siguiente ecuación:

$$FF = \frac{I_{MPP} (V_{MPP})}{I_{SC} (V_{OC})} \quad (1)$$

Dónde:

FF : Factor de llenado (Adimensional)

I_{MPP} : Corriente de máxima potencia (A)

V_{MPP} : Voltaje de máxima potencia (V)

I_{SC} : Corriente de cortocircuito (A)

V_{OC} : Voltaje en circuito abierto (V)

Mertens (2019), menciona que el porcentaje de la potencia incidente sobre la celda solar, la cual depende del área de la celda y de la radiación solar, que se convierte en energía eléctrica o la máxima potencia, se conoce como eficiencia de la célula solar.

La eficiencia de conversión de energía se calcula con la siguiente ecuación:

$$\eta = \frac{I_{MPP} (V_{MPP})}{G (A_{PV})} \quad (2)$$

Dónde:

η : Eficiencia de conversión de energía del panel fotovoltaico

(Adimensional)

I_{MPP} : Corriente de máxima potencia (A)

V_{MPP} : Voltaje de máxima potencia (V)

G : Irradiación incidente en el panel fotovoltaico (W/m^2)

A_{PV} : Área efectiva del panel fotovoltaico (m^2)

Los factores más significativos que reducirán la eficiencia de un panel fotovoltaico son aquellos que están relacionados con las condiciones ambientales o factores externos.

El impacto del sombreado reduce la potencia de salida de los paneles fotovoltaicos. Dado que las celdas a menudo están cableadas y conectadas en serie, las sombras no solo perturban el flujo de corriente en las celdas sombreadas, sino también el flujo de corriente en todo el panel. Los postes, los árboles y los edificios pueden proyectar sombras. Las estructuras de montaje de módulos

encima de otras estructuras también pueden proyectar sombras. Las sombras también pueden ser provocadas por hojas, pájaros y excrementos de pájaros que pueden caer directamente sobre los módulos (Fouad et al., 2017).

Según Viitanen (2015), si se sombrea entre el 5 y el 10 % del panel, la potencia de salida se puede reducir en más del 80 %. Para la misma cantidad de sombreado, se han observado diferentes pérdidas de potencia, simplemente cambiando los parámetros de la celda sombreada. Por lo tanto, el cálculo de las pérdidas causadas por el sombreado depende de la proporción de celdas sombreadas, el tipo de celda y la conexión entre los paneles. Además, las sombras en el panel varían según la proximidad de los árboles vecinos, la altura de las estructuras cercanas y el sombreado cruzado de otros paneles.

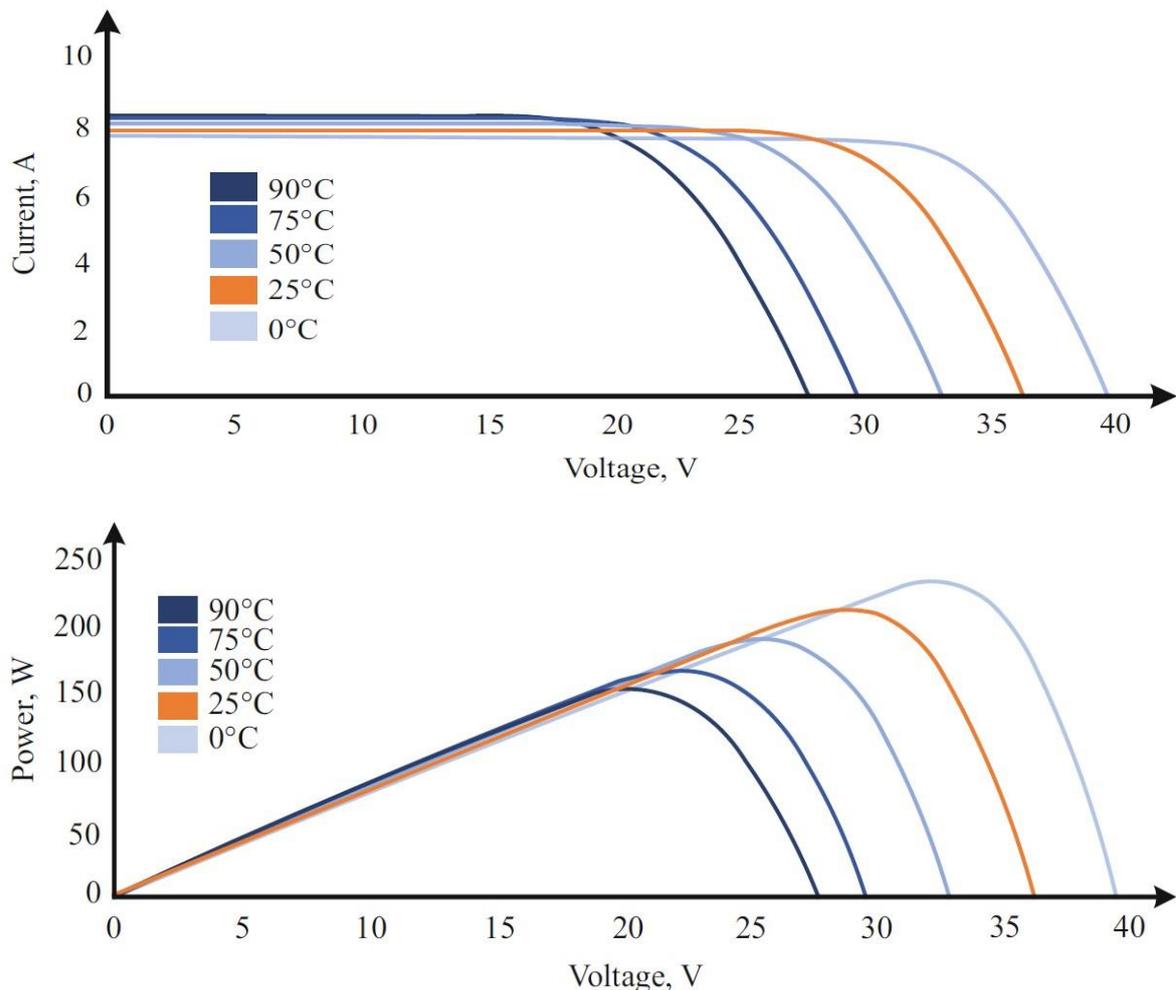


Figura 6. Variación de la corriente, voltaje y potencia debido a la temperatura Tomado de Solar Photovoltaic Systems Fundamentals and Applications (pp. 65-66), por Y. Abou et al., 2022, Springer.

La temperatura del módulo solar es significativamente más alta que la del aire circundante. Como una de las condiciones de prueba estándar (STC), todas las especificaciones y curvas se recopilan a una temperatura de celda de 25 °C. Sin embargo, la realidad demuestra que las circunstancias del módulo solar no siempre se correspondan con el STC, especialmente en términos de temperatura, ya que los módulos pueden instalarse en regiones con climas extremadamente fríos o cálidos. Por lo tanto, debe definirse la relación entre la temperatura y ciertas propiedades del módulo solar, como la corriente, el voltaje y la potencia (Abou et al., 2022).

En la literatura existen algunas propuestas de correlación que expresan la temperatura del módulo en función de elementos como las variables climáticas (depende de la ubicación), especialmente la velocidad del viento, la temperatura ambiente, así como la incidencia solar o de irradiancia sobre el panel fotovoltaico. En la Figura 6, se aprecia como la temperatura del módulo fotovoltaico modifica el comportamiento de las curvas I-V y P-V (Fouad et al., 2017).

Debido al hecho de que la radiación solar se dispersa por toda la superficie del panel solar, Fouad et al. (2017), mencionan que es posible que la presencia de suciedad o polvo impida que parte de la luz solar alcance al módulo fotovoltaico. Si tomamos un módulo de 100 W de potencia como ejemplo, regularmente funcionará con aproximadamente 93 W debido al acopio de suciedad porque el factor de reducción de polvo anual suele ser del 93 %, o 0,93. Se puede inferir que la deposición de polvo es específica del clima del sitio y que su cantidad depende de la ubicación, el tipo de polvo y otras variables.

Es fundamental contar con un mecanismo de limpieza automático para limpiar las partículas de polvo de la superficie del panel, ya que los parámetros eléctricos de los paneles solares son sensibles a la densidad del polvo (Firake et al., 2020).

Los sistemas fotovoltaicos autónomos y conectados a la red son las dos variantes principales. Para poder operar, los sistemas autónomos deben tener algún tipo de almacenamiento (típicamente baterías) ya que no están conectados a la red eléctrica. Los sistemas conectados a la red, por otro lado, solo pueden

operar si están conectados a una red de CA confiable, que luego absorbe la energía generada siempre que la carga local y las circunstancias solares lo permitan. (Kalogirou, 2017).

En un sistema fotovoltaico, el panel fotovoltaico se reconoce como generador eléctrico. El cual se conecta a diversos componentes dependiendo la necesidad y las cargas a conectarse. Entre los principales componentes tenemos, controladores, inversores, baterías y las cargas a alimentar, así como equipos de protección y maniobra. En sistemas fotovoltaicos de conexión a red, se usan medidores bidireccionales para registrar la venta y consumo de energía del sistema.

Un sistema fotovoltaico adecuado para cargas de corriente continua es el sistema fotovoltaico autónomo u off grid, el cual según Abou et al. (2022), presenta una configuración de conexión en donde el panel fotovoltaico se conecta a un controlador o regulador solar, el cual está también conectado a una batería, desde la cual se conecta una carga de corriente continua. En muchas ocasiones se puede agregar dispositivos de protección.

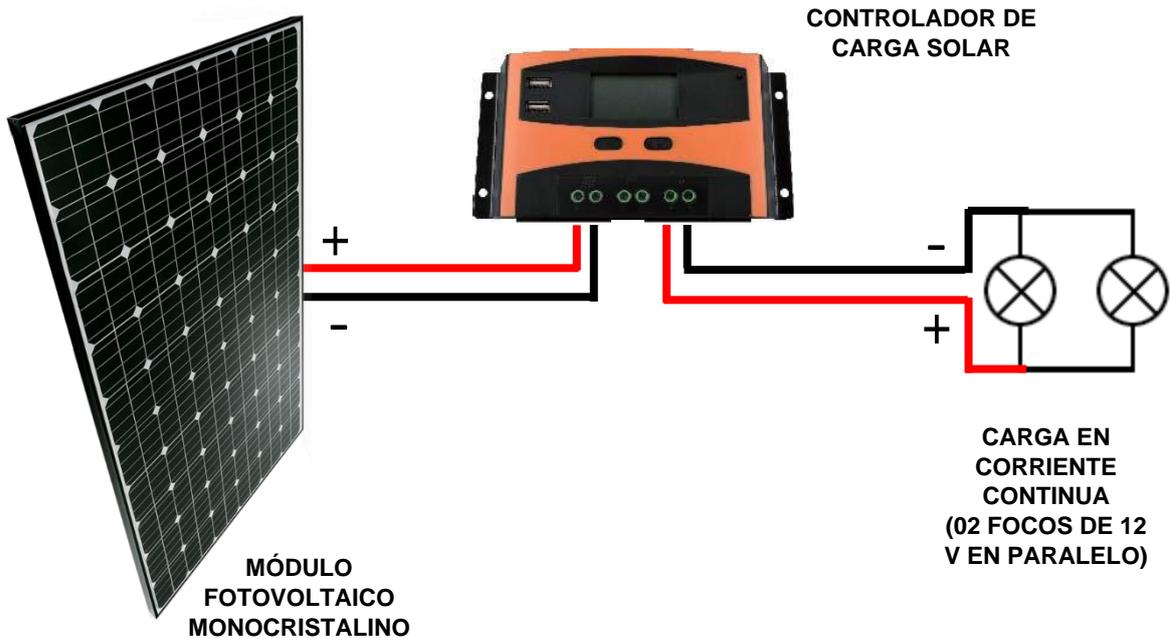
Las baterías son dispositivos delicados de almacenamiento de energía electroquímica que requieren condiciones de operación particulares que son proporcionadas por los fabricantes para funcionar. Los controladores de carga o los reguladores electrónicos son componentes cruciales en todos los sistemas fotovoltaicos basados en baterías debido a las características mencionadas de las baterías. Los controladores de carga, que se instalan entre el módulo fotovoltaico y la carga, evitan que las baterías se sobrecarguen durante el día cuando la demanda es inferior a la cantidad de energía producida. Cuando la demanda de carga es fuerte y atrae una corriente alta durante un período prolongado de tiempo, ayudan a evitar que la batería se descargue por completo. Tanto el proceso de carga como el de drenaje de las baterías, están bajo la dirección del controlador de carga.

Los valores nominales de voltaje y corriente para estos reguladores generalmente se especifican, como 12 V, 24 V o 48 V y 10 A, 20 A, 30 A, 50 A u 80 A. Los controladores de carga son capaces de operar a un voltaje constante, es decir, el voltaje de la batería. En estas situaciones se emplean controladores de modulación de ancho de pulso (PWM). Además, estos controladores pueden

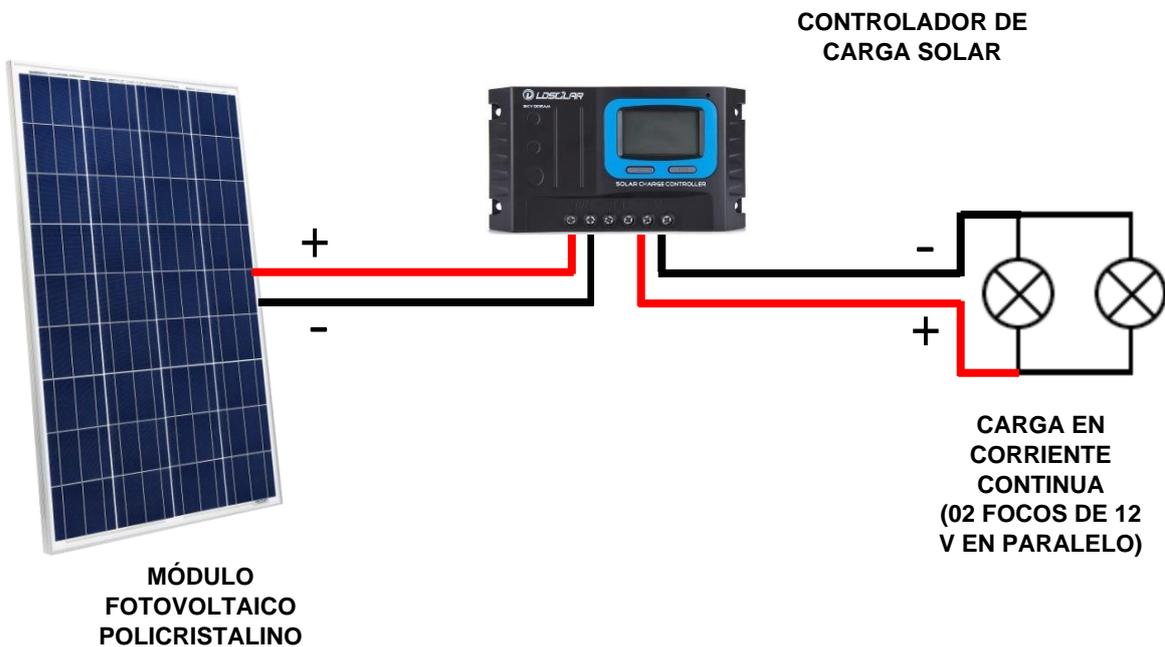
funcionar con voltajes mayores o variados. En estas circunstancias, el circuito controlador del rastreador del punto de máxima potencia (MPPT) está integrado con hardware controlado por algoritmo (Abou et al., 2022).

Los sistemas fotovoltaicos que están desconectados de la red se conocen como sistemas autónomos o fuera de la red. Estas tecnologías almacenan energía mediante baterías. En la Figura 7, se muestra un ejemplo de configuración de un sistema fotovoltaico solar fuera de la red con baterías. El uso de baterías es necesario debido a la naturaleza fluctuante de la energía de los sistemas fotovoltaicos. Durante el día, el sistema fotovoltaico suministra electricidad directamente a la carga mientras almacena el excedente de energía en las baterías para su uso posterior. Por lo tanto, cuando los módulos solares no pueden proporcionar suficiente electricidad, las baterías permiten que las cargas conectadas funcionen (Abou et al., 2022).

Entre los módulos fotovoltaicos solares y las baterías, un controlador o regulador de carga garantiza que la cantidad máxima de electricidad de la matriz solar se dirija hacia la carga de las baterías sin riesgo de daños relacionados con la sobrecarga. También protege contra la descarga excesiva de la batería. El controlador desconecta automáticamente la batería de sus cargas eléctricas cuando la batería tiene poca carga. Los sistemas de corriente continua independientes simples no dependen de un inversor. En la Figura 7, se presentan dos diagramas esquemáticos de conexión de los sistemas fotovoltaicos autónomos con almacenamiento de baterías.



a)



b)

Figura 7. a) Conexión de sistema con un módulo fotovoltaico monocristalino. b) Conexión de sistema con un módulo fotovoltaico policristalino.

Fuente: Elaboración propia

III. METODOLOGÍA

3.1. Tipo y diseño de investigación

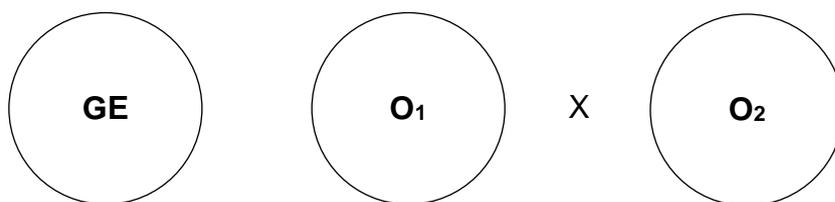
Tipo de investigación: Según su finalidad, el tipo de investigación es aplicada, porque se centra en apoyar la resolución de problemas prácticos o de acción aportando información obtenida de manera sistemática y metódica (Knake-Langhorst, 2016). Por lo tanto, este estudio tiene como objetivo comparar el uso de los módulos solares en condiciones climáticas específicas de la ciudad de Chimbote, mediante el uso de los conocimientos adquiridos sobre la energía solar, para a partir de ello, realizar el análisis de los cambios en la eficiencia energética de dos módulos solares con respecto a diferentes niveles de radiación.

El estudio presentó un enfoque cuantitativo porque se basa en el positivismo lógico, que trata de encontrar leyes que expliquen el entorno mediante la recopilación de datos medibles y cuantificables para el análisis estadístico (Cárdenas, 2018, p. 3). En otras palabras, esta investigación es de enfoque cuantitativo, porque pretende determinar en qué medida varía la eficiencia energética de un módulo fotovoltaico monocristalino y uno policristalino para diferentes niveles de radiación.

Diseño de investigación: El diseño de investigación es experimental porque somete un objeto a determinadas condiciones y observa los efectos que se producen para medir las variaciones (Guevara et al., 2020, p. 4). Dentro del diseño experimental se identifica en proceso donde un solo grupo de estudio es sometido a una pre-prueba y post-prueba (Cárdenas, 2018, p. 6).

Por su alcance es de nivel explicativo ya que pretende evaluar el efecto de la radiación solar sobre la variación de la eficiencia energética de los módulos fotovoltaicos para la producción de energía eléctrica.

La simbología del diseño de la presente investigación es la siguiente:



Dónde:

GE: Grupo experimental

O₁: Eficiencia energética del módulo (pre-prueba)

X: Diferentes niveles de radiación solar

O₂: Eficiencia energética del módulo (post-prueba)

3.2. Variables y operacionalización

Variable 1: Eficiencia del módulo fotovoltaico

Es la variable dependiente en la investigación, definida como la relación entre la potencia eléctrica de salida en los terminales y la potencia de la radiación solar que incide. (Soler-Castillo et al., 2021).

Variable 2: Nivel de radiación solar

Es la variable independiente en la investigación, definida como la irradiancia de referencia que incide en el plano durante un periodo de tiempo y se mide en kW/m^2 (Mulcué-Nieto, et al., 2020).

3.3. Población, muestra, muestreo y unidad de análisis

Población: La población estuvo conformada por módulos fotovoltaicos empleados en la generación de energía eléctrica.

- **Criterio de inclusión:** Módulos fotovoltaicos con tecnología de silicio (primera generación de módulos fotovoltaicos).
- **Criterio de exclusión:** Módulos fotovoltaicos con tecnología de materiales amorfos o de capa fina.

Muestra: La muestra estuvo conformada por 2 módulos fotovoltaicos empleados para la generación de energía eléctrica. Uno del tipo monocristalino y otro del tipo policristalino.

Muestreo: No probabilístico por conveniencia.

Unidad de análisis: Un módulo fotovoltaico empleado para la generación de energía eléctrica.

3.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

Técnica de recolección de datos

La presente investigación utilizó la técnica de la observación para recolectar los datos de campo de la información referida a las mediciones de los indicadores que fueron empleados para determinar la eficiencia de los módulos fotovoltaicos y la técnica de análisis documental para la recolección de la información.

Instrumento de recolección de datos

Para la recolección de los datos se utilizó como instrumento la ficha de registro, en el cual se registraron los datos de campo, las características de los módulos fotovoltaicos, las medidas de los indicadores y la información de fuentes confiables.

3.5. Procedimiento

La primera etapa del estudio se inició solicitando el permiso correspondiente a la Universidad Nacional del Santa para la instalación de los módulos fotovoltaicos en el campo de investigación del área de energía solar perteneciente a la Escuela profesional de Ingeniería en Energía.

Luego de la aprobación de la instalación, se llevó a cabo la recolección de datos de campo a partir de la técnica de la observación donde se obtuvieron los datos referidos a: la radiación solar, la temperatura ambiente, el voltaje de entrada y salida; y la corriente y potencia de los controladores de carga que fueron anotados en una ficha de registro.

En la segunda etapa de la investigación se procedió a realizar el análisis de los datos obtenidos mediante fórmulas matemáticas, lo que permitió determinar ciertos parámetros que impactan en la eficiencia energética de un módulo fotovoltaico como: la eficiencia de referencia, la energía generada como corriente continua, la eficiencia del generador fotovoltaico, la salida de energía neta de todo el módulo fotovoltaico, la eficiencia de conversión y la eficiencia final de los módulos. Posteriormente se efectuó un análisis comparativo de la variación la eficiencia energética de los módulos fotovoltaicos, considerando diferentes niveles de radiación solar.

En la parte final de la investigación se realizó el análisis de la información lograda durante el desarrollo de la misma y la contrastación de los resultados con los antecedentes para finalmente establecer las conclusiones que demuestren el cumplimiento de todos los objetivos específicos. El procedimiento detallado líneas arriba se puede observar en la Figura 8.

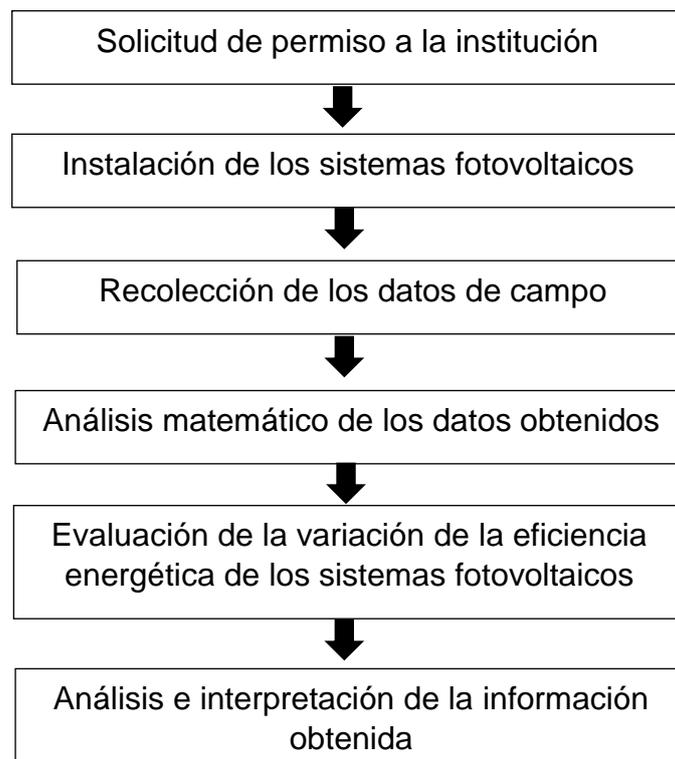


Figura 8. Procedimiento para el desarrollo de la investigación

3.6. Método de análisis de datos

En la presente investigación se realizó el análisis de la información obtenida mediante la ayuda de hojas de cálculo de Microsoft Excel que permitieron organizar y presentar los datos y la información, los cuales fueron analizados matemáticamente según el estándar establecido por la Agencia Internacional de Energía (AIE).

La estadística descriptiva fue utilizada para establecer los valores promedios de los parámetros obtenidos, recopilados y medidos en campo con el fin de establecer si hay una tendencia con estos valores. Por tanto, la estadística descriptiva estuvo relacionada con la evolución de los indicadores de las dimensiones y variables.

El análisis inferencial fue aplicado para procesar los datos obtenidos de las variables e indicadores que permitieron comparar los datos de la variable dependiente en los diferentes niveles de la variable independiente.

3.7. Aspectos éticos

El presente proyecto de investigación contempló principios éticos como la autonomía, teniendo en cuenta las autorías, respetando los derechos de autor de las fuentes de información que son de aporte para el desarrollo del marco teórico y proceso metodológico del presente estudio. Comprometiéndose en elaborar las referencias bibliográficas respectivas a cada autor según la norma APA.

Asimismo, se respetó la libertad de las personas para su participación o no en el desarrollo de esta investigación. Garantizándoles que el presente proyecto no tiene intenciones de causar daños morales a las personas e instituciones participantes.

Finalmente, la investigación presentada consideró el principio de la justicia, siendo inclusivos y rechazando cualquier tipo de discriminación además de comprometerse en demostrar la veracidad de los resultados y la información de la investigación mediante la evaluación y análisis del informe final a través del programa de anti plagio Turnitin.

IV. RESULTADOS

Instalación del sistema

La instalación de los módulos fotovoltaicos en estudio, se realizó en el área de energía solar perteneciente a la Escuela profesional de Ingeniería en Energía, de la Universidad Nacional del Santa. La universidad se encuentra ubicada en el distrito de Nuevo Chimbote, provincia Santa, departamento Ancash. Las coordenadas geográficas correspondientes al lugar de instalación son:

- Latitud: -9.123°
- Longitud: -78.512°

En la Figura 9, podemos apreciar una imagen satelital del lugar donde se instalaron los paneles para su evaluación.



Figura 9. Mapa satelital del lugar de instalación de los módulos fotovoltaicos
Tomado de <https://www.google.com/maps>

Se tomo en consideración, que la ubicación se encuentra en el hemisferio sur del planeta tierra. Es por ello que, en virtud de obtener el máximo aprovechamiento de

la radiación solar incidente, los módulos solares fueron ubicados con una orientación hacia el norte. El ángulo de inclinación se consideró igual a 15°, para aprovechar de una manera adecuada la energía. Es importante mencionar que, la radiación solar no es constante a lo largo del día y varía en función de las condiciones climáticas del lugar en cuestión.

Minutos antes de comenzar con la recolección de datos, se instaló la estructura metálica que soporta el peso de los módulos fotovoltaicos, considerando la inclinación mencionada. Para colocar correctamente los paneles, se empleó una aplicación móvil que permite el uso de una brújula y medidor del ángulo de inclinación.

El horario efectivo para la recolección de datos se consideró entre las 8 am hasta las 2 pm. La toma de datos se efectuó durante dos semanas, en los meses de mayo y junio del 2023, como se muestra en la siguiente tabla.

Tabla 1

Fechas de medición

MEDICIÓN	FECHAS	HORARIO
Medición 1	29/05/23	Lunes desde las 8 am hasta las 2 pm
Medición 2	30/05/23	Martes desde las 8 am hasta las 2 pm
Medición 3	31/05/23	Miércoles desde las 8 am hasta las 2 pm
Medición 4	01/06/23	Jueves desde las 8 am hasta las 2 pm
Medición 5	02/06/23	Viernes desde las 8 am hasta las 2 pm
Medición 6	05/06/23	Lunes desde las 8 am hasta las 2 pm
Medición 7	06/06/23	Martes desde las 8 am hasta las 2 pm
Medición 8	07/06/23	Miércoles desde las 8 am hasta las 2 pm
Medición 9	08/06/23	Jueves desde las 8 am hasta las 2 pm
Medición 10	09/06/23	Viernes desde las 8 am hasta las 2 pm

Se midió, recopiló y procesó los datos de corriente, voltaje, potencia de salida, así como eficiencia de cada panel. También se tomó en cuenta la temperatura ambiente. La medición de los parámetros eléctricos se efectuó tomando y registrando datos cada 10 minutos. La información se recopiló mediante los siguientes equipos y dispositivos, que se describen en la Tabla 2.

Tabla 2*Equipos y dispositivos para la medición*

Parámetro a medir	Unidad	Equipo de medición correspondiente
Voltaje	V	Multímetro, pinza amperimétrica
Corriente	A	Multímetro, pinza amperimétrica
Temperatura ambiente	°C	El controlador de carga posee un sensor de temperatura. Sensores ubicados en el Energy Cube del
Radiación solar	W/m ²	Área de energía solar perteneciente a la Escuela profesional de Ingeniería en Energía

Objetivo específico 1: Evaluar las características técnicas de ambos tipos de módulos fotovoltaicos para que sean sustentable un estudio de comparación.

Tabla 3*Especificaciones técnicas de los paneles fotovoltaicos*

Especificaciones	Panel	Panel
	monocristalino	Policristalino
Marca	SUNLAKE SOLAR	ERA SOLAR
Potencia pico del panel (W)	150	150
Tolerancia de la potencia pico	+/- 3 %	+/- 3 %
Eficiencia del módulo (%)	21.30	15.00
Voltaje de máxima potencia STC V_{MPP} (V)	17.80	17.50
Corriente de máxima potencia STC I_{MPP} (A)	8.42	8.57
Voltaje en circuito abierto STC I_{SC} (V)	21.60	21.60
Corriente de cortocircuito STC I_{SC} (A)	9.25	9.26
Peso (kg)	9.50	11.00
Dimensiones (mm)	1480x680x35	1482x674x35

De igual forma se presentan las especificaciones técnicas de los controladores de carga solares usados y de las baterías usadas.

Tabla 4*Especificaciones técnicas de los controladores de carga*

Especificaciones	Controlador de carga 10 A	Controlador de carga 20 A
Marca	MUST SOLAR	LDSOLAR
Voltaje de entrada FV (V)	≤ 50	≤ 55
Corriente nominal (A)	10	20
Voltaje del sistema (V)	12/24	12/24
Corriente de descarga (A)	10	20
Modo de carga	PWM	PWM
Peso (g)	355	320

En los Anexos, se presentan las fichas técnicas con más características detalladas para los equipos usados en la investigación.

Los parámetros de estudio de los paneles fotovoltaicos fueron determinados, teniendo en cuenta las características de los mismos. La recolección de la información hizo hincapié en la corriente y voltaje que proveyeron los paneles fotovoltaicos.

Las placas de características de los paneles fotovoltaicos, indican sus valores para condiciones STC, como se aprecia en la Figura 10. Sin embargo, como se observa más adelante, los valores medidos en la investigación difieren en sobremedida con los valores estipulados.



Figura 10. Placa de características para los paneles fotovoltaicos en estudio

Es importante tener en cuenta que, el controlador de carga, es el dispositivo que modifica el comportamiento de los paneles fotovoltaicos, para suministrar la energía necesaria para la batería y para la carga conectada a cada controlador. Del controlador se obtuvieron valores de voltaje y corriente de igual forma.

En lo que respecta a las baterías que se emplearon, fueron del tipo AGM, de la marca RITAR, con las especificaciones mostradas en la Tabla 5. Las baterías se cargaron y descargaron en cada medición para reconocer el tiempo de carga de una manera correcta. Mas adelante en su respectivo acápite, se habla del tiempo de carga de las mismas.

Objetivo específico 2: Determinar la potencia generada por cada módulo fotovoltaico para diferentes niveles de radiación.

La irradiancia para cada día de medición, se puede observar en la Figura 11. Se resaltan los días 02,06 y 08 de junio, donde la irradiancia tomó sus mínimos valores debido a que fueron días nublados.

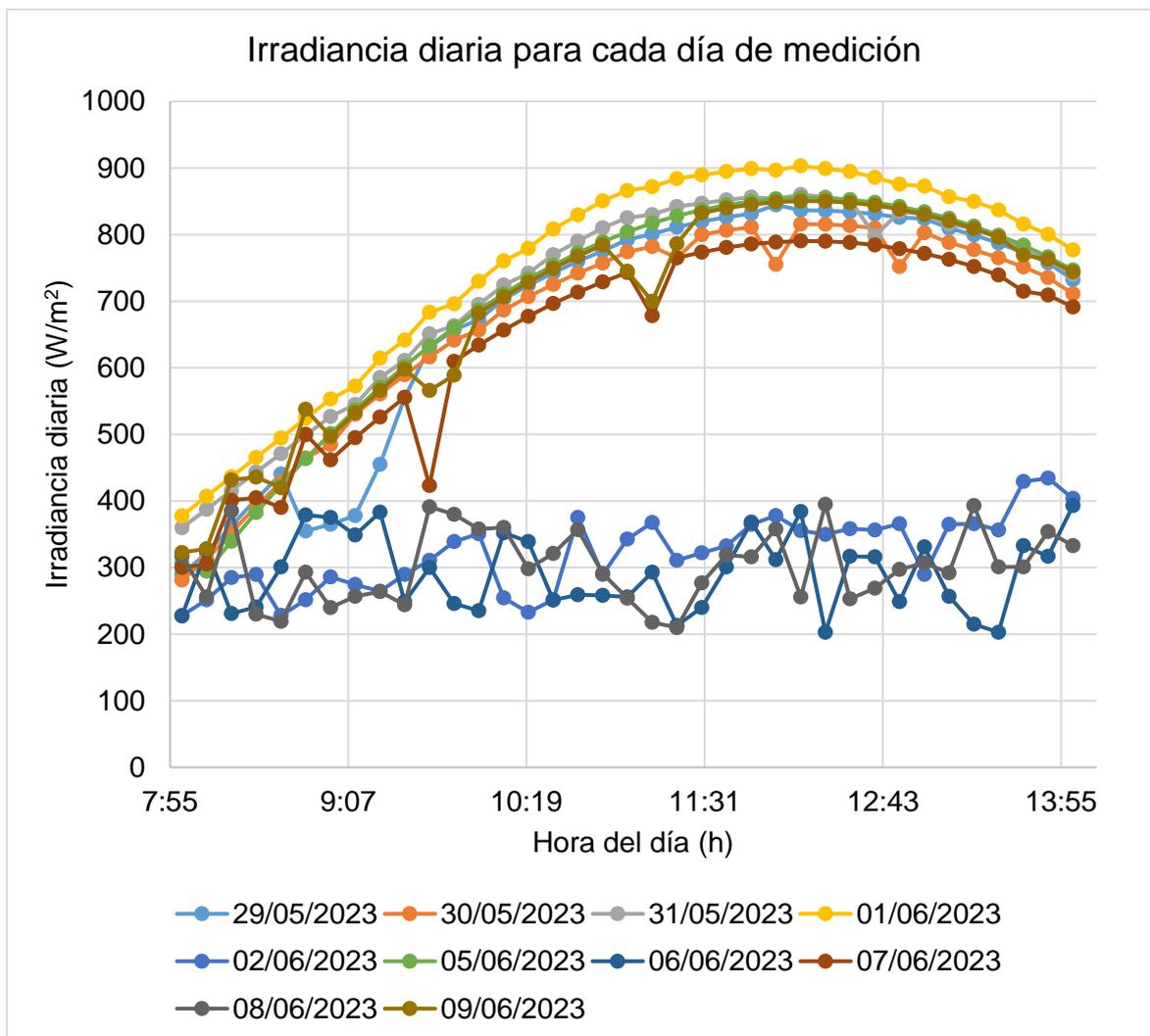


Figura 11. Irradiancia diaria para cada día de medición

La irradiancia como era de esperarse, aumenta paulatinamente hasta llegar a sus valores máximos alrededor del mediodía, luego de ello se va reduciendo su valor. El comportamiento descrito para los días nublados es errático, no sigue un patrón sencillo, esto se relaciona con las condiciones climáticas propias de los días de medición. En la Figura 11, se aprecia puntos donde la irradiancia cae, para los días que recibe mucha luz del sol, los cuales representan nubosidades que pasan por el

cielo justo en el momento de la medición. Esto hace parte de la aleatoriedad del clima.

En virtud de evaluar comparativamente la potencia de salida de ambos paneles fotovoltaicos, además de calcular la energía generada por los paneles en estudio, se presenta a continuación el proceso usado en la investigación.

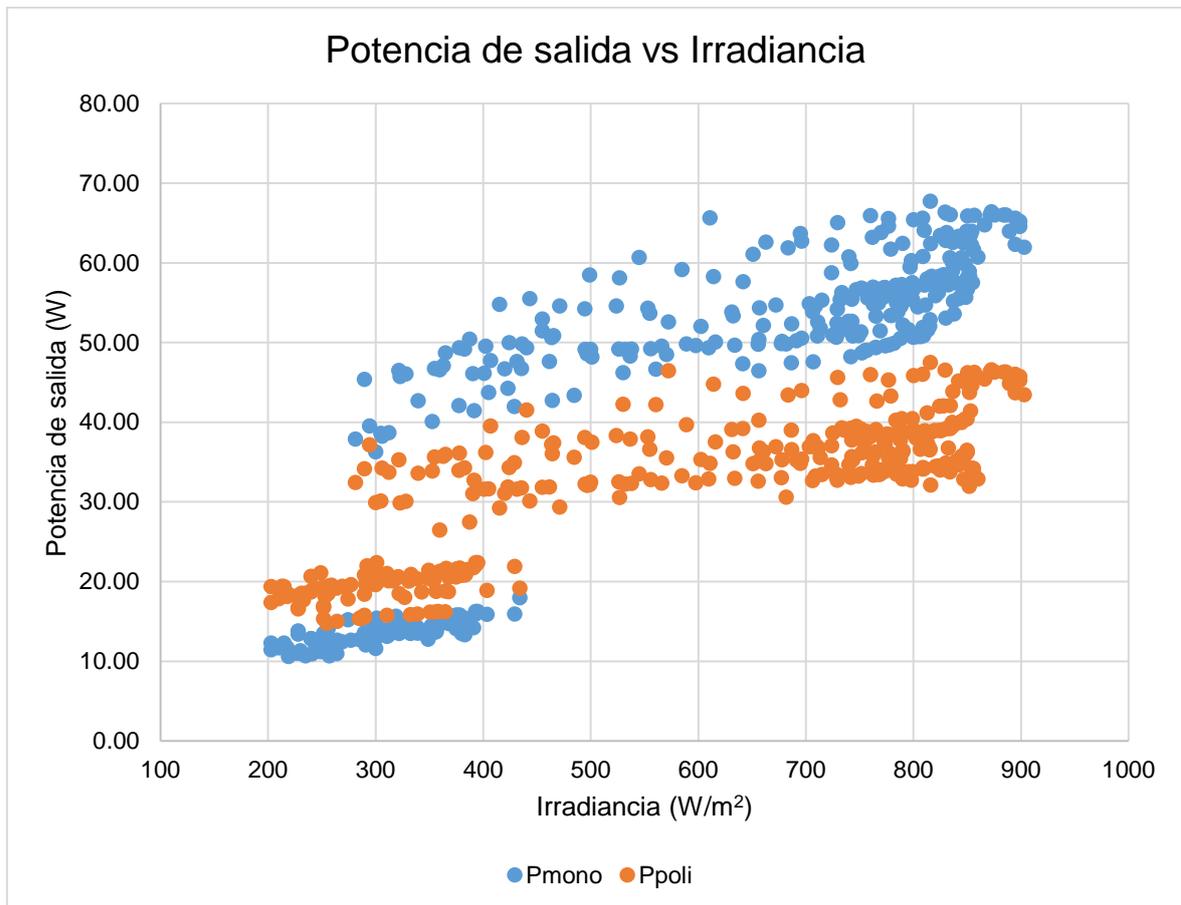


Figura 12. Potencia de salida vs Irradiancia

La Figura 12, referencia la relación que existe en la irradiancia incidente en los paneles con respecto a la potencia de salida que proveen los mismos. La influencia de la irradiancia se observa proporcional y directa con respecto a la potencia. Además, los valores de la potencia del panel monocristalino son superiores al compararlo al panel policristalino. En la Figura 12, sin embargo, se observa un aumento de la potencia de salida con respecto a la irradiancia muy leve. Es importante tener en cuenta que las mediciones arrojaron valores dentro del rango de 30 a 70 W para el panel monocristalino y de 20 a 50 W para el panel policristalino.

Tabla 5

Tabla de frecuencias de potencia para panel monocristalino

Límite inferior (W)	Límite superior (W)	Marca de clase (W)	Frecuencia absoluta	Frecuencia acumulada	Frecuencia relativa	Frecuencia relativa acumulada
0	7	3,50	0	0	0,00 %	0,00 %
8	15	11,50	89	89	24,05 %	24,05 %
16	23	19,50	22	111	5,95 %	30,00 %
24	31	27,50	0	111	0,00 %	30,00 %
32	39	35,50	5	116	1,35 %	31,35 %
40	47	43,50	23	139	6,22 %	37,57 %
48	55	51,50	107	246	28,92 %	66,49 %
56	63	59,50	90	336	24,32 %	90,81 %
64	71	67,50	34	370	9,19 %	100,00 %
TOTAL			370		100,00 %	

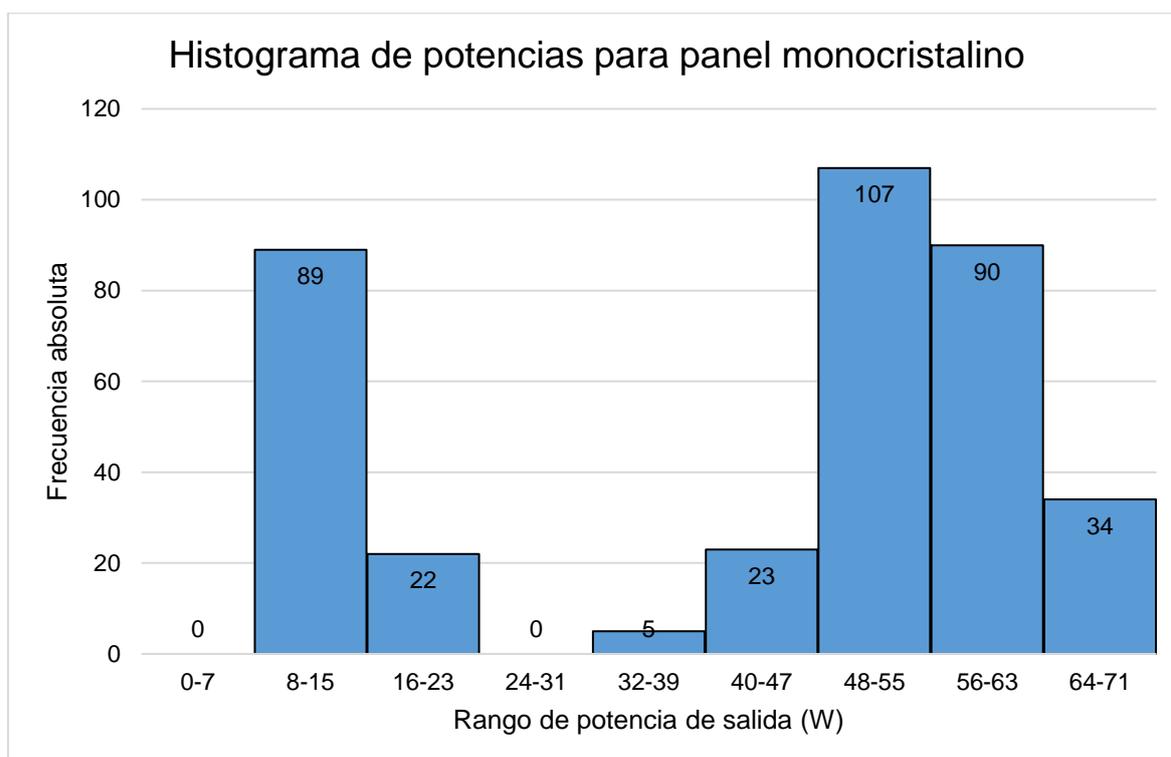


Figura 13. Histograma de potencias para panel monocristalino

En la Figura 12, también podemos observar que los datos recopilados para los días nublados de medición, (encerrados en un cuadro de color rojo), indican una mejor performance para los paneles policristalinos. Para los días nublados las potencias obtenidas del panel monocristalino se encontraron entre 10 a 20 W, en cambio para

el panel policristalino se encontró entre 15 a 25 W. La frecuencia de las potencias para cada panel las podemos observar en la Tabla 5 y 6 respectivamente.

Tabla 6

Tabla de frecuencias de potencia para panel policristalino

Límite inferior (W)	Límite superior (W)	Marca de clase (W)	Frecuencia absoluta	Frecuencia acumulada	Frecuencia relativa	Frecuencia relativa acumulada
0	4	2,00	0	0	0,00 %	0,00 %
5	12	8,50	0	0	0,00 %	0,00 %
13	20	16,50	67	67	18,11 %	18,11 %
21	28	24,50	46	113	12,43 %	30,54 %
29	36	32,50	120	233	32,43 %	62,97 %
37	44	40,50	111	344	30,00 %	92,97 %
45	52	48,50	26	370	7,03 %	100,00 %
53	60	56,50	0	370	0,00 %	100,00 %
61	68	64,50	0	370	0,00 %	100,00 %
TOTAL			370		100,00 %	

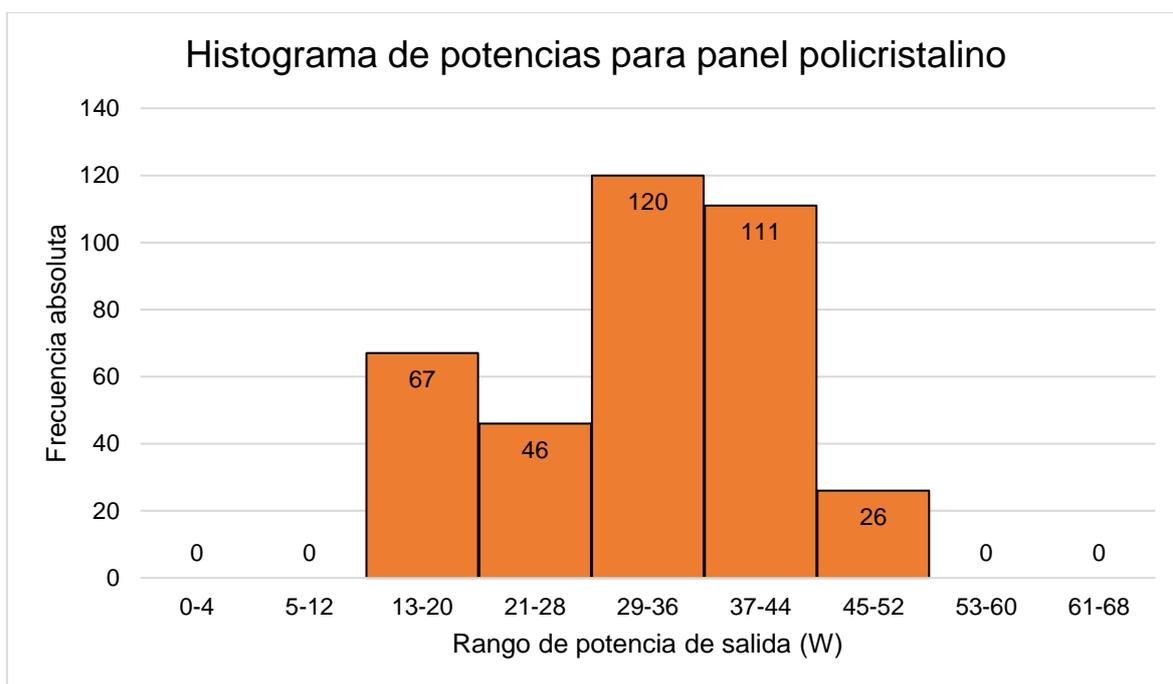


Figura 14. Histograma de potencias para panel policristalino

En la Figura 13 podemos apreciar la frecuencia de potencia de salida para el panel monocristalino, como se observa, la potencia en la mayoría de casos se encontró dentro del rango de 48 a 55 W, para el panel monocristalino. Estos valores se dieron para los días que recibe mucha luz del sol. Mientras que, para los días nublados,

los valores que se midieron en mayor medida se encontraron dentro del rango de 8 a 15 W. El histograma de frecuencias nos da un panorama más preciso de lo que sucedió en las mediciones realizadas.

En la Figura 14 podemos apreciar la frecuencia de potencia de salida para el panel policristalino, como se observa, la potencia en la mayoría de casos se encontró dentro del rango de 29 a 36 W, para el panel policristalino. Estos valores se dieron para los días que recibe mucha luz del sol. Mientras que, para los días nublados, los valores que se midieron en mayor medida se encontraron dentro del rango de 13 a 20 W. El histograma de frecuencias nos da un panorama más preciso de lo que sucedió en las mediciones realizadas.

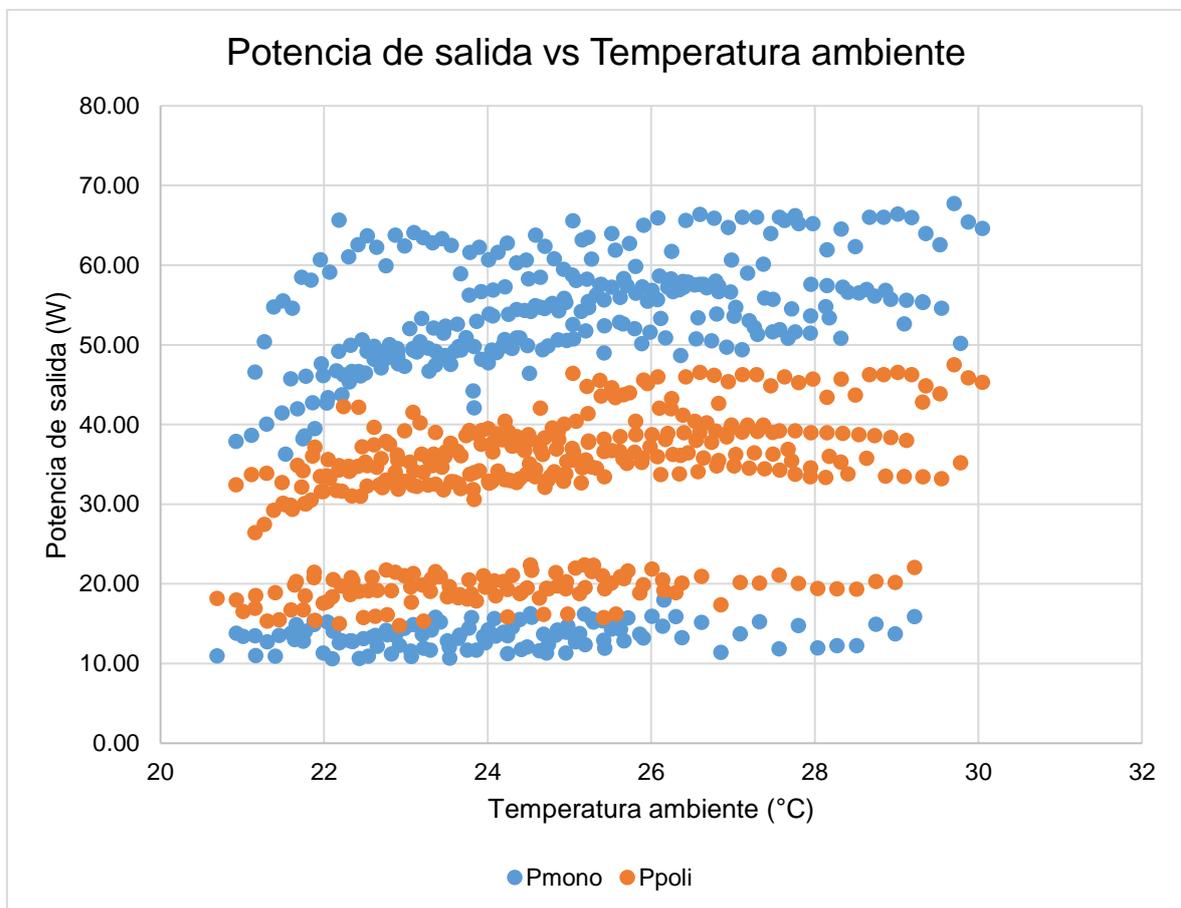


Figura 15. Potencia de salida vs Temperatura ambiente

De igual manera, se analizó el comportamiento de la potencia de salida, con respecto a la temperatura ambiente de la instalación. La temperatura ambiente crece junto con la radiación solar a lo largo del día, pues son los mismos rayos solares los que calientan el aire circundante. En la Figura 15, se aprecia que el

comportamiento de la potencia de salida con respecto a la temperatura ambiente es muy similar a lo observado en la Figura 12.

La tendencia es clara, en la Figura 15, en los días que recibe mucha luz de sol de medición, la potencia de salida aumenta con respecto a la temperatura ambiente, aunque la proporción de aumento es realmente ligera. Por el contrario, como se aprecia en la Figura 12, se observa una tendencia constante de la potencia de salida con respecto a la temperatura ambiente para los datos obtenidos de los días nublados. Esto está emparentado a la errática y menor irradiancia en comparación a la que ocurre en los días que recibe mucha luz del sol.

La energía generada por los paneles fotovoltaicos, se calculó a partir las potencias instantáneas para cada 10 minutos de medición, que describen el comportamiento de los paneles fotovoltaicos. La energía generada es el área bajo la curva que describe la potencia de los paneles fotovoltaicos. En la Tabla 8 se puede observar la energía generada para cada día de medición y su relación con la energía por metro cuadrado disponible.

Tabla 7

Energía generada por tipo de panel

Fechas	Energía diaria (Wh/m ²)	Energía generada (Wh)		Diferencia porcentual
		Panel monocristalino	Panel policristalino	
29/05/2023	4075,19	331,54	228,92	30,95 %
30/05/2023	4043,59	289,88	225,68	22,15 %
31/05/2023	4296,15	364,44	198,40	45,56 %
01/06/2023	4518,97	369,64	264,14	28,54 %
02/06/2023	1930,80	84,12	107,40	-27,68 %
05/06/2023	4214,68	326,50	234,80	28,08 %
06/06/2023	1748,83	77,11	118,52	-53,71 %
07/06/2023	3895,13	305,58	202,39	33,77 %
08/06/2023	1806,50	80,81	120,19	-48,73 %
09/06/2023	4190,38	315,48	201,06	36,27 %
	TOTAL	2545,09	1901,50	25,29 %

En los días nublados, la cantidad de radiación solar que llega a la superficie terrestre se ve considerablemente reducida en comparación con los días despejados. Esto se debe a que las nubes actúan como un obstáculo para los rayos solares.

La potencia de salida de un panel fotovoltaico se define como la cantidad de energía eléctrica que el panel puede generar en condiciones específicas de funcionamiento. Se mide en vatios (W). La cantidad de radiación solar incidente sobre el panel es un factor clave en la potencia de salida. A mayor radiación solar, mayor será la producción de energía eléctrica. La ubicación geográfica y las condiciones climáticas influyen en la cantidad de radiación solar disponible. En la Figura 19 se aprecia la relación entre la energía diaria disponible y la energía generada por tipo de panel en la investigación.

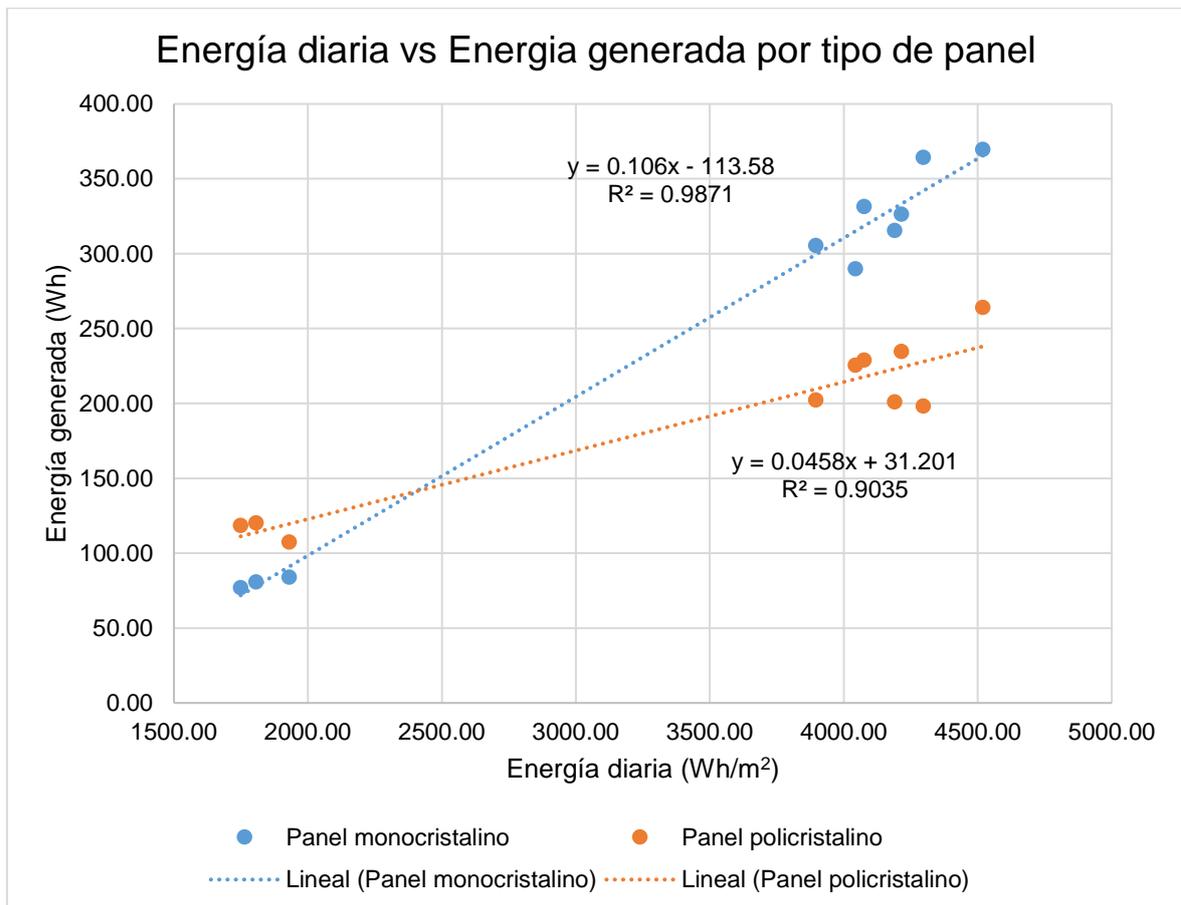


Figura 16. Energía diaria vs Energía generada por tipo de panel

En la Figura 16, se aprecia de forma gráfica que el panel fotovoltaico del tipo monocristalino genera más energía para condiciones de alta radiación, en

comparación con el panel fotovoltaico policristalino. Sin embargo, para radiaciones menores, se invierten los papeles, y el panel policristalino genera más energía.

La diferencia máxima entre la energía generada por los dos tipos de paneles, se obtuvo para el día 06 de junio, donde el valor referido fue de 53,71 %. Por el contrario, la diferencia más pequeña, ocurrió el día 30 de mayo, donde la energía generada se diferenció en un 22,15 %.

El panel monocristalino generó para un día de medición una cantidad máxima de 369.64 Wh, valor que corresponde a la medición realizada el día 01 de junio. Mientras que el día donde generó la menor energía, fue el 06 de junio, siendo su valor de 77,11 Wh.

El panel policristalino generó para un día de medición una cantidad máxima de 264,14 Wh, valor que corresponde a la medición realizada el día 01 de junio. Mientras que el día donde generó la menor energía, fue el 02 de junio, siendo su valor de 107,40 Wh.

En total, el panel monocristalino generó una cantidad de energía igual a 2545,09 Wh, mientras que el panel policristalino generó una cantidad de energía equivalente a 1901,50 Wh. La diferencia porcentual con respecto a los valores mencionados fue de 25,29 %.

En la generación de energía, es importante mencionar que el controlador de carga conectado, a cada panel fotovoltaico se encarga de regular la energía que se va distribuir a las baterías y a la carga conectada. La carga conectada para cada caso fueron dos focos conectados en paralelo, que se consideran resistencias eléctricas. Es por ello que requieren una corriente y voltajes constantes, configurándose como una carga constante, lo que obliga al controlador a configurar el punto de funcionamiento de los paneles de acuerdo a la carga conectada y a la batería.

Objetivo específico 3: Evaluar el efecto de la temperatura en la eficiencia energética de cada módulo fotovoltaico.

La temperatura ambiente en las mediciones tuvo una injerencia significativa. En la Figura 17 se aprecia el comportamiento de la eficiencia con respecto a la temperatura. En la figura aludida, se observa una relación inversamente

proporcional entre la eficiencia que se obtiene del panel fotovoltaico con respecto a la temperatura ambiente. Esto nos indica que la temperatura tiene un efecto negativo con respecto a las capacidades del panel monocristalino y policristalino.

Sin embargo, podemos apreciar que, en los paneles para un día nublado, su eficiencia no tiene una relación directa fuerte con respecto a la temperatura, debido a que la misma al variar y a las nubosidades climáticas, las eficiencias de los paneles son más erráticas y la producción no es constante.

En resumen, las altas temperaturas ambiente pueden disminuir la eficiencia de los paneles fotovoltaicos debido a la conductividad eléctrica aumentada de los materiales semiconductores y a las tensiones mecánicas causadas por la expansión térmica.

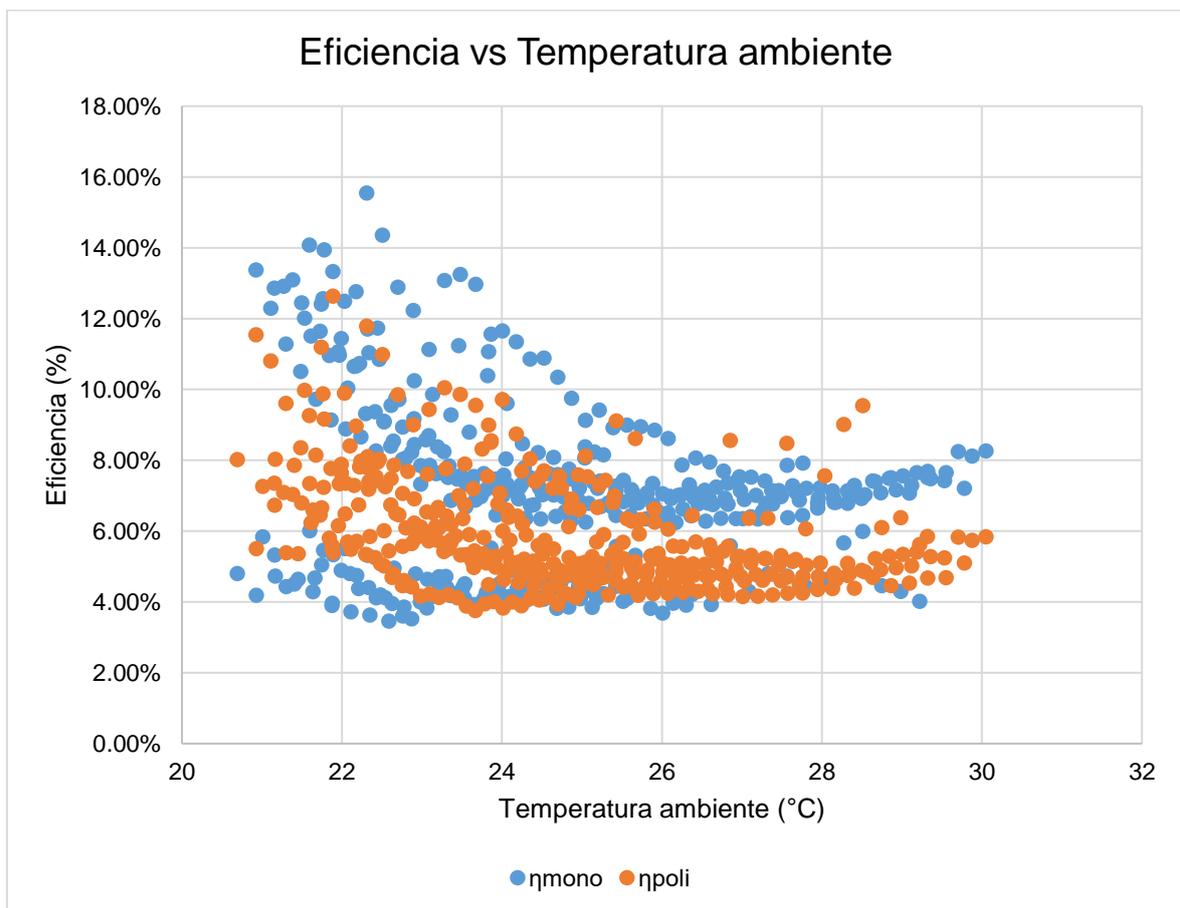


Figura 17. Eficiencia vs Temperatura ambiente

La temperatura puede aumentar la resistencia eléctrica de los materiales utilizados en los paneles fotovoltaicos. Esto provoca una pérdida adicional de energía porque

otra parte de la corriente generada por las celdas solares se disipa en forma de calor en lugar de ser utilizada como electricidad.

Esto lo podemos apreciar en la Figura 17, donde la eficiencia se ve mermada debido al aumento de la temperatura para ambos paneles, teniendo en cuenta que en la primera parte de la gráfica hace referencia a un día que recibe mucha luz del sol. De igual forma, se puede observar en la parte encerrada en el cuadrado rojo, que el valor de la eficiencia no se ve tan perjudicado al relacionarlo con la temperatura ambiente, pues a pesar que la temperatura aumenta, al ser un día nublado, la producción de energía de los paneles se mantiene relativamente constante con el pasar del tiempo y al aumentar la temperatura ambiente.

Objetivo específico 4: Determinar la eficiencia final de los módulos fotovoltaicos en estudio.

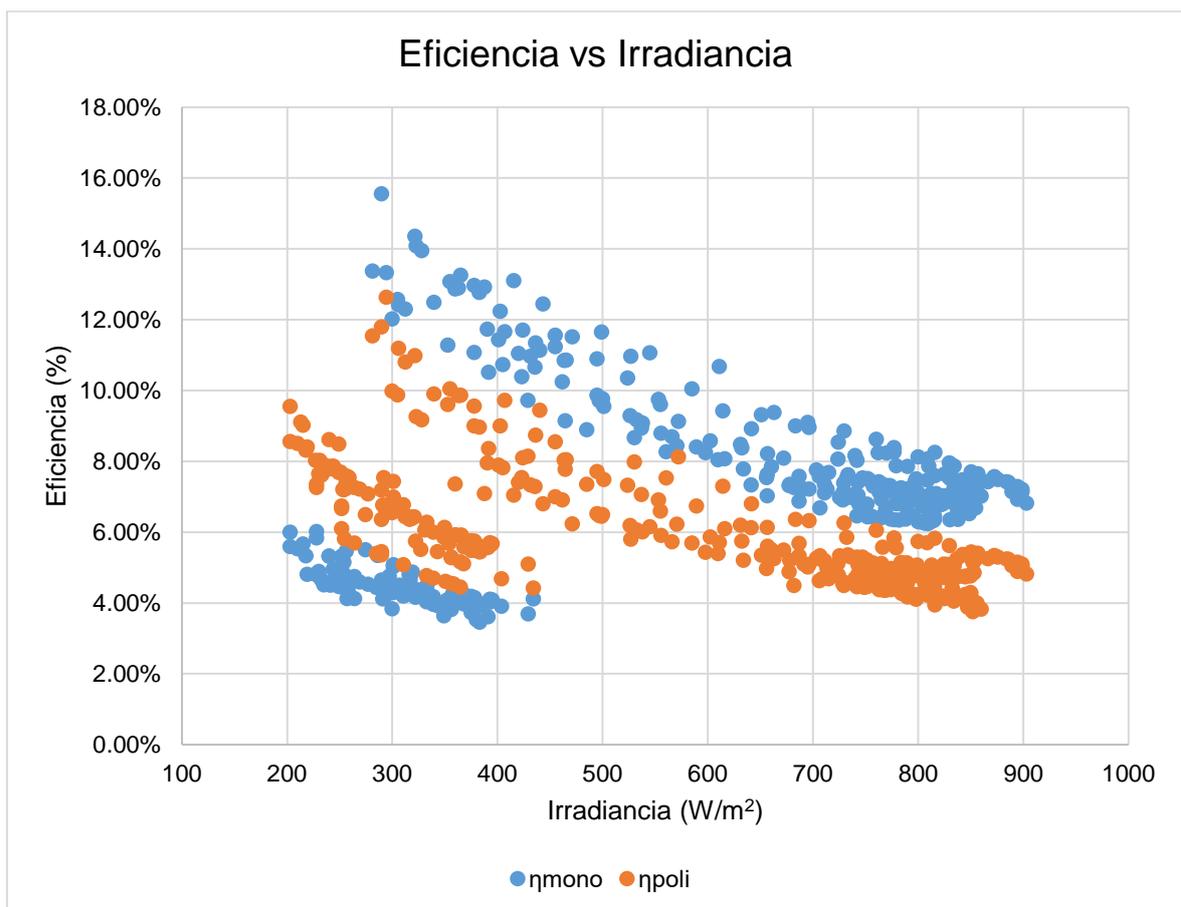


Figura 18. Eficiencia vs Irradiancia

La eficiencia de un panel fotovoltaico se define como la capacidad del panel para convertir la radiación solar incidente en electricidad utilizable. Se expresa como un porcentaje y es una medida de la relación entre la potencia eléctrica de salida del panel y la potencia de entrada de la radiación solar. Los paneles fotovoltaicos empleados en la investigación, presentaron los siguientes valores de eficiencia, los cuales aparecen en la Figura 18.

La eficiencia presentó una relación inversa a la irradiancia en la Figura 18, esto se explica en que las cargas conectadas fueron constantes y a lo largo de la medición, la potencia de salida se mantenía constante, lo que al compararlo con la radiación solar incidente que va en aumento, hace disminuir la eficiencia energética. Es necesario mencionar que, en los días que recibe mucha luz del sol, la eficiencia energética es superior en el panel monocristalino, mientras que para los días nublados el panel policristalino se posiciona como el que presenta una mejor eficiencia.

Se presenta a continuación, la Tabla 8 y 9, donde se observa la distribución de eficiencias en las mediciones para el panel monocristalino y policristalino, respectivamente. Por otro lado, en la Figura 19 y 20 se presenta los histogramas respectivos.

Tabla 8

Tabla de frecuencias de eficiencia para panel monocristalino

Límite inferior (W)	Límite superior (W)	Marca de clase (W)	Frecuencia absoluta	Frecuencia acumulada	Frecuencia relativa	Frecuencia relativa acumulada
0,00 %	2,00 %	1,00 %	0	0	0,00 %	0,00 %
2,01 %	4,01 %	3,01 %	20	20	5,41 %	5,41 %
4,02 %	6,02 %	5,02 %	91	111	24,59 %	30,00 %
6,03 %	8,03 %	7,03 %	164	275	44,32 %	74,32 %
8,04 %	10,04 %	9,04 %	47	322	12,70 %	87,03 %
10,05 %	12,05 %	11,05 %	28	350	7,57 %	94,59 %
12,06 %	14,06 %	13,06 %	17	367	4,59 %	99,19 %
14,07 %	16,07 %	15,07 %	3	370	0,81 %	100,00 %
16,08 %	18,08 %	17,08 %	0	370	0,00 %	100,00 %
TOTAL			370		100,00 %	

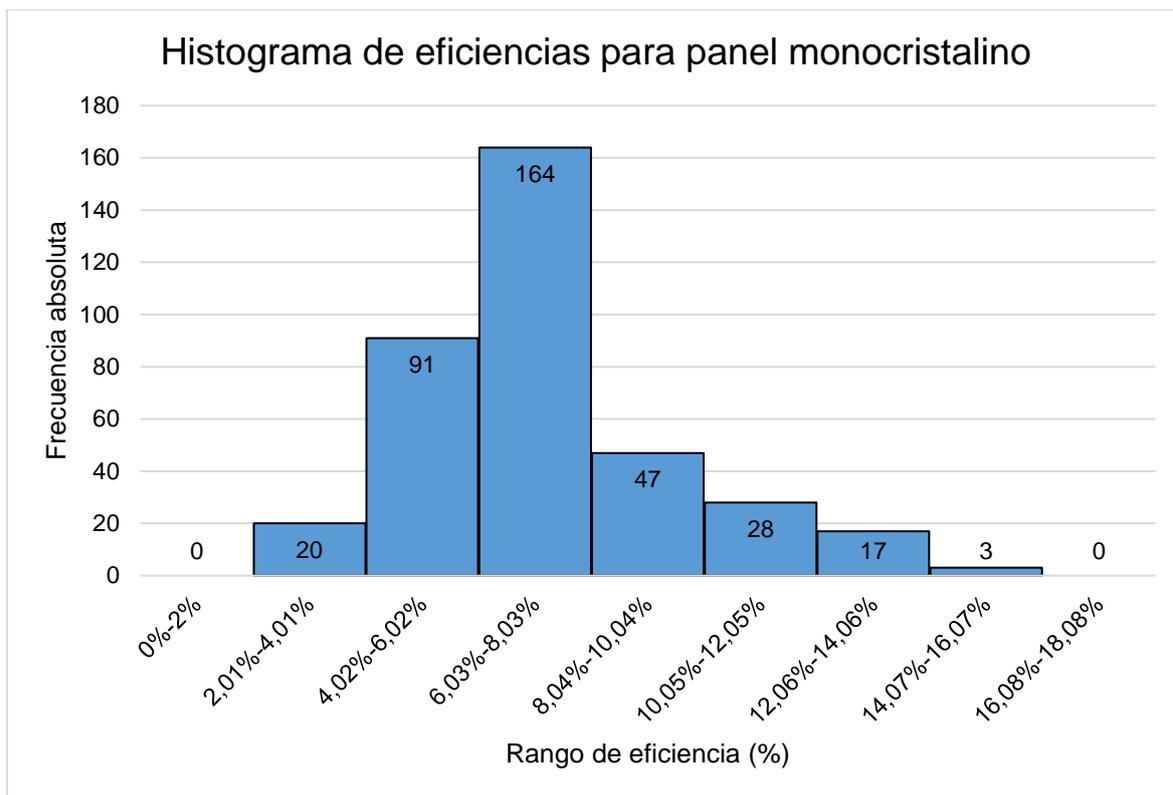


Figura 19. Histograma de eficiencias para panel monocristalino

En la Figura 19 podemos apreciar la frecuencia de eficiencias para el panel monocristalino. En la mayoría de casos se encontró dentro del rango de 6,03 % a 8,03 %. El histograma de frecuencias nos da un panorama más preciso de lo que sucedió en las mediciones realizadas.

Tabla 9

Tabla de frecuencias de eficiencia para panel policristalino

Límite inferior (W)	Límite superior (W)	Marca de clase (W)	Frecuencia absoluta	Frecuencia acumulada	Frecuencia relativa	Frecuencia relativa acumulada
0,00 %	1,00 %	0,50 %	0	0	0,00 %	0,00 %
1,01 %	3,01 %	2,01 %	0	0	0,00 %	0,00 %
3,02 %	5,02 %	4,02 %	123	123	33,24 %	33,24 %
5,03 %	7,03 %	6,03 %	162	285	43,78 %	77,03 %
7,04 %	9,04 %	8,04 %	65	350	17,57 %	94,59 %
9,05 %	11,05 %	10,05 %	16	366	4,32 %	98,92 %
11,06 %	13,06 %	12,06 %	4	370	1,08 %	100,00 %
13,07 %	15,07 %	14,07 %	0	370	0,00 %	100,00 %
15,08 %	17,08 %	16,08 %	0	370	0,00 %	100,00 %
TOTAL			370		100,00 %	

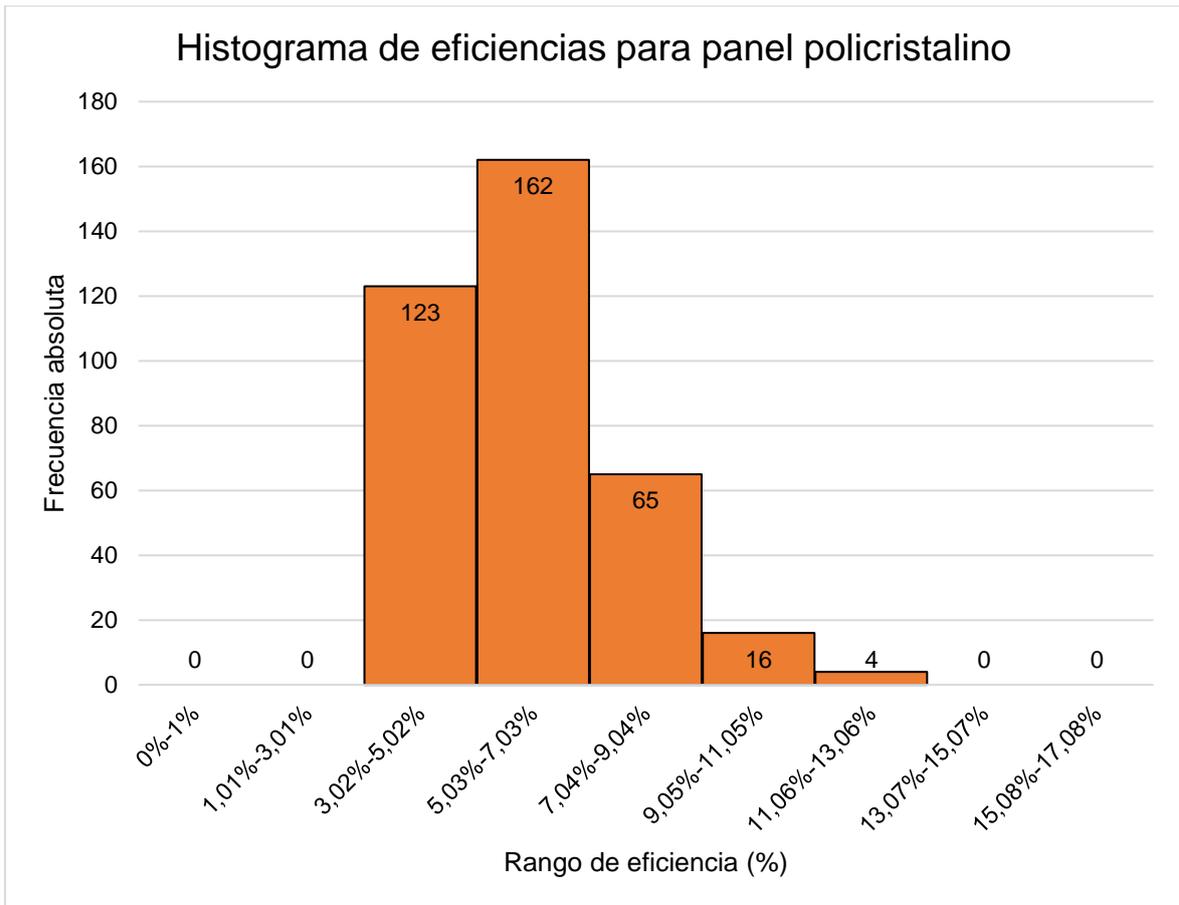


Figura 20. Histograma de eficiencias para panel policristalino

En la Figura 20 podemos apreciar la frecuencia de eficiencias para el panel policristalino. En la mayoría de casos se encontró dentro del rango de 5,03 % a 7,03 %. El histograma de frecuencias nos da un panorama más preciso de lo que sucedió en las mediciones realizadas.

A continuación, se comparó las eficiencias máximas obtenidas con respecto a las eficiencias presentadas en las fichas técnicas de los paneles fotovoltaicos, que se aprecian en la Tabla 3. La comparación se presenta en la Tabla 10, y su gráfica en la Figura 21.

Tabla 5

Comparación eficiencias medidas con eficiencia ficha técnica

Tipo de panel	Eficiencia máxima medida (%)	Eficiencia ficha técnica (%)	Diferencia porcentual (%)
Panel monocristalino	15,55 %	21,30 %	5,75 %
Panel policristalino	12,63 %	15,00 %	2,37 %

Como se aprecia, en la Figura 21, el panel fotovoltaico monocristalino presentó una mayor eficiencia, sin embargo, se encuentra más alejado de la eficiencia de la ficha técnica. Por otro lado, el panel policristalino, evidenció una eficiencia menor, sin embargo, estuvo más cerca de la eficiencia de su ficha técnica

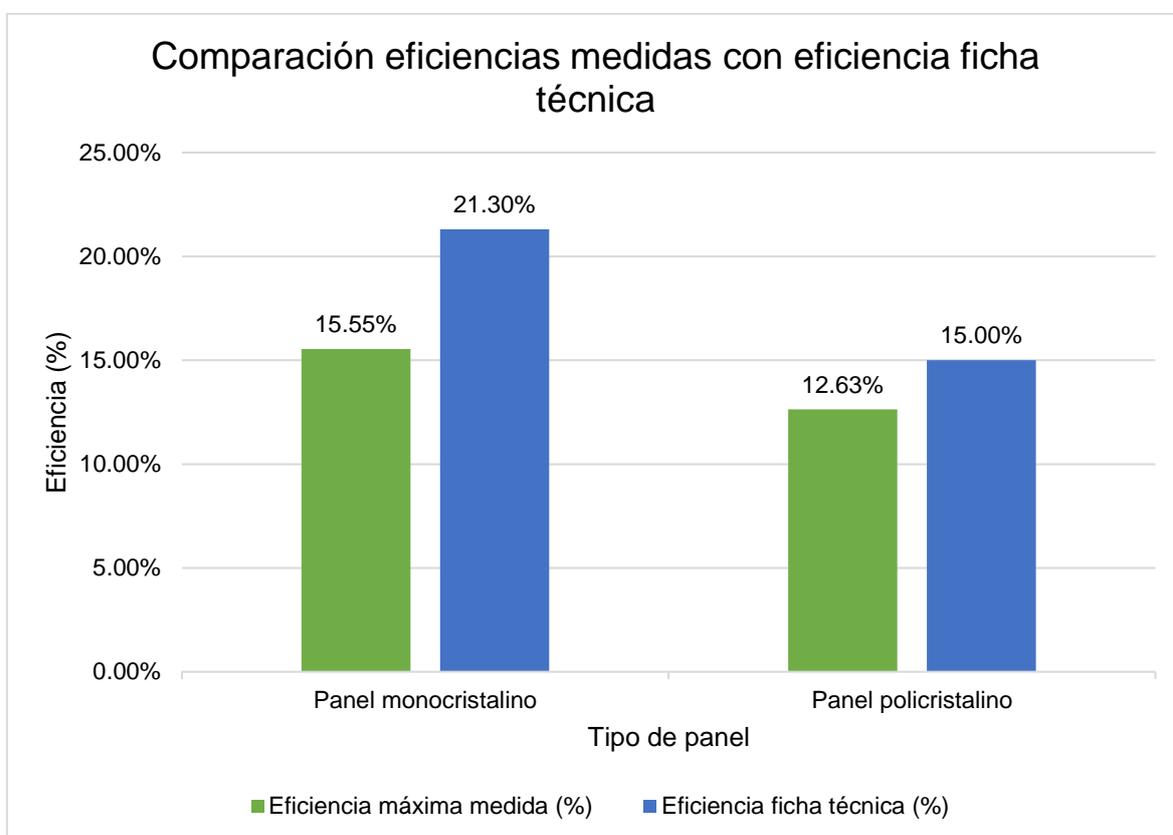


Figura 21. Comparación eficiencias medidas con eficiencia ficha técnica

V. DISCUSIÓN

En relación con el objetivo general, analizar la variación de la eficiencia energética de un módulo fotovoltaico monocristalino y uno policristalino para diferentes niveles de radiación. La investigación presentó los elementos concernientes a ello. En la Figura 18, se aprecia que la eficiencia energética es superior para el panel monocristalino, mientras que para el panel policristalino se obtiene valores menores. Por otro lado, para los días nublados medidos, se invierte el performance de los paneles fotovoltaicos, y ahora el panel policristalino presenta mejores valores en eficiencia energética. Esto se relaciona con lo mencionado por Ur Rehman et al. (2022), quien indica que los paneles fotovoltaicos de silicio monocristalino presentan una mayor eficiencia en comparación con otros tipos de módulo, encontrando que los paneles monocristalinos en su estudio, lograron una eficiencia de 20,8 %. Pastuszak y Węgierek (2022), mencionan que, los paneles monocristalinos presentan eficiencias máximas entre 15 a 24 %, mientras que sus contrapartes del tipo policristalino presentan eficiencias máximas que se encuentran entre 10 a 18 %. Esto significa que, en comparación con el área expuesta al sol, los paneles solares monocristalinos pueden convertir una mayor cantidad de energía solar en electricidad. Sin embargo, las brechas de eficiencia entre los dos tipos de paneles se han reducido en los últimos años como resultado de los avances tecnológicos. En la Figura 18, antes mencionada, podemos apreciar que la eficiencia se va reduciendo paulatinamente mientras aumenta la radiación solar, esto se debe a que las cargas conectadas son resistencias que se consideran como cargas constantes, que necesitan una corriente que no varía en el tiempo. Ambas situaciones hicieron los controladores de carga ubiquen el punto de operación de los paneles para generar potencias relativamente constantes a lo largo del día, a pesar del aumento de la radiación solar.

Respecto al primer objetivo específico, evaluar las características técnicas de ambos tipos de módulos para que sean sustentable un estudio de comparación. En la Tabla 3, se aprecian las principales características técnicas que diferencian los paneles empleados en el estudio. Se puede apreciar que la eficiencia a condiciones STC por parte del panel monocristalino es superior (21,3 %), comparado con la eficiencia del panel policristalino (15 %). Los parámetros eléctricos revisados en la

Tabla 3, muestran una similitud en sus principales características como lo son, la potencia pico, y los voltajes en circuito abierto y cortocircuito, así como el voltaje y corriente de máxima potencia. Estas condiciones de los equipos en estudio, hicieron favorable y adecuado un estudio de comparación, como el realizado en el presente informe. Es necesario hacer hincapié que, tal como lo expresa Iqbal (2022), el uso del silicio representó una excelente decisión, pues es un material ampliamente expandido en el planeta, además que la industria microelectrónica está dominada por este material. En general, tanto los paneles solares monocristalinos como los policristalinos son opciones factibles para la producción de energía solar. La elección entre uno y otro depende de una serie de variables, incluidas las preferencias personales del usuario, el presupuesto, el nivel deseado de eficiencia, las condiciones climáticas locales y el presupuesto. Antes de tomar una decisión informada sobre qué tipo de panel solar elegir, es vital tener en cuenta todas estas diferencias y evaluar las necesidades específicas.

En cuanto al segundo objetivo específico: determinar la potencia generada por cada módulo fotovoltaico para diferentes niveles de radiación, se conectaron ambos paneles a cargas iguales. En la Figura 12, para 400 a 900 W/m² el panel monocristalino el que genera mayor potencia. Entre 300 y 400 W/m² no existe una tendencia clara sobre cuál de los dos tipos de paneles genera mayor potencia. Entre 200 a 300 W/m² el panel policristalino el que presenta mejores condiciones de generación eléctrica. En la Tabla 5, se puede observar que el panel monocristalino generó valores de potencia de salida que se encuentran dentro del rango de 48 a 55 W, en mayor medida, llegando a un porcentaje de 28,92 % de las mediciones. En la Tabla 6, por el contrario, se puede observar que el panel policristalino generó valores de potencia de salida que se encuentran dentro del rango de 29 a 36 W, en mayor medida, llegando a representar un 32,43 % de las mediciones. En la Figura 13, también observamos que existe una producción alta en los rangos de 8 a 15 W y 16 a 23 W, que representa el performance del panel monocristalino para días nublados. En contraposición, en la Figura 14, los valores que representa el comportamiento en la potencia de salida para el panel policristalino se encuentran en los rangos de 13 a 20 W y 21 a 28 W. Estos valores demuestran que el comportamiento del panel policristalino para días nublados es mejor en comparación al panel monocristalino. Abou et al. (2022), menciona que la

radiación solar incidente es un factor clave que afecta directamente la cantidad de energía generada por los paneles solares, ya sean monocristalinos o policristalinos. A medida que varía la radiación solar, se observan diferencias en la cantidad de energía producida por estos paneles. Es así que la Tabla 8 nos muestra que el panel monocristalino generó un total de 2545,09 Wh de energía, por el contrario, el panel policristalino generó 1901,50 Wh de energía. La diferencia porcentual se situó en un 25,29 %.

Respecto al tercer objetivo específico: evaluar el efecto de la temperatura en la eficiencia energética de cada módulo, la temperatura representó un factor significativo en la eficiencia del panel monocristalino. En la Figura 17, se aprecia que a medida que la temperatura ambiente aumenta hasta los 27 °C, se reduce de su eficiencia. A partir de esta temperatura se aprecia, hasta los 30 °C, se aprecia leve aumento de la eficiencia. Sin embargo, entre 24 °C y 28°C el panel policristalino presentó menores variaciones de eficiencia, comparativamente con el panel monocristalino. Firake et al. (2020), hace alusión a que el impacto de la temperatura en los paneles fotovoltaicos es un tema importante para la industria solar, ya que puede tener un impacto significativo en la eficiencia de los paneles, tanto monocristalinos como policristalinos. Es bien sabido que la temperatura tiene un efecto perjudicial en la eficiencia de los paneles solares. A medida que aumenta la temperatura, la eficiencia de los paneles disminuye. Esto se debe a que las propiedades de los materiales semiconductores utilizados en los paneles solares se ven directamente afectadas por la temperatura (Fouad et al., 2017). Pastuszak y Węgierek (2022), ejemplifican que, la estructura de los paneles fotovoltaicos policristalinos, que están hechos de muchos cristales de sílice, es menos homogénea. Aunque también experimentan una disminución en la eficiencia a medida que aumenta la temperatura, esta disminución es menos pronunciada en comparación con los paneles monocristalinos. Además, es crucial tener en cuenta el entorno en el que se instalan los paneles fotovoltaicos. La ubicación geográfica y las condiciones climáticas locales pueden tener un impacto significativo en la temperatura de los paneles. En regiones con climas más cálidos, es importante tomar precauciones para disminuir el impacto de los aumentos de temperatura, como instalar sistemas de ventilación o usar estructuras de montaje que mejoren la circulación de aire alrededor de los paneles.

En cuanto al cuarto objetivo específico: determinar la eficiencia final de los dos módulos fotovoltaicos en estudio, en la Figura 18, se aprecia de manera gráfica como a mayores niveles de radiación solar, las eficiencias de los paneles fotovoltaicos van disminuyendo. Entre 400 y 900 W/m² el panel monocristalino se muestra siempre más eficiente. Ur Rehman et al. (2022), hace hincapié en que el panel monocristalino es famoso por su alta eficiencia y se considera el más adecuado para su aprovechamiento en sistemas fotovoltaicos. En la Tabla 9, se puede apreciar que la eficiencia del panel monocristalino presentó la mayor cantidad de datos en el rango de 6,03 a 8,03 %. Por el contrario, en la Tabla 10, el panel policristalino presentó la mayor cantidad de datos de eficiencia entre los valores de 5,03 a 7,03 %. La información recopilada también nos permitió definir el valor de la eficiencia máxima medida para el panel monocristalino que fue de 15,55 % mientras que el panel policristalino mostró una eficiencia máxima de 12,63 %. Al igual que con la energía generada por los paneles, la relación es proporcional y directa. La eficiencia también fue mayor en el panel monocristalino en comparación de la eficiencia del panel policristalino. Rodziewicz et al. (2021), hace mención que, el valor de eficiencia teórica, que se puede apreciar en la Tabla 2, es más alto que de la eficiencia que se puede obtener al medir y obtener los datos de manera experimental. Esto se puede observar en la Tabla 10 y la Figura 21. Sin embargo, teniendo en cuenta que la temperatura es un factor relevante, como se demostró en el anterior objetivo, para mitigar este efecto, se pueden utilizar técnicas de refrigeración o sistemas de enfriamiento pasivos, como la ventilación adecuada, la elección de estructuras de montaje que permitan la circulación de aire o el uso de materiales de encapsulación que disipen el calor de manera efectiva. Esto implica, además, que los parámetros que influyen de una manera significativa la eficiencia del panel, son la radiación solar, la temperatura ambiente, que influye directamente en la temperatura de celda, así también aspectos externos como la suciedad, humedad relativa y/o sombras, pueden generar variaciones en la eficiencia más significativas.

VI. CONCLUSIONES

1. Se analizó la variación de la eficiencia energética de un módulo fotovoltaico monocristalino y uno policristalino para diferentes niveles de radiación, la eficiencia energética es superior para el panel monocristalino, mientras que para el panel policristalino se obtiene valores menores en días que recibe mayor radiación solar. Por otro lado, para los días menor radiación, se invierte el performance de los paneles fotovoltaicos, y el panel policristalino presenta mejores valores en eficiencia energética.
2. Se evaluó las características técnicas de ambos tipos de módulos para que sean sustentable un estudio de comparación, los parámetros eléctricos revisados muestran una similitud en sus principales características, estas condiciones de los equipos en estudio, hicieron favorable y adecuado un estudio de comparación.
3. Se determinó la potencia generada por cada módulo fotovoltaico al ser conectados con cargas iguales a diferentes niveles de radiación. El panel monocristalino generó valores de potencia de salida que se encuentran dentro del rango de 48 a 55 W, mientras que el panel policristalino generó valores de potencia de salida que se encuentran dentro del rango de 29 a 36 W.
4. Se evaluó el efecto de la temperatura ambiente en la eficiencia energética de cada módulo, al aumentar la temperatura disminuye la eficiencia energética en ambos tipos de panel. Esta disminución es ligeramente más acentuada en el panel monocristalino.

5. Se determinó la eficiencia final de los dos módulos fotovoltaicos en estudio, conectado a cargas iguales. Los valores de eficiencia obtenidos para diferentes mediciones de irradiancia, mostraron valores en el rango de 6,03 a 8,03 %, para el panel monocristalino. En el caso del panel policristalino, las eficiencias estuvieron entre los valores de 5,03 a 7,03 %. Para valores de irradiancia entre 200 y 300 W/m², la eficiencia del panel policristalino fue mayor que el monocristalino. Entre 300 y 400 W/m², la eficiencia no mostró una tendencia definida. De 400 a 900 W/m², el panel monocristalino tuvo una mayor eficiencia. La eficiencia máxima medida para el panel monocristalino que fue de 15,55 % mientras que para el panel policristalino fue de 12,63 %.

VII. RECOMENDACIONES

En referencia a la experiencia en la investigación, los resultados y luego del análisis de los mismos:

Se recomienda evaluar la eficiencia energética de los paneles monocristalinos y policristalinos para diferentes niveles de carga en corriente continua conectada al regulador de carga.

Se recomienda evaluar la eficiencia energética de los paneles monocristalinos y policristalinos para diferentes niveles de carga en corriente alterna conectada a un inversor.

Se sugiere estudiar el comportamiento de los paneles monocristalinos y policristalinos con respecto al polvo y suciedad que se depositan en los equipos.

Se recomienda comparar el comportamiento de los paneles monocristalinos, policristalinos y del tipo amorfo, con la metodología empleada en la presente investigación.

REFERENCIAS

- ABOU JIEB, Yaman; HOSSAIN, Eklas; HOSSAIN, E. Photovoltaic systems: fundamentals and applications. [en línea]. 1era ed. Estados Unidos: Springer, 2022 [Fecha de consulta: 26 de julio de 2022]. Disponible en: <https://www.springerprofessional.de/en/photovoltaic-systems/19939024>
- ADOUANE, Mabrouk et al. Comparative performance evaluation of different photovoltaic modules technologies under Kuwait harsh climatic conditions. Energy Reports [en línea], 2020, 6, 2689–2696 [consultado el 09 de octubre de 2022]. ISSN 2352-4847. Disponible en: doi:10.1016/j.egy.2020.09.034
- AGYEKUM, Ephraim Bonah et al. Effect of dual surface cooling of solar photovoltaic panel on the efficiency of the module: experimental investigation. Heliyon [en línea]. 2021, 7(9), e07920 [consultado el 21 de octubre de 2022]. ISSN 2405-8440. Disponible en: doi:10.1016/j.heliyon.2021.e07920
- ALBATAYNEH, Aiman et al. Rooftop photovoltaic system as a shading device for uninsulated buildings. Energy Reports [en línea].2022, 8, 4223–4232 [consultado el 19 de octubre de 2022]. ISSN 2352-4847. Disponible en: doi:10.1016/j.egy.2022.03.082.
- AL-DAMOOK, Moustafa et al. Photovoltaic module efficiency evaluation: The case of Iraq. Alexandria Engineering Journal [en línea]. 2022, 61(8), 6151–6168 [consultado el 09 de octubre de 2022]. ISSN 1110-0168. Disponible en: doi:10.1016/j.aej.2021.11.046
- ALSHAFEEY, Mutaz y Csaba CSÁKI. Evaluating neural network and linear regression photovoltaic power forecasting models based on different input methods. Energy Reports [en línea] 2021, 7, 7601–7614 [consultado el 09 de octubre de 2022]. ISSN 2352-4847. Disponible en: doi:10.1016/j.egy.2021.10.125
- ALVES DOS SANTOS, Sofia Antunes et al. The impact of aging of solar cells on the performance of photovoltaic panels. Energy Conversion and

Management: X [en línea]. 2021, 10, 100082 [consultado el 21 de octubre de 2022]. ISSN 2590-1745. Disponible en: doi:10.1016/j.ecmx.2021.100082

AMERICAN SOLAR ENERGY SOCIETY. " Monocrystalline vs Polycrystalline Solar Panels ". En American Solar Energy Society [en línea]. 31 octubre 2022 [consulta: 03-11-2022]. Disponible en: <https://ases.org/monocrystalline-vs-polycrystalline-solar-panels/>

ARENANDAN, Vanisha et al. Efficiency enhancement in energy production of photovoltaic modules through green roof installation under tropical climates. Ain Shams Engineering Journal [en línea]. 2022, 13(5), 101741 [consultado el 21 de octubre de 2022]. ISSN 2090-4479. Disponible en: doi:10.1016/j.asej.2022.101741

BASU, Soumya et al. Assessing the geospatial nature of location-dependent costs in installation of solar photovoltaic plants. Energy Reports [en línea]. 2021, 7, 4882–4894 [consultado el 25 de octubre de 2022]. ISSN 2352-4847. Disponible en: doi:10.1016/j.egyr.2021.07.068

BEN HMAMOU, Dris et al. Parameters identification and optimization of photovoltaic panels under real conditions using Lambert W-function. Energy Reports [en línea]. 2021, 7, 9035–9045 [consultado el 25 de octubre de 2022]. ISSN 2352-4847. Disponible en: doi:10.1016/j.egyr.2021.11.219

BENTOUBA, Said et al. Performance assessment of a 20 MW photovoltaic power plant in a hot climate using real data and simulation tools. Energy Reports [en línea]. 2021, 7, 7297–7314 [consultado el 13 de octubre de 2022]. ISSN 2352-4847. Disponible en: doi:10.1016/j.egyr.2021.10.082

CÁRDENAS, Julián. Investigación cuantitativa. [en línea]. Programa de Posgrado en Desarrollo Sostenible y Desigualdades Sociales en la Región Andina, 2018 [Consultado el 23 de Noviembre de 2022]. Disponible en: doi: 10.17169/refubium-216

CERESUELA, Jesús M., Daniel CHEMISANA y Nacho LÓPEZ. Household photovoltaic systems optimization methodology based on graph theory

reliability. Energy Reports [en línea]. 2022, 8, 11334–11342 [consultado el 09 de octubre de 2022]. ISSN 2352-4847. Disponible en: doi:10.1016/j.egyr.2022.08.262.

DE SOUZA SILVA, João Lucas et al. Theoretical and behavioral analysis of power optimizers for grid-connected photovoltaic systems. Energy Reports [en línea]. 2022, 8, 10154–10167 [consultado el 25 de octubre de 2022]. ISSN 2352-4847. Disponible en: doi:10.1016/j.egyr.2022.07.154

DEDICA-20. COVID-19. crisis and imagination. Current Issues in Criminal Justice [en línea]. 2021, 33 (1), 144–149 [consultado el 10 de octubre de 2022]. ISSN 2206-9542. Disponible en: doi:10.1080/10345329.2020.1863306.

DUFFIE, John A.; BECKMAN, William A.; BLAIR, Nathan. Solar engineering of thermal processes, photovoltaics and wind. John Wiley & Sons, 2020.

EBHOTA, W. S. y P. Y. TABAKOV. Influence of photovoltaic cell technologies and elevated temperature on photovoltaic system performance. Ain Shams Engineering Journal [en línea]. 2022, 1, 101984 [consultado el 10 de octubre de 2022]. ISSN 2090-4479. Disponible en: doi:10.1016/j.asej.2022.101984

FERNÁNDEZ-SOLAS, Álvaro et al. Estimation of soiling losses in photovoltaic modules of different technologies through analytical methods. Energy [en línea]. 2022, 244, 123173 [consultado el 13 de octubre de 2022]. ISSN 0360-5442. Disponible en: doi:10.1016/j.energy.2022.123173

FIRAKE, Pankaj L.; MANE, Pranav R.; DIXIT, Nagraj S. A Review: Important Factors for Performance of Photovoltaic Cell. International Research Journal of Engineering and Technology (IRJET) [en línea]. 2020, 07(04), 4331-4333 [consultado el 13 de octubre de 2022]. ISSN 2395-0056. Disponible en: <https://www.irjet.net/archives/V7/i4/IRJET-V7I4832.pdf>

FLORES Rivera, Norma Rosario; DOMÍNGUEZ Ramírez, Miguel Ángel. Medición de la eficiencia energética de los paneles solares de silicio. 2017.

- FOUAD, M. M.; SHIHATA, Lamia A.; MORGAN, EISayed I. An integrated review of factors influencing the performance of photovoltaic panels. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2017, vol. 80, p. 1499-1511.
- GANESAN, Kishore y César VALDERRAMA. Anticipatory life cycle analysis framework for sustainable management of end-of-life crystalline silicon photovoltaic panels. *Energy* [en línea]. 2022, 245, 123207 [consultado el 21 de octubre de 2022]. ISSN 0360-5442. Disponible en: doi:10.1016/j.energy.2022.123207
- GOOGLE MAPS. Nuevo Chimbote. En Google Maps [en línea]. 30 abril 2023 [consulta: 30-04-2023]. Disponible en: <https://www.google.com/maps>
- GUARIN Contreras, Jeferson Stiven, et al. Comparación de celdas fotovoltaicas monocristalina y policristalina en condiciones climáticas de bogotá. 2022.
- GUEVARA, Gladys, Alexis VERDESOTO y Nelly CASTRO. Metodologías de investigación educativa (descriptivas, experimentales, participativas, y de investigación-acción). *Recimundo*. [en línea]. 2020, 4, 3. [Consultado el 23 de noviembre de 2022]. Disponible en: <https://www.recimundo.com/index.php/es/article/view/860> .
- HANFANG LI et al. Research on the policy route of China's distributed photovoltaic power generation. *Energy Reports* [en línea]. 2020, 6, 254–263 [consultado el 21 de octubre de 2022]. ISSN 2352-4847. Disponible en: doi:10.1016/j.egy.2019.12.027
- HASANUZZAMAN, Md (ed.). *Technologies for Solar Thermal Energy: Theory, Design And, Optimization*. Academic Press, 2022.
- HASSAN, Qusay. Evaluate the adequacy of self-consumption for sizing photovoltaic system. *Energy Reports* [en línea]. 2022, 8, 239–254 [consultado el 25 de octubre de 2022]. ISSN 2352-4847. Disponible en: doi:10.1016/j.egy.2021.11.205

- HUAMAN Romoacca, Jesús. Estudio comparativo de potencia generada por paneles fotovoltaicos monocristalinos y policristalinos en la Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco. 2018.
- IQBAL, Muhammad Aamir, et al. Materials for Photovoltaics: Overview, Generations, Recent Advancements and Future Prospects. Thin Films Photovoltaics, 2022.
- IRINGOVÁ, A. y M. KOVAČIC. Design and optimization of photovoltaic systems in a parking garage - a case study. Transportation Research Procedia [en línea]. 2021, 55, 1171–1179 [consultado el 10 de octubre de 2022]. ISSN 2352-1465. Disponible en: doi:10.1016/j.trpro.2021.07.097
- JANARDHAN, Kavali, Arvind MITTAL y Amit OJHA. Performance investigation of stand-alone solar photovoltaic system with single phase micro multilevel inverter. Energy Reports [en línea]. 2020, 6, 2044–2055 [consultado el 13 de octubre de 2022]. ISSN 2352-4847. Disponible en: doi:10.1016/j.egy.2020.07.006
- KALOGIROU, Soteris (ed.). McEvoy's handbook of photovoltaics: fundamentals and applications. Academic Press, 2017.
- KANT, K. et al. Analysis and design of air ventilated building integrated photovoltaic (BIPV) system incorporating phase change materials. Energy Conversion and Management [en línea]. 2019, 196, 149–164 [consultado el 21 de octubre de 2022]. ISSN 0196-8904. Disponible en: doi:10.1016/j.enconman.2019.05.073
- KNAKE-LANGHORST, Sascha et al. Test Site AIM – Toolbox and Enabler for Applied Research and Development in Traffic and Mobility. Transportation Research Procedia [en línea]. 2016, 14, 2197–2206 [consultado el 23 de noviembre de 2022]. ISSN 2352-1465. Disponible en: doi:10.1016/j.trpro.2016.05.235
- LEONFORTE, Fabrizio et al. Design and performance monitoring of a novel photovoltaic-thermal solar-assisted heat pump system for residential

- applications. *Applied Thermal Engineering* [en línea]. 2022, 210, 118304 [consultado el 12 de octubre de 2022]. ISSN 1359-4311. Disponible en: doi:10.1016/j.applthermaleng.2022.118304
- LI, Dacheng et al. Study on the cleaning and cooling of solar photovoltaic panels using compressed airflow. *Solar Energy* [en línea]. 2021, 221, 433–444 [consultado el 21 de octubre de 2022]. ISSN 0038-092X. Disponible en: doi:10.1016/j.solener.2021.04.050
- LI, Peidu et al. Effect of the temperature difference between land and lake on photovoltaic power generation. *Renewable Energy* [en línea]. 2022, 185, 86–95 [consultado el 21 de octubre de 2022]. ISSN 0960-1481. Disponible en: doi:10.1016/j.renene.2021.12.011
- MA, Yanhong et al. Short-term photovoltaic power forecasting method based on irradiance correction and error forecasting. *Energy Reports* [en línea]. 2021, 7, 5495–5509 [consultado el 25 de octubre de 2022]. ISSN 2352-4847. Disponible en: doi:10.1016/j.egyr.2021.08.167
- MANNO, D. et al. Deep learning strategies for automatic fault diagnosis in photovoltaic systems by thermographic images. *Energy Conversion and Management* [en línea]. 2021, 241, 114315 [consultado el 25 de octubre de 2022]. ISSN 0196-8904. Disponible en: doi:10.1016/j.enconman.2021.114315
- MARAJ, Alain, Xhulieta KËRTUSHA y Anri LUSHNJARI. Energy performance evaluation for a Floating Photovoltaic System located on the reservoir of a hydro power plant under the Mediterranean climate conditions during a sunny day and a cloudy one. *Energy Conversion and Management: X* [en línea]. 2022, 100275 [consultado el 10 de octubre de 2022]. ISSN 2590-1745. Disponible en: doi:10.1016/j.ecmx.2022.100275
- MENGOUNOU Mengata, Ghislain et al. Characterization of solar photovoltaic modules powered by artificial light for use as a source for smart sensors. *Energy Reports* [en línea]. 2022, 8, 12105–12116 [consultado el 17 de

octubre de 2022]. ISSN 2352-4847. Disponible en:
doi:10.1016/j.egyr.2022.09.056

MERTENS, Konrad. Photovoltaics: fundamentals, technology, and practice. John Wiley & Sons, 2019.

MINISTERIO DE ENERGÍA Y MINAS. Atlas de Energía Solar del Perú. MINEM, 2003. <https://hdl.handle.net/20.500.12542/343>

MUKISA, Nicholas, Ramon ZAMORA y Tek Tjing LIE. Viability of the store-on Grid Scheme model for grid-tied rooftop solar photovoltaic systems in Sub-Saharan African countries. Renewable Energy [en línea], 2021, 178, 845–863 [consultado el 15 de octubre de 2022]. ISSN 0960-1481. Disponible en: doi:10.1016/j.renene.2021.06.126

MULCUÉ-NIETO, Luis Fernando et al. Energy performance assessment of monocrystalline and polycrystalline photovoltaic modules in the tropical mountain climate: The case for Manizales-Colombia. Energy Reports [en línea]. 2020, 6, 2828–2835 [consultado el 10 de octubre de 2022]. ISSN 2352-4847. Disponible en: doi:10.1016/j.egyr.2020.09.036.

NABIL, Tamer y Tamer M. MANSOUR. Augmenting the performance of photovoltaic panel by decreasing its temperature using various cooling techniques. Results in Engineering [en línea]. 2022, 15, 100564 [consultado el 21 de octubre de 2022]. ISSN 2590-1230. Disponible en: doi:10.1016/j.rineng.2022.100564

NARKWATCHARA, Piya, Chavalit RATANATAMSKUL y Achara CHANDRACHAI. Effects of particulate matters and climate condition on photovoltaic system efficiency in tropical climate region. Energy Reports [en línea]. 2020, 6, 2577–2586 [consultado el 25 de octubre de 2022]. ISSN 2352-4847. Disponible en: doi:10.1016/j.egyr.2020.09.016

OSMANI, Khaled et al. A review on maintenance strategies for PV systems. Science of The Total Environment [en línea]. 2020, 746, 141753 [consultado el 25 de

octubre de 2022]. ISSN 0048-9697. Disponible en:
doi:10.1016/j.scitotenv.2020.141753

OURRAOUI, Imane y Ali AHAITOUF. Investigation of the feasibility and potential use of sun tracking solutions for concentrated photovoltaic Case study Fez Morocco. Energy Reports [en línea]. 2022, 8, 1412–1425 [consultado el 21 de octubre de 2022]. ISSN 2352-4847. Disponible en:
doi:10.1016/j.egyr.2022.08.071

PASTUSZAK, Justyna; WĘGIEREK, Paweł. Photovoltaic Cell Generations and Current Research Directions for Their Development. Materials, 2022, vol. 15, no 16, p. 5542.

RODZIEWICZ, Tadeusz et al. Modelling and analysis of the influence of solar spectrum on the efficiency of photovoltaic modules. Energy Reports [en línea]. 2021, 7, 565–574 [consultado el 18 de octubre de 2022]. ISSN 2352-4847. Disponible en: doi:10.1016/j.egyr.2021.01.013

SABRY, Ahmad H. y Pin Jern KER. Improvement on energy consumption of a refrigerator within PV system including battery storage. Energy Reports [en línea]. 2021, 7, 430–438 [consultado el 25 de octubre de 2022]. ISSN 2352-4847. Disponible en: doi:10.1016/j.egyr.2021.01.011

SAJID, Jamsheed et al. Energetic, economic, and greenhouse gas emissions assessment of biomass and solar photovoltaic systems for an industrial facility. Energy Reports [en línea]. 2022, 8, 12503–12521 [consultado el 21 de octubre de 2022]. ISSN 2352-4847. Disponible en:
doi:10.1016/j.egyr.2022.09.041

SALAMANCA-ÁVILA, Sebastián. Proposta de design para um sistema de energia solar fotovoltaica. Caso de aplicação na cidade de Bogotá. Revista científica, 2017, no 30, p. 263-277.

SCHAUBE, P., A. ISE y L. CLEMENTI. Distributed photovoltaic generation in Argentina: An analysis based on the technical innovation system framework. Technology in Society [en línea]. 2022, 68, 101839 [consultado el 25 de

octubre de 2022]. ISSN 0160-791X. Disponible en:
doi:10.1016/j.techsoc.2021.101839

SHEN, Lidu et al. Thermal and energy benefits of rooftop photovoltaic panels in a semi-arid city during an extreme heatwave event. *Energy and Buildings* [en línea]. 2022, 275, 112490 [consultado el 25 de octubre de 2022]. ISSN 0378-7788. Disponible en: doi:10.1016/j.enbuild.2022.112490.

SHINDE, G. H. y D. M. SONJE. A. Consequence of Partial Shading on the Attribute Curves of a Photovoltaic Panel. *Global Transitions Proceedings* [en línea]. 2021[consultado el 20 de octubre de 2022]. ISSN 2666-285X. Disponible en: doi:10.1016/j.gltp.2021.08.053

SHUBBAK, Mahmood H. The technological system of production and innovation: The case of photovoltaic technology in China. *Research Policy* [en línea]. 2019, 48(4), 993–1015 [consultado el 25 de octubre de 2022]. ISSN 0048-7333. Disponible en: doi:10.1016/j.respol.2018.10.003

SOLER-CASTILLO, Yhosvany et al. Modelling of the efficiency of the photovoltaic modules: Grid-connected plants to the Cuban national electrical system. *Solar Energy* [en línea]. 2021, 223 , 150–157 [consultado el 15 de octubre de 2022]. ISSN 0038-092X. Disponible en: doi:10.1016/j.solener.2021.05.052

SREENATH, S. et al. Solar PV energy system in Malaysian airport: Glare analysis, general design and performance assessment. *Energy Reports* [en línea]. 2020, 6, 698–712 [consultado el 20 de octubre de 2022]. ISSN 2352-4847. Disponible en: doi:10.1016/j.egyr.2020.03.015

UR REHMAN, Saad et al. Experimental investigation to thermal performance of different photo voltaic modules for efficient system design. *Alexandria Engineering Journal* [en línea]. 2022, 61(12), 12623–12634 [consultado el 18 de octubre de 2022]. ISSN 1110-0168. Disponible en: doi:10.1016/j.aej.2022.06.037

- VIITANEN, Janne, et al. Energy efficient lighting systems in buildings with integrated photovoltaics. 2015.
- YAGHOUBIRAD, Maryam et al. Performance assessment of a solar PV module for different climate classifications based on energy, exergy, economic and environmental parameters. Energy Reports [en línea]. 2022, 8, 68–84 [consultado el 19 de octubre de 2022]. ISSN 2352-4847. Disponible en: doi:10.1016/j.egyr.2022.05.100
- ZHANG, Jia et al. Enhanced performance of photovoltaic–thermoelectric coupling devices with thermal interface materials. Energy Reports [en línea]. 2020, 6, 116–122 [consultado el 21 de octubre de 2022]. ISSN 2352-4847. Disponible en: doi:10.1016/j.egyr.2019.12.001
- ZSIBORÁCS, Henrik et al. Assessing shading losses of photovoltaic power plants based on string data. Energy Reports [en línea]. 2021, 7, 3400–3409 [consultado el 21 de octubre de 2022]. ISSN 2352-4847. Disponible en: doi:10.1016/j.egyr.2021.05.038

ANEXOS

Anexo 1: Matriz de operacionalización de variables.

Variable	Definición conceptual	Definición Operacional	Dimensión	Indicador	Escala de medición
Dependiente Eficiencia del módulo fotovoltaico	La eficiencia de un módulo fotovoltaico es la relación entre la potencia eléctrica de salida en los terminales y la potencia de la radiación solar que incide. (Soler-Castillo et al., 2021).	Para evaluar la eficiencia de los módulos fotovoltaicos se debe tener en cuenta las siguientes dimensiones: las características técnicas de los módulos, la potencia de salida, la temperatura ambiente, la eficiencia de los paneles. Leonforte et al. (2022)	Características técnicas del módulo	Ficha técnica de los paneles	De razón
			Temperatura del panel	Temperatura ambiente (°C)	Intervalo
			Potencia del panel	Corriente de salida (A)	De razón
				Voltaje de salida (V)	De razón
			Eficiencia	Irradiancia solar (W/m ²)	De razón
				Área de panel solar (m ²)	De razón

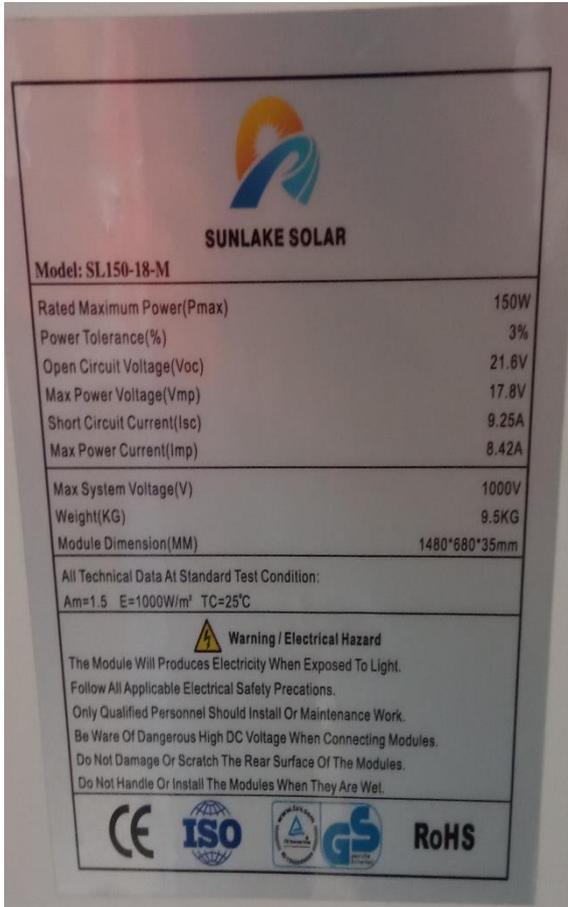
Variable	Definición conceptual	Definición Operacional	Dimensión	Indicador	Escala de medición
<p>Independiente</p> <p>Nivel de radiación solar</p>	<p>Es la variable independiente en la investigación, definida como la irradiancia de referencia que incide en el plano durante un periodo de tiempo y se mide en KW/m^2 (Mulcué-Nieto, et al., 2020).</p>	<p>El nivel de la radiación solar es medida directamente en el mismo momento en que se toman medidas de corriente que absorberán las cargas de pruebas conectadas. (Hasanuzzaman, 2022).</p>	<p>Radiación solar</p>	<p>Irradiancia (W/m^2)</p>	<p>De razón</p>

Anexo 1: Matriz de consistencia.

Título: Análisis comparativo del efecto del nivel de radiación solar en la eficiencia de un módulo fotovoltaico monocristalino y uno policristalino		
Problema general	Objetivo general	Hipótesis
¿Cuál es la variación de la eficiencia de un módulo fotovoltaico monocristalino y uno policristalino para diferentes niveles de radiación?	Analizar la variación de la eficiencia energética de un módulo fotovoltaico monocristalino y uno policristalino para diferentes niveles de radiación.	La investigación no presenta hipótesis.
Problemas específicos		Objetivos específicos
<ul style="list-style-type: none"> - ¿Cuáles son las características técnicas de ambos tipos de módulos para que sea sustentable un estudio de comparación? - ¿Cuál es la potencia generada por cada módulo fotovoltaico para diferentes niveles de radiación? - ¿Cuál es el efecto de la temperatura en la eficiencia energética de cada módulo fotovoltaico? - ¿Cuál es la eficiencia final de los módulos fotovoltaicos en estudio? 	<ul style="list-style-type: none"> - Evaluar las características técnicas de ambos tipos de módulos para que sean sustentable un estudio de comparación. - Determinar la potencia generada por cada módulo fotovoltaico para diferentes niveles de radiación. - Evaluar el efecto de la temperatura en la eficiencia energética de cada módulo fotovoltaico. - Determinar la eficiencia final de los módulos fotovoltaicos en estudio. 	

Anexo 4: Instrumento de recolección de datos

Placa de características de los paneles fotovoltaicos usados.



SUNLAKE SOLAR

Model: SL150-18-M

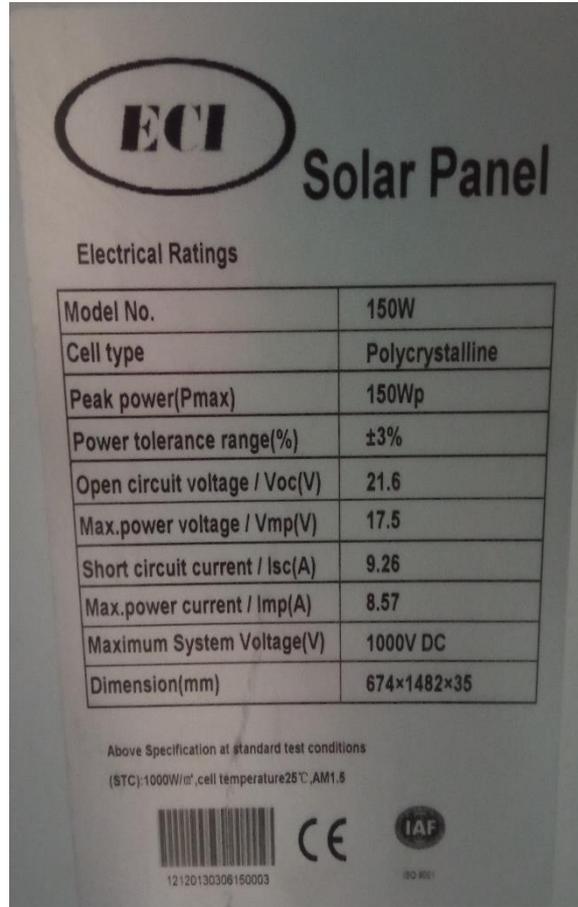
Rated Maximum Power(Pmax)	150W
Power Tolerance(%)	3%
Open Circuit Voltage(Voc)	21.6V
Max Power Voltage(Vmp)	17.8V
Short Circuit Current(Isc)	9.25A
Max Power Current(Imp)	8.42A
Max System Voltage(V)	1000V
Weight(KG)	9.5KG
Module Dimension(MM)	1480*680*35mm

All Technical Data At Standard Test Condition:
Am=1.5 E=1000W/m² TC=25°C

Warning / Electrical Hazard
 The Module Will Produce Electricity When Exposed To Light.
 Follow All Applicable Electrical Safety Precautions.
 Only Qualified Personnel Should Install Or Maintenance Work.
 Be Ware Of Dangerous High DC Voltage When Connecting Modules.
 Do Not Damage Or Scratch The Rear Surface Of The Modules.
 Do Not Handle Or Install The Modules When They Are Wet.

CE ISO RoHS

Panel fotovoltaico monocristalino



ECI Solar Panel

Electrical Ratings

Model No.	150W
Cell type	Polycrystalline
Peak power(Pmax)	150Wp
Power tolerance range(%)	±3%
Open circuit voltage / Voc(V)	21.6
Max.power voltage / Vmp(V)	17.5
Short circuit current / Isc(A)	9.26
Max.power current / Imp(A)	8.57
Maximum System Voltage(V)	1000V DC
Dimension(mm)	674×1482×35

Above Specification at standard test conditions
(STC): 1000W/m², cell temperature 25°C, AM1.5

12120130306150003 CE IAF

Panel fotovoltaico policristalino

Controlador de carga para panel policristalino

Model	SD2410C	SD2420C	SD2430C	SD2430S	SD2440S
System Voltage	12V/24V DC auto				
PV Max Input Voltage	55V				
Self-consumption	<10mA				
Max Charging current	10A	20A	30A	30A	40A
Max Discharging current	10A	20A	20A	30A	40A
Battery type	Sealed(Default)/Gel/Flood/Lithium				
LVD※*	11.0V ADJ 9V...12V ; x2/24V ; x4/48V				
LVR※*	12.6V ADJ 11V...13.5V ; x2/24V ; x4/48V				
Float Voltage※*	13.8V ADJ 13V... 15V ; x2/24V ; M/48V				
Boost Voltage※*	14.4V ADJ 13V...17V ; x2/24 ; x4/48V				
	battery voltage less than 12.6v auto boost 2hours				
Battery Over Voltage ※*	16.5V ; x2/24V ; x4/48V				
Reverse Connection Protection	Yes				
Load Over Current Protection	Yes, each 30s auto restart again				
Controller Over Temperature	Yes				
USB Output	5VDC/1A 2PCS			5VDC/1A 1PC	
Charging Type	PWM				
Charge circuit voltage drop	<=0.25V				
Discharge circuit voltage drop	<=0.1V				
Temperature Consumption#	For 12Vsystem:-24mV /°C ; x2/24V ; x4/48V				
Relative humidity	<=95%, N.C.				
WorkingTemperature	-20°C~+55°C(Product can work continuously at full load)				
LCD temperature range	-20°C~+70°C				
Waterproof grade	IP32				
Mounting hole size	Φ5mm				
Terminals	10mm ² /8AWG			16mm ² /6AWG	
Weight	245g	320g	330g	440g	480g
Overall dimension(mm)	190×108×41.5			200×98 ×47.5	200×106 ×41.5

Controlador de carga para panel monocristalino

Modelo		PC1500B-10-20	PC1500B-30-40	PC1500B-50-60	PC1500B-6048D				
Entrada	Voltaje FV	≤50V				≤100V			
	Intensidad nominal	10A	20A	30A	40A	50A	60A	50A	60A
Salida	Voltaje sistema	12/24V Auto				48V			
	Desconexión por alto voltaje	16.00V x 1/ x 2/ x 3/ x 4 (0.5V)							
	Intensidad descarga nominal	10A	20A	30A	40A	50A	60A	50A	60A
	Autoconsumo	≤13mA				≤25mA			
	Caída de tensión circuito carga	≤0.24V				≤0.25V			
	Caída de tensión circuito descarga	≤0.10V				≤0.10V			
	Modo de carga	PWM 4-etapas carga, absorción, flotación, ecualización							
	Voltaje Carga Flotación	13.8V (13V~15V) x 1/ x 2/ x 3/ x 4							
	Voltaje Carga Absorción	2 horas duración	14.4V (13V~15V) x 1/ x 2/ x 3/ x 4						
	Voltaje Carga Ecualización		14.6V (13V~15.5V) x 1/ x 2/ x 3/ x 4						
	Protección Bajo Voltaje	10.7V (10V~14V) x 1/ x 2/ x 3/ x 4							
	Reconexión Bajo Voltaje	12.6V (10V~14V) x 1/ x 2/ x 3/ x 4							
	Salida USB	5V, 1A x2			No tiene				
	Características físicas	Sección cableado	≤6mm ²	≤16mm ²	≤16mm ²	≤16mm ²			
Temperatura trabajo		-20°C~55°C							
Tamaño (L x W x H)		188 x 95 x 46.5mm		196 x 111 x 54mm					
Peso neto		355g		407g					

Evidencias fotográficas de las mediciones realizadas



Instalación de los equipos y conexión para la recolección de datos



Controladores de carga conectados a sus respectivas cargas en corriente continua



Controlador de carga para panel monocristalino



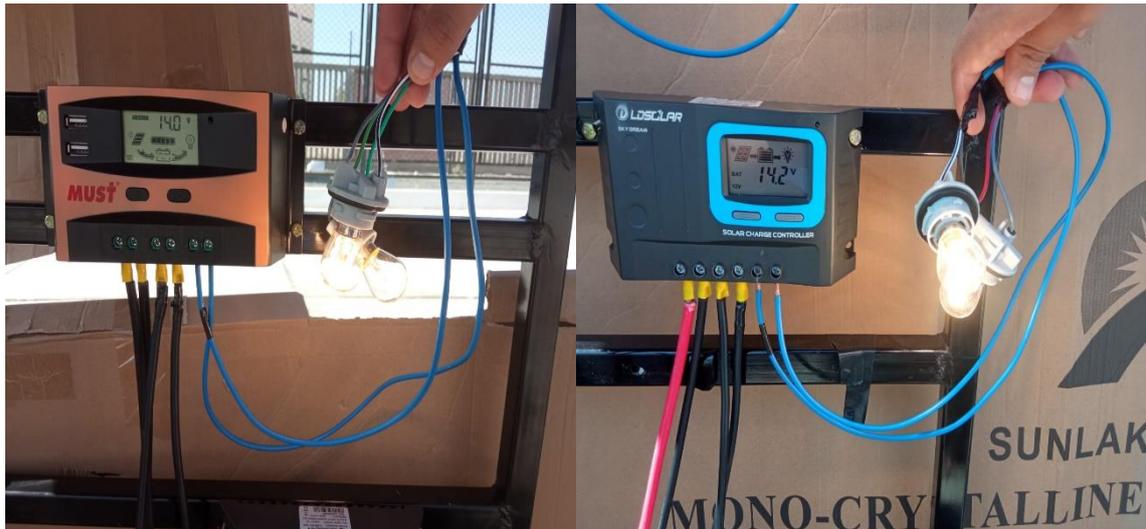
Controlador de carga para panel policristalino



Medición del voltaje de los paneles fotovoltaicos en investigación



Medición de la corriente de los paneles fotovoltaicos en investigación

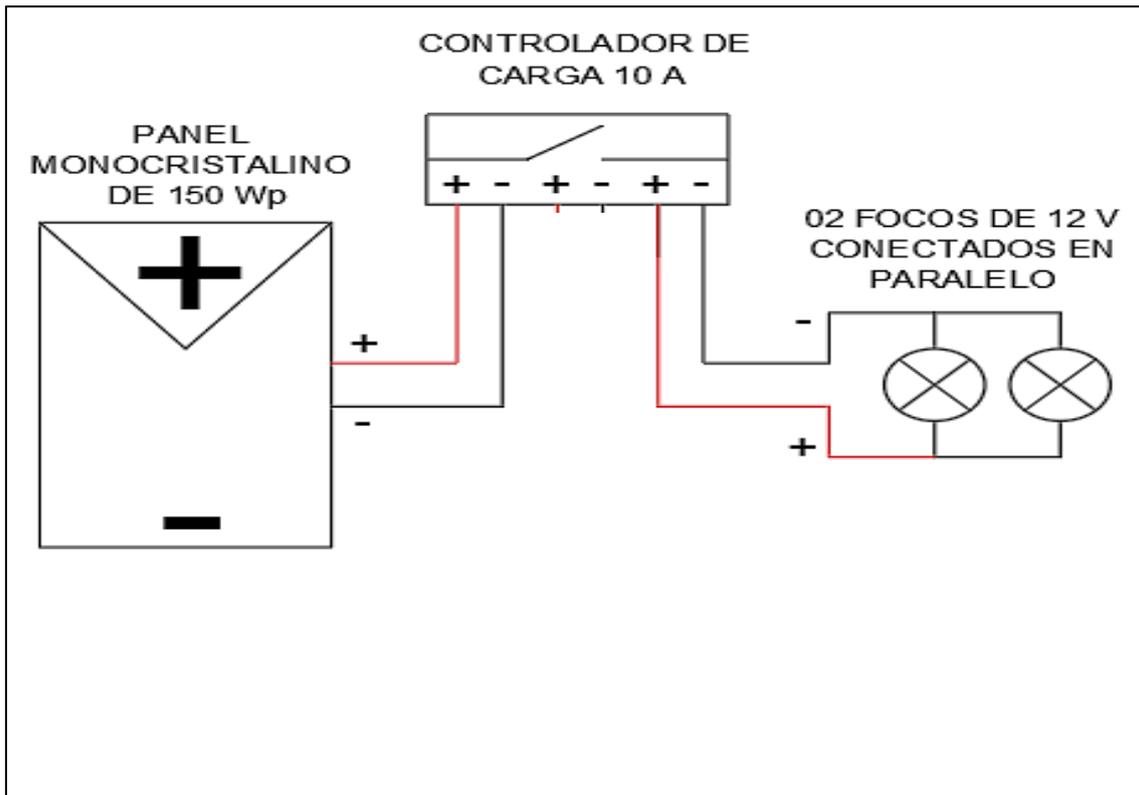


Conexión de cada controlador de carga con su respectiva carga de 02 focos conectados en paralelo, a la izquierda sistema con panel monocristalino, a la derecha sistema con panel policristalino.

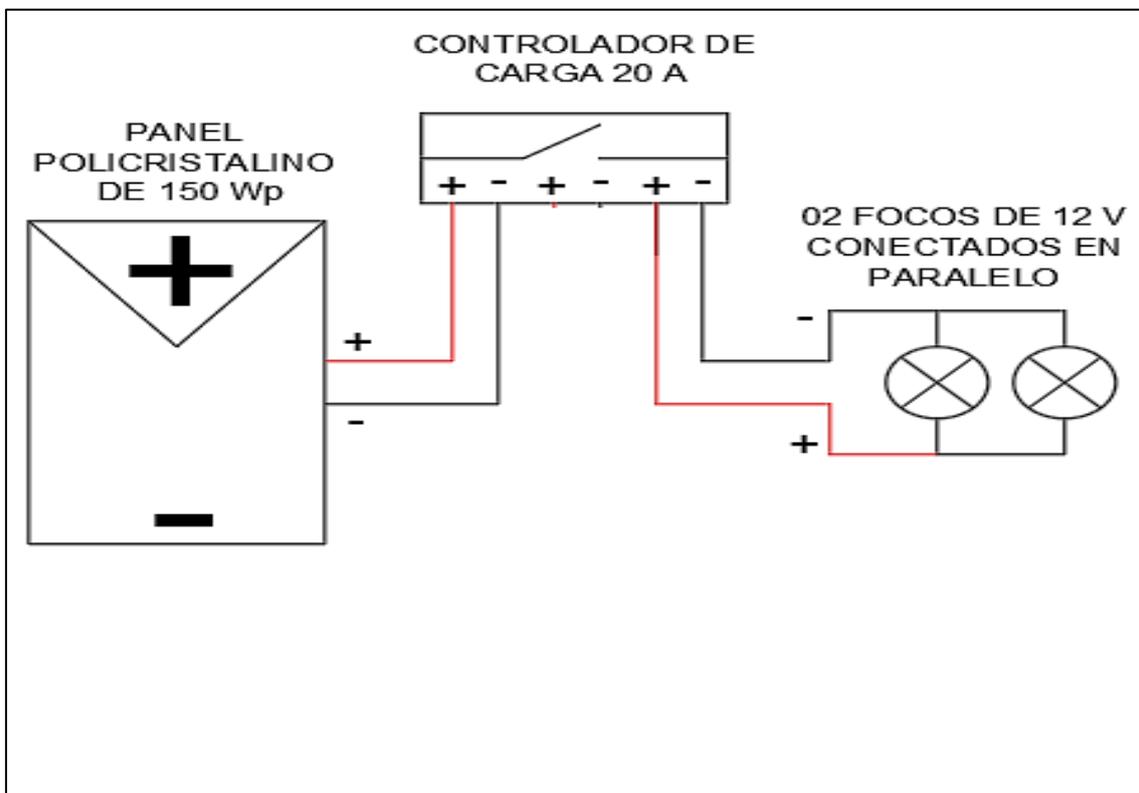


Sistemas con carga de 02 focos conectados en paralelo, a la izquierda sistema con panel monocristalino, a la derecha sistema con panel policristalino.

Esquema de conexión de los sistemas



Conexión de sistema con un módulo fotovoltaico monocristalino



Conexión de sistema con un módulo fotovoltaico policristalino

Cuadros de mediciones diarias

Medición fecha lunes 29-05-2023 de 8 am a 2 pm

Hora	Radiación	Temperatura	<u>PANEL MONOCRISTALINO</u>				<u>PANEL POLICRISTALINO</u>			
	W/m ²	°C	V (V)	I (A)	P (W)	η (%)	V (V)	I (A)	P (W)	η (%)
08:00	290	22	14,77	3,07	45,35	15,55%	16,45	2,08	34,14	11,79%
08:10	322	23	14,73	3,16	46,46	14,35%	16,54	2,13	35,28	10,98%
08:20	363	23	14,92	3,16	47,09	12,89%	16,65	2,14	35,72	9,85%
08:30	403	23	15,41	3,22	49,55	12,23%	16,43	2,20	36,20	9,00%
08:40	440	23	15,14	3,26	49,33	11,13%	16,28	2,55	41,52	9,44%
08:50	355	23	14,73	3,17	46,72	13,08%	16,70	2,13	35,63	10,05%
09:00	365	23	15,34	3,17	48,68	13,25%	16,76	2,14	35,96	9,86%
09:10	378	24	15,55	3,17	49,33	12,97%	16,83	2,14	36,09	9,56%
09:20	455	24	16,25	3,26	52,95	11,56%	16,76	2,32	38,86	8,55%
09:30	555	24	16,47	3,26	53,65	9,61%	16,60	2,20	36,57	6,60%
09:40	631	24	16,52	3,26	53,82	8,47%	16,44	2,38	39,07	6,20%
09:50	657	24	16,25	3,34	54,33	8,22%	16,90	2,17	36,73	5,60%
10:00	672	25	16,36	3,34	54,70	8,09%	16,32	2,26	36,90	5,50%
10:10	703	25	16,41	3,34	54,87	7,75%	16,76	2,20	36,93	5,26%
10:20	724	25	16,71	3,52	58,75	8,06%	16,81	2,20	37,02	5,12%
10:30	743	25	16,57	3,34	55,43	7,42%	16,70	2,26	37,76	5,09%
10:40	760	25	16,22	3,43	55,63	7,27%	16,87	2,26	38,15	5,03%
10:50	775	26	16,32	3,43	55,98	7,17%	16,60	2,32	38,49	4,97%
11:00	792	26	16,47	3,43	56,47	7,08%	16,70	2,32	38,73	4,89%
11:10	801	26	16,57	3,43	56,85	7,05%	16,70	2,32	38,73	4,84%
11:20	811	26	16,68	3,43	57,22	7,01%	16,77	2,32	38,90	4,80%
11:30	820	26	16,28	3,52	57,23	6,94%	16,81	2,32	38,97	4,76%
11:40	826	27	16,79	3,43	57,60	6,93%	16,81	2,32	38,97	4,72%
11:50	831	27	16,92	3,43	58,02	6,93%	16,90	2,32	39,18	4,72%
12:00	845	27	17,68	3,43	60,64	7,13%	16,81	2,38	39,94	4,73%
12:10	836	27	16,78	3,52	58,99	7,01%	16,80	2,38	39,92	4,78%
12:20	836	27	17,10	3,52	60,12	7,14%	16,81	2,38	39,94	4,78%
12:30	834	28	17,50	3,77	66,03	7,86%	16,91	2,32	39,20	4,70%
12:40	831	28	17,55	3,77	66,21	7,92%	16,91	2,32	39,20	4,72%
12:50	825	28	16,79	3,43	57,60	6,93%	16,81	2,32	38,97	4,73%
13:00	824	28	16,75	3,43	57,46	6,93%	16,81	2,32	38,97	4,73%
13:10	810	28	16,68	3,43	57,22	7,02%	16,76	2,32	38,87	4,81%
13:20	799	29	16,48	3,43	56,52	7,03%	16,70	2,32	38,73	4,85%
13:30	787	29	16,36	3,43	56,10	7,08%	16,65	2,32	38,62	4,91%
13:40	773	29	16,25	3,43	55,73	7,16%	16,54	2,32	38,36	4,97%
13:50	757	29	16,21	3,43	55,60	7,29%	16,81	2,26	37,99	5,02%
14:00	732	29	16,15	3,43	55,39	7,52%	16,78	2,55	42,80	5,85%

Medición fecha martes 30-05-2023 de 8 am a 2 pm

Hora	Radiación	Temperatura	<u>PANEL MONOCRISTALINO</u>				<u>PANEL POLICRISTALINO</u>			
	W/m ²	°C	V (V)	I (A)	P (W)	η (%)	V (V)	I (A)	P (W)	η (%)
08:00	281	21	13,58	2,79	37,87	13,38%	15,66	2,07	32,44	11,54%
08:10	312	21	14,25	2,71	38,66	12,30%	15,83	2,13	33,70	10,80%
08:20	353	21	14,29	2,80	40,06	11,28%	15,82	2,14	33,86	9,61%
08:30	392	21	14,86	2,79	41,44	10,51%	15,36	2,13	32,70	8,36%
08:40	429	22	14,97	2,80	41,97	9,72%	16,30	2,14	34,89	8,14%
08:50	464	22	15,24	2,80	42,73	9,14%	16,61	2,17	36,04	7,77%
09:00	485	22	15,26	2,84	43,36	8,89%	16,63	2,14	35,60	7,35%
09:10	530	22	16,05	2,88	46,21	8,66%	16,60	2,55	42,26	7,98%
09:20	561	22	16,20	2,88	46,65	8,27%	16,57	2,55	42,18	7,53%
09:30	589	23	16,86	2,96	49,82	8,40%	16,72	2,37	39,66	6,74%
09:40	616	23	16,51	3,03	50,04	8,07%	16,21	2,31	37,51	6,10%
09:50	641	23	16,01	2,96	47,31	7,33%	16,94	2,31	39,20	6,12%
10:00	656	23	16,62	3,03	50,37	7,63%	16,96	2,37	40,23	6,14%
10:10	687	23	16,06	2,96	47,46	6,87%	16,44	2,37	39,00	5,69%
10:20	707	24	16,09	2,96	47,55	6,68%	16,27	2,31	37,65	5,33%
10:30	725	24	16,80	3,03	50,92	6,98%	16,69	2,31	38,62	5,33%
10:40	742	24	16,74	2,88	48,20	6,46%	16,54	2,37	39,23	5,29%
10:50	757	24	16,17	3,03	49,01	6,43%	16,78	2,31	38,83	5,14%
11:00	774	24	16,35	3,03	49,56	6,36%	16,12	2,31	37,30	4,83%
11:10	782	24	16,46	3,03	49,89	6,34%	16,63	2,31	38,49	4,93%
11:20	765	25	16,29	3,03	49,37	6,41%	16,07	2,26	36,26	4,75%
11:30	800	25	16,71	3,03	50,65	6,29%	16,88	2,31	39,06	4,89%
11:40	806	25	16,74	3,03	50,74	6,25%	16,64	2,20	36,58	4,54%
11:50	811	25	16,40	3,33	54,68	6,70%	16,39	2,31	37,93	4,68%
12:00	755	25	16,16	3,03	48,98	6,45%	16,23	2,26	36,62	4,86%
12:10	816	26	15,85	3,33	52,84	6,44%	16,66	2,20	36,63	4,50%
12:20	815	26	16,75	3,11	52,04	6,34%	16,18	2,26	36,51	4,48%
12:30	813	26	16,60	3,11	51,57	6,30%	16,08	2,31	37,21	4,58%
12:40	810	26	16,78	3,03	50,86	6,24%	16,47	2,31	38,11	4,71%
12:50	752	26	16,06	3,03	48,68	6,43%	16,44	2,20	36,14	4,81%
13:00	803	27	16,74	3,03	50,74	6,28%	16,84	2,26	38,00	4,74%
13:10	788	27	16,66	3,03	50,50	6,37%	16,32	2,31	37,77	4,80%
13:20	777	27	16,00	3,11	49,71	6,35%	16,61	2,31	38,44	4,95%
13:30	765	27	16,29	3,03	49,37	6,41%	16,88	2,31	39,06	5,11%
13:40	751	27	16,52	3,11	51,32	6,79%	16,91	2,31	39,13	5,21%
13:50	736	27	16,66	3,10	51,65	6,98%	16,85	2,31	38,99	5,31%
14:00	711	28	16,77	3,03	50,83	7,11%	16,78	2,20	36,89	5,20%

Medición fecha miércoles 31-05-2023 de 8 am a 2 pm

Hora	Radiación	Temperatura	<u>PANEL MONOCRISTALINO</u>				<u>PANEL POLICRISTALINO</u>			
	W/m ²	°C	V (V)	I (A)	P (W)	η (%)	V (V)	I (A)	P (W)	η (%)
08:00	360	21	15,27	3,05	46,57	12,86%	15,99	1,65	26,43	7,36%
08:10	388	21	15,70	3,21	50,40	12,92%	15,78	1,74	27,45	7,09%
08:20	415	21	15,64	3,50	54,76	13,10%	15,40	1,90	29,23	7,04%
08:30	443	21	15,94	3,48	55,51	12,44%	15,95	1,89	30,11	6,80%
08:40	471	22	15,59	3,50	54,59	11,51%	15,46	1,90	29,34	6,24%
08:50	499	22	16,48	3,55	58,48	11,65%	16,71	1,92	32,14	6,45%
09:00	527	22	16,60	3,50	58,12	10,96%	16,09	1,90	30,53	5,80%
09:10	545	22	16,58	3,66	60,68	11,06%	16,88	1,98	33,49	6,15%
09:20	585	22	16,20	3,65	59,13	10,04%	16,81	1,98	33,26	5,69%
09:30	611	22	16,92	3,88	65,65	10,68%	16,57	2,10	34,84	5,71%
09:40	651	22	16,13	3,79	61,06	9,32%	16,95	2,05	34,77	5,35%
09:50	663	22	16,53	3,79	62,57	9,38%	16,95	2,05	34,77	5,25%
10:00	695	23	16,41	3,88	63,67	9,10%	16,56	2,10	34,82	5,02%
10:10	724	23	16,04	3,88	62,23	8,54%	16,47	2,10	34,63	4,79%
10:20	742	23	16,66	3,60	59,91	8,02%	16,96	1,95	33,06	4,46%
10:30	770	23	16,85	3,79	63,78	8,23%	16,58	2,05	34,02	4,42%
10:40	790	23	16,49	3,79	62,42	7,85%	16,02	2,05	32,87	4,17%
10:50	810	23	16,93	3,79	64,08	7,86%	16,66	2,05	34,18	4,22%
11:00	825	23	16,76	3,79	63,44	7,64%	16,57	2,05	34,00	4,13%
11:10	830	23	16,59	3,79	62,80	7,52%	16,99	2,05	34,86	4,20%
11:20	842	23	16,73	3,79	63,33	7,47%	16,88	2,05	34,63	4,12%
11:30	847	24	16,93	3,69	62,48	7,33%	16,41	2,00	32,83	3,88%
11:40	852	24	16,39	3,60	58,94	6,87%	16,39	1,95	31,94	3,75%
11:50	856	24	16,69	3,69	61,60	7,15%	16,88	2,00	33,77	3,95%
12:00	854	24	16,44	3,79	62,23	7,24%	16,68	2,05	34,22	4,01%
12:10	860	24	16,88	3,60	60,70	7,01%	16,86	1,95	32,86	3,83%
12:20	856	24	16,28	3,79	61,62	7,15%	16,66	2,05	34,18	4,00%
12:30	852	24	16,58	3,79	62,76	7,32%	16,13	2,05	33,09	3,89%
12:40	798	24	16,33	3,69	60,27	7,50%	16,35	2,00	32,71	4,10%
12:50	834	24	16,02	3,79	60,64	7,22%	16,45	2,05	33,75	4,05%
13:00	831	25	16,85	3,79	63,78	7,63%	16,75	2,05	34,36	4,14%
13:10	816	25	16,90	3,69	62,37	7,59%	16,05	2,00	32,10	3,94%
13:20	809	25	16,06	3,79	60,79	7,47%	16,62	2,05	34,10	4,22%
13:30	797	25	16,54	3,60	59,48	7,42%	16,86	1,95	32,86	4,13%
13:40	777	25	16,90	3,88	65,57	8,39%	16,90	2,10	35,54	4,58%
13:50	762	25	16,69	3,79	63,18	8,24%	16,85	2,05	34,57	4,54%
14:00	740	25	16,05	3,79	60,75	8,16%	16,90	2,05	34,67	4,69%

Medición fecha jueves 01-06-2023 de 8 am a 2 pm

Hora	Radiación	Temperatura	<u>PANEL MONOCRISTALINO</u>				<u>PANEL POLICRISTALINO</u>			
	W/m ²	°C	V (V)	I (A)	P (W)	η (%)	V (V)	I (A)	P (W)	η (%)
08:00	378	24	13,15	3,20	42,08	11,07%	14,76	2,30	33,95	9,00%
08:10	407	24	14,25	3,35	47,74	11,66%	14,85	2,66	39,50	9,72%
08:20	436	24	14,65	3,40	49,81	11,35%	14,24	2,67	38,09	8,74%
08:30	465	24	14,45	3,52	50,86	10,86%	14,05	2,66	37,37	8,04%
08:40	495	25	14,65	3,70	54,21	10,89%	14,24	2,67	38,09	7,71%
08:50	524	25	14,55	3,75	54,56	10,35%	14,14	2,71	38,33	7,32%
09:00	553	25	14,67	3,70	54,28	9,75%	14,26	2,67	38,14	6,90%
09:10	572	25	15,02	3,50	52,57	9,13%	14,60	3,18	46,44	8,12%
09:20	614	25	15,41	3,78	58,25	9,42%	14,07	3,18	44,76	7,30%
09:30	642	25	15,16	3,80	57,61	8,92%	14,71	2,96	43,58	6,80%
09:40	684	26	15,47	4,00	61,88	9,00%	15,01	2,89	43,39	6,35%
09:50	696	26	15,68	4,00	62,72	8,95%	15,21	2,89	43,98	6,32%
10:00	730	26	15,86	4,10	65,03	8,85%	15,38	2,96	45,59	6,25%
10:10	760	26	16,08	4,10	65,93	8,62%	15,51	2,96	45,97	6,05%
10:20	779	26	16,24	3,80	61,71	7,87%	15,75	2,75	43,27	5,56%
10:30	809	26	16,40	4,00	65,60	8,06%	15,91	2,89	46,00	5,70%
10:40	830	27	16,59	4,00	66,36	7,95%	16,09	2,89	46,53	5,62%
10:50	851	27	16,47	4,00	65,88	7,70%	15,98	2,89	46,19	5,44%
11:00	866	27	16,60	3,90	64,74	7,43%	16,10	2,82	45,39	5,25%
11:10	872	27	16,50	4,00	66,00	7,52%	16,01	2,89	46,28	5,32%
11:20	884	27	16,50	4,00	66,00	7,42%	16,01	2,89	46,28	5,24%
11:30	889	27	16,40	3,90	63,96	7,15%	15,91	2,82	44,85	5,05%
11:40	895	28	16,40	4,00	65,60	7,29%	15,91	2,89	46,00	5,15%
11:50	899	28	16,30	4,00	65,20	7,21%	16,05	2,82	45,26	5,04%
12:00	897	28	16,30	4,00	65,20	7,22%	15,81	2,89	45,72	5,10%
12:10	903	28	16,30	3,80	61,94	6,82%	15,81	2,75	43,43	4,81%
12:20	899	28	16,55	3,90	64,55	7,14%	15,81	2,89	45,72	5,09%
12:30	895	28	16,40	3,80	62,32	6,92%	15,91	2,75	43,70	4,89%
12:40	886	29	16,50	4,00	66,00	7,40%	16,01	2,89	46,28	5,23%
12:50	876	29	16,50	4,00	66,00	7,49%	16,01	2,89	46,28	5,29%
13:00	873	29	16,60	4,00	66,40	7,56%	16,10	2,89	46,56	5,34%
13:10	857	29	16,49	4,00	65,96	7,65%	16,00	2,89	46,25	5,40%
13:20	849	29	16,40	3,90	63,96	7,48%	15,91	2,82	44,85	5,29%
13:30	837	30	16,46	3,80	62,55	7,43%	15,97	2,75	43,86	5,25%
13:40	816	30	16,52	4,10	67,73	8,25%	16,02	2,96	47,49	5,83%
13:50	800	30	16,35	4,00	65,40	8,12%	15,86	2,89	45,86	5,74%
14:00	777	30	16,15	4,00	64,60	8,26%	15,67	2,89	45,29	5,84%

Medición fecha viernes 02-06-2023 de 8 am a 2 pm

Hora	Radiación	Temperatura	<u>PANEL MONOCRISTALINO</u>				<u>PANEL POLICRISTALINO</u>			
	W/m ²	°C	V (V)	I (A)	P (W)	η (%)	V (V)	I (A)	P (W)	η (%)
08:00	228	21	18,23	0,73	13,40	5,84%	17,34	0,95	16,54	7,26%
08:10	252	21	18,35	0,73	13,49	5,32%	17,75	0,95	16,93	6,73%
08:20	285	21	17,31	0,73	12,72	4,44%	18,77	0,82	15,34	5,39%
08:30	290	21	18,42	0,73	13,54	4,64%	18,97	0,82	15,51	5,36%
08:40	228	22	18,77	0,73	13,79	6,01%	17,54	0,95	16,73	7,35%
08:50	252	22	17,41	0,73	12,80	5,05%	17,56	0,95	16,75	6,66%
09:00	286	22	17,92	0,86	15,36	5,34%	18,87	0,82	15,43	5,40%
09:10	275	22	17,73	0,86	15,20	5,50%	18,66	0,95	17,80	6,49%
09:20	264	22	17,17	0,73	12,62	4,75%	18,36	0,82	15,01	5,69%
09:30	290	22	17,48	0,73	12,85	4,41%	19,07	1,09	20,79	7,18%
09:40	311	22	17,85	0,73	13,12	4,20%	19,28	0,82	15,76	5,08%
09:50	339	23	18,38	0,73	13,51	3,96%	19,47	0,82	15,92	4,70%
10:00	351	23	18,53	0,73	13,61	3,86%	19,74	0,82	16,14	4,61%
10:10	255	23	16,72	0,73	12,29	4,80%	18,05	0,82	14,76	5,80%
10:20	233	23	17,77	0,61	10,88	4,64%	18,54	0,95	17,68	7,61%
10:30	252	23	16,25	0,73	11,94	4,71%	18,75	0,82	15,33	6,10%
10:40	375	23	18,43	0,86	15,80	4,18%	19,78	1,09	21,56	5,75%
10:50	290	24	17,48	0,73	12,85	4,41%	19,28	0,95	18,39	6,35%
11:00	343	24	18,44	0,73	13,55	3,93%	19,56	0,95	18,66	5,45%
11:10	368	24	18,38	0,86	15,76	4,26%	19,65	0,95	18,74	5,10%
11:20	311	24	18,25	0,73	13,41	4,29%	19,28	1,09	21,02	6,77%
11:30	322	24	18,33	0,73	13,47	4,16%	19,38	0,95	18,49	5,75%
11:40	333	24	18,35	0,73	13,49	4,03%	19,38	0,82	15,84	4,77%
11:50	365	24	18,12	0,86	15,53	4,23%	19,70	0,95	18,79	5,16%
12:00	378	25	18,43	0,86	15,80	4,15%	19,89	1,09	21,68	5,74%
12:10	355	25	18,60	0,73	13,67	3,82%	19,76	0,82	16,15	4,55%
12:20	350	25	18,47	0,73	13,57	3,86%	19,64	1,09	21,40	6,13%
12:30	358	25	17,20	0,86	14,74	4,09%	19,85	0,82	16,23	4,54%
12:40	356	25	18,76	0,73	13,79	3,85%	19,69	0,95	18,78	5,28%
12:50	366	25	18,19	0,86	15,60	4,24%	19,78	1,09	21,56	5,90%
13:00	290	25	17,61	0,73	12,94	4,44%	19,28	0,82	15,76	5,45%
13:10	365	26	17,58	0,86	15,07	4,10%	19,82	0,82	16,20	4,45%
13:20	366	26	18,33	0,86	15,71	4,27%	19,84	1,09	21,63	5,92%
13:30	356	26	18,62	0,73	13,68	3,82%	19,76	0,95	18,85	5,30%
13:40	429	26	18,58	0,86	15,93	3,69%	20,06	1,09	21,87	5,10%
13:50	434	26	18,34	0,98	17,97	4,11%	20,10	0,95	19,18	4,42%
14:00	404	26	18,53	0,86	15,88	3,91%	19,81	0,95	18,89	4,69%

Medición fecha lunes 05-06-2023 de 8 am a 2 pm

Hora	Radiación	Temperatura	<u>PANEL MONOCRISTALINO</u>				<u>PANEL POLICRISTALINO</u>			
	W/m ²	°C	V (V)	I (A)	P (W)	η (%)	V (V)	I (A)	P (W)	η (%)
08:00	306	22	15,29	2,50	38,23	12,41%	15,55	2,20	34,21	11,19%
08:10	294	22	15,19	2,60	39,49	13,33%	15,81	2,35	37,15	12,63%
08:20	340	22	15,81	2,70	42,69	12,49%	15,12	2,22	33,57	9,90%
08:30	383	22	15,51	3,17	49,18	12,76%	15,51	2,21	34,27	8,96%
08:40	424	22	15,26	3,27	49,96	11,70%	15,46	2,22	34,32	8,10%
08:50	464	22	15,46	3,27	50,62	10,85%	15,63	2,38	37,20	8,03%
09:00	501	23	15,11	3,19	48,18	9,55%	15,61	2,40	37,46	7,48%
09:10	537	23	15,15	3,19	48,30	8,94%	15,72	2,41	37,89	7,07%
09:20	571	23	15,01	3,23	48,48	8,44%	15,77	2,25	35,49	6,23%
09:30	602	23	15,48	3,36	52,02	8,58%	15,83	2,23	35,30	5,87%
09:40	632	23	15,87	3,36	53,33	8,38%	15,84	2,29	36,27	5,74%
09:50	661	23	15,92	3,27	52,12	7,84%	15,25	2,38	36,30	5,50%
10:00	687	23	15,19	3,45	52,35	7,57%	15,90	2,30	36,56	5,33%
10:10	711	24	16,06	3,27	52,58	7,35%	15,07	2,43	36,63	5,16%
10:20	733	24	16,32	3,45	56,25	7,62%	15,77	2,49	39,27	5,36%
10:30	754	24	16,44	3,45	56,66	7,47%	15,96	2,35	37,51	4,98%
10:40	773	24	16,50	3,45	56,87	7,31%	15,09	2,50	37,73	4,89%
10:50	789	24	16,62	3,45	57,28	7,21%	15,73	2,57	40,43	5,13%
11:00	804	24	16,20	3,36	54,44	6,73%	15,96	2,41	38,47	4,79%
11:10	817	25	16,50	3,53	58,29	7,09%	15,94	2,43	38,74	4,75%
11:20	828	25	16,97	3,45	58,49	7,02%	15,93	2,64	42,06	5,08%
11:30	837	25	16,01	3,45	55,18	6,55%	15,96	2,48	39,59	4,73%
11:40	844	25	16,20	3,45	55,83	6,57%	15,18	2,64	40,07	4,75%
11:50	850	25	16,85	3,45	58,07	6,79%	16,03	2,52	40,39	4,76%
12:00	853	25	16,75	3,79	63,50	7,39%	16,04	2,58	41,38	4,85%
12:10	855	25	16,69	3,45	57,52	6,69%	16,93	2,69	45,54	5,33%
12:20	854	26	16,87	3,79	63,96	7,44%	16,52	2,70	44,60	5,23%
12:30	852	26	16,92	3,45	58,31	6,80%	16,75	2,61	43,72	5,14%
12:40	848	26	16,94	3,53	59,84	7,01%	16,03	2,52	40,39	4,77%
12:50	842	26	16,10	3,45	55,49	6,55%	16,72	2,70	45,14	5,37%
13:00	834	26	16,60	3,53	58,64	6,98%	16,12	2,61	42,07	5,05%
13:10	824	26	16,50	3,53	58,29	7,03%	16,15	2,60	41,99	5,10%
13:20	813	26	16,82	3,45	57,97	7,09%	16,94	2,43	41,16	5,07%
13:30	799	27	16,69	3,45	57,52	7,15%	16,57	2,44	40,43	5,07%
13:40	784	27	16,59	3,45	57,18	7,25%	16,22	2,48	40,23	5,14%
13:50	766	27	16,87	3,36	56,69	7,35%	16,92	2,52	42,64	5,57%
14:00	747	27	16,43	3,45	56,63	7,53%	16,80	2,35	39,48	5,29%

Medición fecha martes 06-06-2023 de 8 am a 2 pm

Hora	Radiación	Temperatura	<u>PANEL MONOCRISTALINO</u>				<u>PANEL POLICRISTALINO</u>			
	W/m ²	°C	V (V)	I (A)	P (W)	η (%)	V (V)	I (A)	P (W)	η (%)
08:00	227	21	16,39	0,67	10,98	4,81%	19,77	0,92	18,19	8,02%
08:10	327	21	16,43	0,84	13,80	4,19%	19,99	0,90	18,00	5,51%
08:20	231	21	16,65	0,66	10,99	4,73%	19,10	0,97	18,52	8,03%
08:30	241	21	16,06	0,68	10,92	4,50%	19,30	0,98	18,92	7,86%
08:40	301	22	18,85	0,69	13,01	4,29%	20,05	0,99	19,85	6,60%
08:50	379	22	18,60	0,80	14,88	3,90%	19,97	1,04	20,77	5,49%
09:00	375	22	17,36	0,81	14,06	3,73%	20,35	1,01	20,55	5,49%
09:10	349	22	16,57	0,77	12,76	3,63%	19,61	1,04	20,40	5,85%
09:20	383	23	16,45	0,81	13,32	3,46%	20,02	1,04	20,82	5,44%
09:30	249	23	16,96	0,66	11,19	4,47%	19,51	0,98	19,12	7,69%
09:40	300	23	16,30	0,71	11,57	3,83%	20,02	0,98	19,61	6,55%
09:50	246	23	16,69	0,70	11,68	4,72%	18,88	1,01	19,07	7,76%
10:00	235	24	17,78	0,60	10,67	4,51%	19,51	0,95	18,53	7,90%
10:10	352	24	17,20	0,84	14,45	4,08%	19,51	1,05	20,48	5,83%
10:20	339	24	17,80	0,80	14,24	4,17%	18,99	1,07	20,32	6,00%
10:30	251	24	17,04	0,66	11,25	4,45%	20,30	0,95	19,29	7,69%
10:40	259	24	17,05	0,71	12,11	4,64%	18,58	1,05	19,51	7,54%
10:50	258	25	17,72	0,64	11,34	4,37%	19,87	0,98	19,47	7,56%
11:00	256	25	17,98	0,63	11,33	4,40%	19,99	0,97	19,39	7,58%
11:10	293	25	17,17	0,72	12,36	4,19%	20,13	0,97	19,52	6,67%
11:20	213	25	17,81	0,67	11,93	5,57%	19,78	0,98	19,38	9,11%
11:30	240	26	17,60	0,73	12,85	5,32%	19,86	1,04	20,65	8,62%
11:40	301	26	17,59	0,75	13,19	4,36%	19,71	1,01	19,90	6,62%
11:50	368	26	17,92	0,82	14,69	3,97%	19,92	1,03	20,52	5,58%
12:00	312	26	17,91	0,74	13,25	4,22%	19,88	1,01	20,08	6,44%
12:10	384	27	18,74	0,81	15,18	3,93%	19,93	1,05	20,93	5,46%
12:20	203	27	18,72	0,61	11,42	5,59%	18,27	0,95	17,36	8,56%
12:30	317	27	18,79	0,73	13,72	4,30%	19,20	1,05	20,16	6,37%
12:40	316	27	18,37	0,83	15,25	4,79%	19,51	1,03	20,09	6,37%
12:50	249	28	18,81	0,63	11,85	4,73%	19,54	1,08	21,10	8,48%
13:00	331	28	18,01	0,82	14,77	4,43%	19,85	1,01	20,05	6,06%
13:10	257	28	18,43	0,65	11,98	4,63%	19,61	0,99	19,42	7,56%
13:20	215	28	18,30	0,67	12,26	5,67%	19,96	0,97	19,36	9,02%
13:30	203	29	18,85	0,65	12,25	6,00%	19,75	0,98	19,36	9,55%
13:40	333	29	18,23	0,82	14,95	4,46%	20,09	1,01	20,29	6,10%
13:50	317	29	18,80	0,73	13,72	4,30%	19,80	1,02	20,19	6,38%
14:00	393	29	18,94	0,84	15,91	4,02%	20,06	1,10	22,06	5,62%

Medición fecha miércoles 07-06-2023 de 8 am a 2 pm

Hora	Radiación	Temperatura	<u>PANEL MONOCRISTALINO</u>				<u>PANEL POLICRISTALINO</u>			
	W/m ²	°C	V (V)	I (A)	P (W)	η (%)	V (V)	I (A)	P (W)	η (%)
08:00	300	22	14,28	2,54	36,28	12,02%	15,18	1,97	29,91	9,98%
08:10	305	22	14,39	2,68	38,58	12,57%	15,27	1,97	30,08	9,87%
08:20	401	22	14,79	3,12	46,14	11,43%	15,64	2,02	31,60	7,89%
08:30	405	22	14,20	3,08	43,74	10,73%	15,28	2,07	31,63	7,82%
08:40	390	22	14,92	3,09	46,10	11,73%	15,66	1,98	31,01	7,95%
08:50	500	23	15,07	3,26	49,14	9,77%	15,83	2,05	32,45	6,50%
09:00	462	23	14,56	3,27	47,61	10,24%	16,09	1,98	31,87	6,91%
09:10	495	23	14,97	3,28	49,11	9,86%	15,72	2,05	32,23	6,52%
09:20	526	23	14,29	3,44	49,17	9,29%	15,49	2,10	32,52	6,19%
09:30	556	24	14,60	3,37	49,19	8,80%	16,64	1,97	32,79	5,91%
09:40	423	24	14,22	3,11	44,22	10,39%	15,69	2,03	31,85	7,54%
09:50	610	24	14,72	3,35	49,33	8,04%	15,50	2,12	32,85	5,40%
10:00	634	24	14,61	3,40	49,66	7,78%	16,40	2,01	32,96	5,21%
10:10	656	25	14,20	3,27	46,43	7,03%	16,79	2,09	35,09	5,35%
10:20	677	25	14,93	3,34	49,86	7,31%	16,35	2,02	33,03	4,88%
10:30	696	25	14,61	3,46	50,54	7,21%	16,37	2,16	35,36	5,08%
10:40	714	25	14,58	3,55	51,75	7,21%	16,16	2,20	35,55	4,99%
10:50	729	25	14,36	3,65	52,41	7,14%	16,63	2,01	33,43	4,59%
11:00	743	26	14,71	3,58	52,65	7,04%	16,29	2,19	35,68	4,81%
11:10	678	26	14,53	3,45	50,14	7,35%	16,10	2,19	35,26	5,21%
11:20	765	26	15,96	3,34	53,31	6,92%	16,37	2,06	33,72	4,41%
11:30	774	26	15,85	3,59	56,90	7,31%	16,50	2,05	33,82	4,38%
11:40	781	27	15,30	3,49	53,41	6,80%	16,15	2,11	34,08	4,37%
11:50	786	27	15,05	3,58	53,86	6,81%	16,10	2,16	34,78	4,43%
12:00	789	27	15,11	3,62	54,70	6,89%	16,55	2,19	36,23	4,60%
12:10	790	27	15,81	3,30	52,17	6,56%	16,63	2,19	36,43	4,61%
12:20	790	27	15,30	3,64	55,70	7,01%	16,57	2,19	36,28	4,60%
12:30	788	28	16,03	3,40	54,51	6,87%	16,63	2,13	35,43	4,50%
12:40	784	28	15,03	3,57	53,65	6,80%	16,54	2,09	34,56	4,41%
12:50	779	28	15,17	3,52	53,38	6,81%	16,75	2,15	36,01	4,63%
13:00	772	28	15,59	3,63	56,59	7,29%	16,57	2,04	33,79	4,38%
13:10	763	29	15,60	3,65	56,94	7,42%	16,33	2,19	35,76	4,69%
13:20	752	29	15,61	3,64	56,82	7,51%	16,04	2,09	33,53	4,46%
13:30	739	29	15,26	3,45	52,64	7,07%	16,57	2,02	33,46	4,53%
13:40	715	29	15,45	3,58	55,31	7,69%	16,55	2,02	33,42	4,68%
13:50	709	30	15,42	3,54	54,59	7,65%	16,44	2,02	33,20	4,69%
14:00	691	30	15,12	3,32	50,20	7,21%	16,69	2,11	35,22	5,10%

Medición fecha jueves 08-06-2023 de 8 am a 2 pm

Hora	Radiación	Temperatura	<u>PANEL MONOCRISTALINO</u>				<u>PANEL POLICRISTALINO</u>			
	W/m ²	°C	V (V)	I (A)	P (W)	η (%)	V (V)	I (A)	P (W)	η (%)
08:00	317	22	17,75	0,84	14,91	4,67%	19,35	1,05	20,32	6,42%
08:10	256	22	18,26	0,77	14,06	5,46%	19,27	0,96	18,50	7,23%
08:20	385	22	18,29	0,84	15,37	3,97%	19,52	1,10	21,47	5,58%
08:30	230	22	18,87	0,60	11,32	4,89%	18,48	0,95	17,56	7,64%
08:40	219	22	17,65	0,60	10,59	4,80%	18,58	0,99	18,39	8,41%
08:50	293	22	17,68	0,73	12,91	4,38%	19,54	1,01	19,73	6,74%
09:00	240	22	17,13	0,75	12,85	5,32%	18,30	1,02	18,67	7,79%
09:10	257	22	17,47	0,61	10,66	4,12%	19,44	0,98	19,05	7,42%
09:20	264	23	17,37	0,63	10,94	4,12%	18,58	1,03	19,14	7,26%
09:30	244	23	17,89	0,68	12,17	4,95%	18,08	1,06	19,16	7,86%
09:40	391	23	17,30	0,82	14,19	3,61%	19,76	1,10	21,74	5,57%
09:50	380	23	17,51	0,77	13,48	3,53%	18,99	1,13	21,46	5,65%
10:00	358	23	17,15	0,84	14,41	4,00%	19,48	1,08	21,04	5,88%
10:10	360	23	17,53	0,85	14,90	4,11%	18,69	1,14	21,30	5,92%
10:20	298	23	18,94	0,72	13,64	4,55%	19,09	1,04	19,85	6,67%
10:30	321	23	18,96	0,75	14,22	4,40%	19,09	1,08	20,61	6,43%
10:40	357	23	18,11	0,84	15,21	4,23%	19,55	1,07	20,92	5,87%
10:50	291	24	18,24	0,66	12,04	4,11%	19,46	1,01	19,65	6,76%
11:00	254	24	18,03	0,73	13,16	5,15%	18,08	1,01	18,26	7,20%
11:10	218	24	18,85	0,62	11,69	5,33%	18,48	0,98	18,11	8,32%
11:20	210	24	18,25	0,64	11,68	5,53%	18,78	0,95	17,84	8,51%
11:30	277	24	19,12	0,66	12,62	4,53%	19,39	1,01	19,58	7,08%
11:40	319	24	18,63	0,84	15,65	4,87%	19,40	1,05	20,37	6,39%
11:50	316	24	18,08	0,77	13,92	4,38%	19,51	1,04	20,29	6,43%
12:00	358	24	18,46	0,79	14,58	4,05%	19,34	1,09	21,08	5,89%
12:10	256	24	19,26	0,61	11,75	4,56%	18,37	1,03	18,93	7,40%
12:20	395	25	19,33	0,84	16,24	4,09%	19,46	1,15	22,38	5,67%
12:30	253	25	18,41	0,63	11,60	4,55%	19,18	0,95	18,22	7,21%
12:40	269	25	18,54	0,67	12,42	4,59%	19,59	0,99	19,39	7,22%
12:50	297	25	18,71	0,76	14,22	4,76%	18,99	1,04	19,75	6,66%
13:00	307	25	18,81	0,74	13,92	4,50%	19,48	1,04	20,26	6,61%
13:10	292	25	18,42	0,69	12,71	4,32%	19,28	1,14	21,98	7,54%
13:20	393	25	19,32	0,84	16,23	4,10%	19,80	1,13	22,37	5,70%
13:30	301	25	19,52	0,78	15,23	5,03%	19,78	1,13	22,35	7,43%
13:40	301	25	19,48	0,79	15,39	5,08%	18,28	1,15	21,02	6,99%
13:50	354	26	19,09	0,75	14,31	4,02%	18,79	1,07	20,10	5,68%
14:00	333	26	19,31	0,74	14,29	4,26%	18,99	1,10	20,89	6,28%

Medición fecha viernes 09-06-2023 de 8 am a 2 pm

Hora	Radiación	Temperatura	<u>PANEL MONOCRISTALINO</u>				<u>PANEL POLICRISTALINO</u>			
	W/m ²	°C	V (V)	I (A)	P (W)	η (%)	V (V)	I (A)	P (W)	η (%)
08:00	323	22	14,71	3,11	45,73	14,08%	15,31	1,95	29,86	9,26%
08:10	328	22	14,76	3,12	46,05	13,95%	15,33	1,96	30,05	9,17%
08:20	431	22	14,84	3,21	47,62	10,97%	15,88	1,99	31,60	7,33%
08:30	436	22	14,65	3,19	46,73	10,66%	15,25	2,08	31,73	7,29%
08:40	420	22	14,54	3,21	46,67	11,04%	15,52	2,00	31,04	7,40%
08:50	538	23	14,85	3,31	49,17	9,08%	15,99	2,02	32,29	6,01%
09:00	497	23	15,27	3,18	48,56	9,71%	15,80	2,03	32,07	6,46%
09:10	532	23	15,08	3,26	49,15	9,17%	15,95	2,02	32,21	6,06%
09:20	566	23	15,20	3,26	49,54	8,70%	15,48	2,09	32,36	5,72%
09:30	598	23	15,26	3,25	49,60	8,24%	15,65	2,07	32,40	5,43%
09:40	455	23	15,74	3,27	51,47	11,24%	15,44	2,06	31,81	7,00%
09:50	656	24	15,32	3,25	49,78	7,54%	15,43	2,11	32,56	4,97%
10:00	682	24	15,00	3,32	49,81	7,26%	15,53	1,97	30,59	4,49%
10:10	706	24	15,75	3,42	53,87	7,58%	15,85	2,06	32,65	4,63%
10:20	729	24	15,12	3,35	50,66	6,91%	15,91	2,08	33,09	4,55%
10:30	749	24	15,46	3,29	50,85	6,75%	15,82	2,10	33,22	4,44%
10:40	768	25	15,43	3,56	54,93	7,11%	16,80	1,99	33,43	4,36%
10:50	784	25	15,75	3,49	54,97	6,96%	16,73	2,00	33,46	4,27%
11:00	799	25	15,50	3,57	55,34	6,88%	16,73	2,02	33,80	4,23%
11:10	729	25	15,44	3,51	54,19	7,38%	15,42	2,12	32,70	4,49%
11:20	823	25	15,72	3,58	56,28	6,79%	16,51	2,09	34,51	4,20%
11:30	832	26	15,68	3,65	57,23	6,83%	16,85	2,18	36,73	4,42%
11:40	840	26	15,57	3,69	57,45	6,80%	16,56	2,12	35,11	4,19%
11:50	845	26	16,41	3,49	57,27	6,73%	16,71	2,14	35,76	4,24%
12:00	849	26	16,97	3,28	55,68	6,52%	16,81	2,14	35,97	4,24%
12:10	850	26	16,19	3,50	56,67	6,62%	16,70	2,17	36,24	4,27%
12:20	850	26	16,12	3,59	57,87	6,77%	16,80	2,17	36,46	4,29%
12:30	848	27	15,69	3,67	57,58	6,75%	16,66	2,15	35,82	4,23%
12:40	844	27	15,94	3,60	57,38	6,76%	16,21	2,19	35,49	4,21%
12:50	838	27	15,35	3,49	53,58	6,35%	16,25	2,14	34,79	4,16%
13:00	830	27	15,37	3,45	53,03	6,35%	16,60	2,08	34,53	4,16%
13:10	820	27	15,87	3,52	55,86	6,77%	16,71	2,06	34,42	4,20%
13:20	809	28	15,18	3,42	51,91	6,38%	16,73	2,05	34,30	4,24%
13:30	795	28	15,22	3,39	51,61	6,45%	16,80	2,01	33,77	4,25%
13:40	769	28	15,46	3,33	51,47	6,65%	16,31	2,05	33,44	4,35%
13:50	763	28	15,74	3,48	54,78	7,13%	16,26	2,05	33,34	4,38%
14:00	744	28	15,35	3,31	50,82	6,79%	16,64	2,12	35,28	4,75%