

Implementación de una práctica de laboratorio para la evaluación de la eficiencia de paneles fotovoltaicos de diferente tecnología en el laboratorio de energías alternativas de la Escuela de

Ingeniería Mecánica

Bibiana Inés Alba Suarez, Daniel Stiven Pinzón Galvis

Trabajo de Grado para Optar al Título de Ingeniero Mecánico

Director

Julián Ernesto Jaramillo Ibarra

Doctor en Ingeniería de Sistemas Térmica

Universidad Industrial de Santander

Facultad de Físico-Mecánicas

Escuela de Ingeniería Mecánica

Bucaramanga

2023

Dedicatoria

A mi madre, Elvira Galvis Torres; por ser esa gran amiga incondicional, por darme ánimos y consejos cuando más los necesitaba, por la paciencia que me tuvo en esos días de estrés y frustración.

A mi padre, Olinto Pinzón Reyes; por ser ese gran amigo incondicional, brindándome sus conocimientos de vida para dar solución a las situaciones presentadas por los consejos para manejar la situación en esos días difíciles

Daniel Stiven Pinzón Galvis

Dedico este trabajo a mis abuelos Inés Suarez y Miguel Alba, quienes siempre fueron mi mayor apoyo, educadores y fuente de motivación en los momentos de incertidumbre. Aunque no estén presentes físicamente, siempre atesoraré los recuerdos de los momentos compartidos, las enseñanzas, los regaños y el amor incondicional que siempre me brindaron. Gracias por creer en mí y en mi capacidad de lograr mis metas. Este logro es también es de ustedes.

Bibiana Alba

Agradecimientos

Primeramente, doy gracias a Dios por la vida, por los éxitos y las bendiciones dadas para lograr la culminación de esta gran etapa de mi vida, en seguida a mis padres por la confianza depositada para afrontar todas las dificultades presentadas en este camino, por la universidad que siempre quise tener el privilegio de pertenecer.

Les doy gracias a las personas y amigos más cercanos que me dieron una palabra de aliento cuando más la necesite para no desfallecer en el camino y a mi compañera de tesis Bibiana Inés Alba Suárez por su gran comprensión, tolerancia, empatía y confianza para realizar y culminar el trabajo de grado.

De igual manera le doy gracias a nuestro director de tesis el profesor Julián Ernesto Jaramillo por la oportunidad, confianza y acompañamiento durante este proceso.

Daniel Stiven Pinzón Galvis

Agradezco a Dios por todas las bendiciones que he recibido, agradezco a todas las personas que han estado presentes y han formado parte de mi proceso, brindándome su apoyo y amistad en cada uno de los momentos vividos. También un agradecimiento especial a mi compañero Daniel Stiven por su paciencia, compromiso, dedicación y apoyo incondicional, como también a nuestro director, el profesor Julián Ernesto

Jaramillo.

Bibiana Alba

Tabla de Contenido

	Pág.
Introducción	14
1.Objetivos	16
1.1 Objetivo general.....	16
1.2 Objetivos específicos	16
2. Marco teórico	17
2.1 Recursos Energéticos	17
2.1.1 Energía renovable	17
2.1.2 Energías No renovables	19
2.2 Energía solar	20
2.2.1 Tipos de energía solar	20
2.2.2 Radiación Solar	21
2.2.3 Leyes de la radiación solar.....	21
2.2.4 Tipos de radiación solar	22
2.2.5 Parámetros de la radiación solar	24
2.2.6 Radiación sobre superficie inclinada	24
2.2.7 Orientación e inclinación	25
2.3 Energía solar fotovoltaica	26
2.3.1 La celda solar	27
2.3.2 Efecto fotovoltaico.....	28
2.3.3 Parámetros de un panel fotovoltaico.....	29
2.3.4 Efecto de la temperatura sobre el panel solar	32

2.3.5 Conexión paneles fotovoltaicos	34
2.3.6 Elementos de una instalación fotovoltaica Off-Grid	35
2.3.7 Clasificación de paneles fotovoltaicos.....	40
2.3.8 Clasificación de las instalaciones solares fotovoltaicas.....	43
3 Diseño y construcción de banco de pruebas fotovoltaico.....	44
3.1 Diseño del banco de pruebas.....	44
3.2 Selección de los componentes para el banco	45
3.3 Construcción del banco de pruebas.....	49
3.4 Pruebas de funcionamiento del banco.....	50
3.5 Elaboración de guías de laboratorio fotovoltaico	52
3.5.1 Práctica N 1. Caracterización de un módulo solar.....	52
3.5.1 Práctica N 2. Influencia de la conexión serie-paralelo de los módulos solares sobre la corriente-voltaje de salida del sistema	52
3.5.3 Práctica N 3. Influencia de la temperatura sobre los módulos solares.....	53
3.5.4 Práctica N 4. Evaluar el efecto que tiene la variación del ángulo de inclinación en el módulo solar.....	53
4 Toma de datos y análisis de resultados	54
4.1 Datos y análisis de la Curva característica voltaje-potencia y voltaje corriente de los paneles monocristalinos, policristalino y de silicio amorfo.....	54
4.2 Datos y análisis de resultados de la Influencia de la conexión serie-paralelo de los módulos solares sobre la corriente-voltaje de salida del sistema	58
4.3 Datos y análisis de resultados de cómo influye la temperatura en la eficiencia del panel solar.	72

4.4 Datos y análisis de resultados de los paneles solares variando en ángulo de inclinación.	76
4.5 Análisis costo-eficiencia de un sistema fotovoltaico	79
4.6 Diagrama unifilar del sistema fotovoltaico.....	84
5 Conclusiones	87
Bibliografía	89
Lista de apéndices	93

Lista de Tablas

	Pág.
Tabla 1 Datos ángulo optimo según la hora del día.....	51
Tabla 2 Parámetros porcentaje de error de la curva característica panel monocristalino	55
Tabla 3 Parámetros porcentaje de error de la curva característica panel policristalino.....	56
Tabla 4 Variación parámetros curva característica panel silicio amorfo	57
Tabla 5 Datos conexión en paralelo del panel monocristalino-día soleado.....	58
Tabla 6 Datos conexión en paralelo del panel policristalino-día soleado.....	59
Tabla 7 Datos conexión en paralelo del panel amorfo – día soleado.....	59
Tabla 8 Datos conexión en serie del panel policristalino – día soleado	61
Tabla 9 Datos conexión en serie del panel monocristalino – día soleado	61
Tabla 10 Datos conexión en serie del panel amorfo – día soleado.....	61
Tabla 11 Datos conexión en serie del panel policristalino-día nublado.....	65
Tabla 12 Datos conexión en serie del panel monocristalino-día nublado.....	66
Tabla 13 Datos conexión en serie del panel amorfo-día nublado	66
Tabla 14 Conexión paralela del panel policristalino- día nublado.....	66
Tabla 15 Conexión paralela del panel monocristalino- día nublado.....	67
Tabla 16 Conexión paralela del panel amorfo - día nublado	67
Tabla 17 Parámetros a condiciones estándar de cada panel solar.....	73
Tabla 18 Parámetros variación en % de corriente, potencia y voltaje	74
Tabla 19 Parámetros de corriente, potencia y voltaje corregidos	75
Tabla 20 Parámetros teóricos y del fabricante de cada panel solar	75

Tabla 21 Datos para la práctica de variación del ángulo en el módulo monocristalino día soleado.
 76

Tabla 22 Datos para la práctica de variación del ángulo en el módulo policristalino día soleado.
 76

Tabla23 Datos para la práctica de variación del ángulo en el módulo amorfo día soleado..... 77

Tabla 24 Datos panel del panel monocristalino..... 79

Tabla 25 Datos de consumo de dos bombillos y un televisor para el cálculo de la batería
 (requerimientos)..... 79

Tabla 26 Datos del consumo de la red en KWh, precio en Santander del KWh y valores de
 consumo para los módulos monocristalinos. 80

Tabla 27 Datos panel del panel policristalino..... 81

Tabla 28 Datos del consumo de la red en KWh, precio en Santander del KWh y valores de
 consumo para los módulos policristalinos 81

Tabla 29 Precios implementación sistema monocristalino 82

Tabla 30 Precios implementación sistema policristalino..... 82

Tabla 31 Controlador requerido..... 82

Tabla 32 Inversor requerido..... 83

Tabla 33 Datos comparativos..... 83

Lista de Figuras

	Pag.
Figura 1 Componentes de la radiación solar.....	24
Figura 2 Orientación de los módulos fotovoltaicos	26
Figura 3 Estructura de una celda fotovoltaica.....	27
Figura 4 Flujo corriente de electrones	28
Figura 5 Efecto fotovoltaico	29
Figura 6 Curva característica de un panel fotovoltaico	30
Figura 7 Conexión en serie de panel fotovoltaico	34
Figura 8 Conexión en paralelo panel fotovoltaico.....	35
Figura 9 Componentes de una instalación solar fotovoltaica	36
Figura 10 Constitución de un panel solar fotovoltaico	37
Figura 11 Diseño del banco de pruebas	45
Figura 12 Características panel monocristalino.....	46
Figura 13 Características panel policristalino.....	46
Figura 14 Características panel de silicio amorfo.....	47
Figura 15 Especificaciones inversor cobra	47
Figura 16 Especificaciones del controlador PWM SCG 0808.....	48
Figura 17 Especificaciones de la batería.....	48
Figura 18 Valor y caja de resistencias	49
Figura 19 Banco de pruebas.....	49
Figura 20 Estación meteorológica de la escuela Ingeniería Mecánica	50
Figura 21 Gráfico curva característica teórica y experimental del módulo monocristalino	55

Figura 22 Gráfico curva característica teórica - experimental del módulo policristalino.....	56
Figura 23 Gráfico curva característica teórica - experimental del módulo amorfo	57
Figura 24 Gráfico conexión paralela de las tres tecnologías de paneles-día soleado	60
Figura 25 Gráfica conexión serie de las tres tecnologías de paneles-día soleado	62
Figura 26 Gráfico conexión en serie - paralelo del panel policristalino – día soleado	63
Figura 27 Gráfico conexión en serie-paralelo del panel monocristalino – día soleado	64
Figura 28 Gráfico conexión en serie-paralelo del panel amorfo – día soleado	65
Figura 29 Gráfico conexión serie de las tres tecnologías de paneles-día nublado.....	68
Figura 30 Gráfico conexión paralela de las tres tecnologías de paneles-día nublado	68
Figura 31 Gráfico conexión en serie-paralelo del panel policristalino – día nublado	69
Figura 32 Gráfico conexión en serie-paralelo del panel monocristalino – día nublado	70
Figura 33 Gráfico conexión en serie-paralelo del panel amorfo – día nublado.....	71
Figura 34 Gráfico variación de ángulos de las tres tecnologías de paneles día soleado.....	77
Figura 35 Gráfica variación ángulos tres tecnologías de paneles en un día nublado.	78
Figura 36 Diagrama unifilar del sistema fotovoltaico	85
Figura 37 Diagrama de conexión Arduino MEGA.....	86

Glosario

Batería: es un elemento del sistema que tiene la función de almacenar la energía eléctrica generada

Célula Fotovoltaica: es la unidad fundamental del sistema fotovoltaico, donde se produce la conversión de la energía solar en energía eléctrica

Corriente Continúa: se caracteriza por no tener cambios en la intensidad y dirección de la corriente a lo largo del tiempo

Energía solar: es la liberada en el Sol por las reacciones termonucleares que allí ocurren y viaja a la tierra en la forma de ondas electromagnéticas

Eficiencia: es el resultado obtenido en su totalidad del sistema o instalación térmica.

Fotovoltaica: se utiliza para describir el proceso de convertir la energía solar en electricidad, es decir, transformar la radiación solar en energía eléctrica

Irradiación: se refiere a la medida de la energía solar por unidad de área, que se encuentra presente en la radiación solar

Inversor: este es un dispositivo electrónico que convierte la corriente continua en corriente alterna

Kilovatio: medida de potencia equivalente a mil vatios

Panel Solar: es un dispositivo que aprovecha la energía de la radiación solar a través de la energía solar térmica, y se utiliza para generar electricidad

Regulador: es un componente esencial dentro del sistema fotovoltaico encargado de supervisar y gestionar el flujo de energía entre los paneles solares y la batería, asegurando un control adecuado del estado de la energía

Sistema Fotovoltaico: es un conjunto de elementos interconectados que sirven como fuente de energía y utilizan el sol como fuente primaria

Vatio: medida de potencia que representa la cantidad de energía que fluye por unidad de tiempo

Resumen

Título: Implementación de una práctica de laboratorio para la evaluación de la eficiencia de paneles fotovoltaicos de diferente tecnología en el laboratorio de energías alternativas de la escuela de Ingeniería Mecánica.*

Autor: Bibiana Inés Alba Suarez, Daniel Stiven Pinzón Galvis**

Palabras Clave: Eficiencia paneles fotovoltaicos, laboratorio fotovoltaico, energía solar.

El objetivo principal de esta investigación es identificar cuál de las tres tecnologías de módulos fotovoltaicos: monocristalino, policristalino y de silicio amorfo, ofrece una mayor eficiencia en situaciones diversas como variaciones en el grado de inclinación con el que la radiación impacta, efectos de la temperatura sobre el módulo, conexiones en serie y paralelo. Además, se busca verificar la eficiencia de cada módulo en comparación con la del fabricante, obteniendo la curva característica de cada uno para su análisis.

En este estudio se utilizó Arduino y algunos de sus módulos para medir corriente, voltaje y temperatura de manera sencilla y precisa. La ventaja de utilizar Arduino es que permite programar la toma de datos deseada, lo que agiliza el proceso y minimiza errores. La metodología de investigación descriptiva se adoptó para describir e identificar los componentes, características y parámetros de sistemas fotovoltaicos disponibles en el mercado. Se obtuvieron datos experimentales que fueron comparados con los valores teóricos provistos por los fabricantes. Con base en estos resultados, se seleccionó la celda que presentó la mayor eficiencia en diversas situaciones expuestas.

* Trabajo de Grado

**Facultad de Físico-Mecánicas. Escuela de Ingeniería Mecánica. Director: Julián Ernesto Jaramillo Ibarra Dr Sistemas Térmicos

Abstract

Title: Implementation of a laboratory practice for the evaluation of the efficiency of photovoltaic panels of different technologies in the alternative energy laboratory of the School of Mechanical Engineering.

Author(s): Bibiana Inés Alba Suarez, Daniel Stiven Pinzón Galvis ¹

Key Words: Efficiency photovoltaic panels, photovoltaic laboratory, solar energy.

This research work is focused on determining which of the three photovoltaic module technologies: monocrystalline, polycrystalline and amorphous silicon, offers higher efficiency in different situations such as variations in the angle of incidence of radiation, temperature effects on the module, series and parallel connections. In addition, we seek to verify the efficiency of each module compared to that of the manufacturer, obtaining the characteristic curve of each one for analysis.

In this study, Arduino and some of its modules were used to measure current, voltage and temperature in a simple and accurate way. The advantage of using Arduino is that it allows programming the desired data acquisition, which speeds up the process and minimizes errors. The descriptive research methodology was adopted to describe and identify the components, characteristics and parameters of commercially available photovoltaic systems. Experimental data were obtained and compared with the theoretical data provided by the manufacturers. Based on these results, the cell that presented the highest efficiency in the various exposed situations was selected.

¹Facultad de Físico-Mecánicas. Escuela de Ingeniería Mecánica. Director: Julián Ernesto Jaramillo Ibarra Doctor en Ingeniería de Sistemas Térmicos.

Introducción

En la actualidad, es fundamental que los ingenieros mecánicos de la Universidad Industrial de Santander adquieran conocimientos sobre las diversas formas de obtener energías limpias, especialmente la energía fotovoltaica. Aunque se aborda la teoría en la materia de sistemas térmicos, es insuficiente para una comprensión completa debido a la falta de prácticas. Por lo tanto, se ha creado una guía práctica de laboratorio en el laboratorio de energías alternativas de la Escuela de Ingeniería Mecánica para evaluar la eficiencia de paneles fotovoltaicos de diferentes tecnologías. Esto permite a los estudiantes obtener experiencia práctica en la evaluación de paneles solares y comprender la selección del panel más adecuado según las necesidades específicas.

El propósito principal de este proyecto consiste en desarrollar una actividad de laboratorio que permita evaluar la eficiencia de los paneles fotovoltaicos de diferentes tecnologías en el laboratorio de energías alternativas de la Escuela de Ingeniería Mecánica y de este modo contribuir al aprendizaje de los estudiantes de Ingeniería Mecánica en el tema de la energía fotovoltaica, aclarando los tipos de paneles solares existentes en el mercado para que puedan ser considerados en futuros montajes, basándose en su costo-beneficio y los principios teóricos. Además, se busca fortalecer el conocimiento en la generación de energía fotovoltaica, aplicando los principios teóricos vistos en transferencia de calor y sistemas térmicos para identificar qué panel tiene la mayor eficiencia al variar la intensidad, distancia e inclinación de los paneles respecto a la incidencia de radiación.

En este trabajo se proporciona una descripción del diseño y la ejecución de la práctica de laboratorio, junto con la evaluación y los resultados obtenidos. Además, se incluye una revisión bibliográfica sobre las tecnologías de paneles fotovoltaicos y un análisis de la eficiencia de los paneles evaluados en la práctica de laboratorio. Se espera que esta tesis contribuya al mejoramiento

del proceso de enseñanza-aprendizaje en la Escuela de Ingeniería Mecánica y promueva la utilización de energías renovables.

1.Objetivos

1.1 Objetivo general

Contribuir con el aprendizaje de los estudiantes de Ingeniería Mecánica en la asignatura Sistemas Térmicos con el desarrollo de una práctica de laboratorio para la evaluación de la eficiencia de paneles fotovoltaicos de diferente tecnología.

1.2 Objetivos específicos

- Revisar el material bibliográfico respecto a guías de laboratorio para sistemas fotovoltaicos que faciliten establecer el estado del arte y la metodología de la guía teórica-práctica de energía fotovoltaica.
- Realizar la instalación experimental de los paneles solares monocristalinos, policristalinos y de película delgada en el banco de pruebas adaptado para el laboratorio
- Analizar la potencia del panel fotovoltaico respectivo en cada experimento realizado, para identificar el rendimiento y evaluar la eficiencia de los paneles monocristalinos, policristalinos y de película delgada.
- Elaborar la guía teórico-práctica de laboratorio en base a la información recopilada para ser adecuada al banco de pruebas diseñado para la práctica

2. Marco teórico

Al implementar un experimento de laboratorio para medir la eficiencia de paneles fotovoltaicos, es crucial considerar conceptos fundamentales que ayuden a comprender el funcionamiento de un sistema fotovoltaico, así como los parámetros y características necesarias para la generación de energía tanto a partir de la luz artificial como de la radiación solar.

2.1 Recursos Energéticos

La humanidad dispone de recursos energéticos que se originan directa o indirectamente a partir de la radiación solar. Estas fuentes de energía natural se clasifican en renovables y no renovables. En el caso de Colombia, su matriz de generación eléctrica se encuentra en el sexto lugar a nivel mundial en términos de limpieza, ya que el 68% de su capacidad instalada proviene de fuentes renovables de energía eléctrica (Alcogen, 2022).

2.1.1 Energía renovable

La energía renovable se refiere a aquella que se obtiene de fuentes naturales e inagotables, sin depender del carbón como fuente de energía. Estas fuentes renovables tienen la capacidad de regenerarse mediante procesos naturales, como la radiación solar, el viento, el agua de ríos y mares, el calor del subsuelo y los residuos. Una ventaja significativa de estas fuentes de energía es su impacto ambiental mínimo, ya que no generan contaminación. Algunos ejemplos de su aplicación incluyen:

Energía Hidráulica: se obtiene gracias al agua que desciende de las montañas formando ríos. El movimiento del agua río abajo genera energía cinética que, al pasar por turbinas de generación eléctrica, se transforma en energía hidroeléctrica. Esta energía es posible gracias al efecto de la energía potencial gravitatoria que posee el agua (Vivanco F, 2020). Durante mayo de 2022, Colombia generó un total de 6.554,31 Gigavatios/hora (GWh) de

energía, siendo la energía hidráulica la fuente renovable que más contribuyó con una incidencia del 98,72% sobre el total. En promedio, esta fuente de energía produjo 180,57 GWh-día (Analitik , 2022).

Energía eólica: la energía eólica se obtiene a partir del viento, aprovechando su energía cinética. Esta energía se transforma en energía potencial a través de los aerogeneradores. La energía eólica se considera una fuente renovable, limpia y libre de emisiones de gases de efecto invernadero (Granados , 2022).

Energía Biomasa: se refiere a la energía solar almacenada en los organismos vivos, donde los vegetales son capaces de absorber y almacenar una fracción de la energía solar que recibe la tierra, y posteriormente los animales obtienen esta energía a través de su alimentación. En este proceso, la materia orgánica que acumula la energía solar genera subproductos no útiles para los animales, la producción de alimentos, pero que sí pueden ser transformados en energía (Vivanco F, 2020).

Energía geotérmica: Se aprovecha de las elevadas temperaturas que surgen en las capas internas del planeta, las cuales se evidencian mediante diversos fenómenos como volcanes, géiseres, volcanes fumarolas, fuentes termales y pozos de lodo hirviendo. Esta fuente de calor puede ser aprovechada tanto para la producción de electricidad y fines térmicos (Vivanco F, 2020).

Energía solar: la energía solar es una forma de energía renovable que se obtiene a partir de la radiación electromagnética del sol. Esta energía puede transformarse en electricidad mediante paneles solares o en calor mediante colectores solares. La energía solar es una fuente limpia y sostenible que no emite gases de efecto invernadero ni contribuye al cambio

climático. Además, la energía solar es abundante y está disponible globalmente, lo que la convierte en una fuente potencialmente accesible para todos (Vivanco F, 2020).

2.1.2 Energías No renovables

Las energías no renovables son aquellas que se basan en recursos energéticos que tienen un agotamiento inevitable. Su tasa de consumo es superior a la de su regeneración, lo que las convierte en métodos de producción de energía poco sostenibles y eficientes. A diferencia de las energías limpias, las fuentes no renovables tienen una eficiencia energética muy baja, ya que ningún proceso de combustión es completamente eficiente. Además, la mayoría de ellas emiten gases de efecto invernadero, lo que agrava el problema del cambio climático según (Karol, 2022),

hay dos tipos de energía no renovable:

-Combustibles fósiles

Los combustibles fósiles tienen su origen en materia orgánica que ha sido sometida a altas temperaturas y presiones por millones de años, transformándose en uno de los siguientes tipos:

Carbón: una roca compuesta principalmente por carbono.

Petróleo: Se compone de una mezcla de sustancias orgánicas que se originan a partir de materia orgánica. En condiciones normales de temperatura y presión, el petróleo adopta una forma líquida densa conocida como bitumen.

Gas natural: Se trata de una mezcla de hidrocarburos gaseosos de origen natural, donde el componente principal es el metano.

-Fuentes de energía no convencionales

Las fuentes de energía no convencionales engloban los agrocombustibles y biocombustibles, los cuales son combustibles generados a partir de cultivos, así como los combustibles nucleares, como el uranio y el plutonio, utilizados en las plantas de energía nuclear.

2.2 Energía solar

La energía solar se aprovecha de la radiación solar para generar calor o electricidad. Aproximadamente 1,6 millones de kWh de energía solar llegan a nuestro planeta anualmente, pero sólo un 40% de esta energía es aprovechable. Aunque es cierto que la energía solar no se utiliza en su totalidad, su potencial aprovechable supera por cientos de veces la cantidad de energía consumida a nivel mundial. La energía solar es una fuente de energía inagotable, limpia y distribuida de manera descentralizada. Su aprovechamiento depende de diversos factores, como la intensidad de la radiación solar, los ciclos diarios y anuales, y las condiciones climáticas locales. En resumen, la energía fotovoltaica se refiere a la obtención de energía a partir de la radiación solar, ya sea mediante la conversión a calor o electricidad (Energía, 2020).

2.2.1 Tipos de energía solar

La energía solar activa hace referencia a la utilización de equipos o tecnologías que convierten la luz solar en energía eléctrica o mecánica, tales como paneles solares, colectores, bombas de agua y ventiladores.

Por otro lado, la energía solar pasiva hace alusión a la capacidad de aprovechar directamente la luz solar sin necesidad de transformar la corriente de energía para su uso en el hogar (Carrasco, 2023).

2.2.2 Radiación Solar

La estrella conocida como el sol, nuestra estrella cercana, emite una radiación solar que llega a la Tierra a través de ondas electromagnéticas. Esta energía se produce a través de una serie de reacciones en el interior de la estrella, que resultan en una pérdida de masa convertida en energía. La temperatura media del sol es de 5500°C y su radiación se divide en diferentes frecuencias de onda, incluyendo la luz infrarroja, la luz ultravioleta y la luz visible. La radiación solar proveniente del Sol tiene una intensidad de $63,450,720 \text{ W/m}^2$. La cantidad de energía que alcanza la superficie exterior de la atmósfera terrestre, en una superficie perpendicular a los rayos solares, es constante y se conoce como la constante solar (1353 W/m^2 según la NASA). Esta constante solar puede variar aproximadamente un $\pm 3\%$ a lo largo del año debido a la elipticidad de la órbita terrestre (IDEAM, 2020).

2.2.3 Leyes de la radiación solar

IDEAM (2020) explica que, para entender la interacción de la energía solar con la superficie terrestre y la atmósfera, es necesario tener en cuenta los principios fundamentales de la radiación. Estas son:

- Todos los objetos que tienen una temperatura por encima de 0°K emiten energía en forma de radiación.
- Los objetos de temperatura más elevada emiten una mayor cantidad de energía total por unidad de área en comparación con los objetos de temperatura más baja.
- Los cuerpos más calientes emiten su radiación máxima en longitudes de onda más cortas.
- Los objetos con alta capacidad de absorción de radiación también tienen una alta capacidad de emisión. Este principio es fundamental para comprender cómo se produce el

calentamiento en la atmósfera, ya que los gases presentes en ella son selectivos en la absorción y emisión de radiación, dependiendo de la longitud de onda.

2.2.4 Tipos de radiación solar

En su artículo, (Vasquez , 2019) explica que la radiación solar puede dividirse en tres componentes según su incidencia en la Tierra:

- Radiación directa

La radiación solar que llega a la tierra sin haber sido absorbida ni dispersada se denomina radiación solar directa. Sin embargo, al atravesar la atmósfera, parte de esta radiación se dispersa y otra llega directamente a la superficie terrestre. Por lo tanto, aunque toda la radiación solar fuera de la atmósfera es directa, una vez que entra en contacto con la atmósfera, se produce una mezcla de radiación directa y dispersa.

$$R. \text{directa} = R_d * \cos (\theta)$$

Donde:

R_d es la radiación solar directa en el plano horizontal.

θ es el ángulo de incidencia de los rayos solares sobre la superficie inclinada.

- Radiación difusa

Se refiere a la radiación solar que ha cambiado de dirección debido a la dispersión en la atmósfera antes de llegar a la Tierra. Incluye tanto la radiación solar dispersa proveniente del cielo como la radiación solar reflejada por la Tierra. Esta radiación es importante para el balance energético de nuestro planeta, ya que contribuye a la cantidad total de energía recibida en la superficie terrestre y puede tener un impacto significativo en los procesos biológicos y físicos que ocurren en nuestro entorno.

$$R. \text{difusa} = R_{dh} * \frac{1 + \cos (\beta)}{2}$$

Donde:

Rdh es la radiación solar difusa en el plano horizontal.

β es el ángulo de inclinación de la superficie.

- Radiación albedo

La radiación de albedo se refiere a la radiación electromagnética que se refleja desde la superficie de la Tierra hacia el espacio. El albedo es una medida que indica la capacidad de reflexión de una superficie, es decir, la proporción de radiación solar que se refleja en lugar de ser absorbida. Por ejemplo, las superficies con un alto albedo, como la nieve y el hielo, reflejan más radiación solar que las superficies con un albedo bajo, como los bosques y los océanos. La radiación de albedo desempeña un papel crucial en el equilibrio energético de la Tierra, ya que afecta la cantidad de energía solar que se absorbe o se refleja en la superficie terrestre.

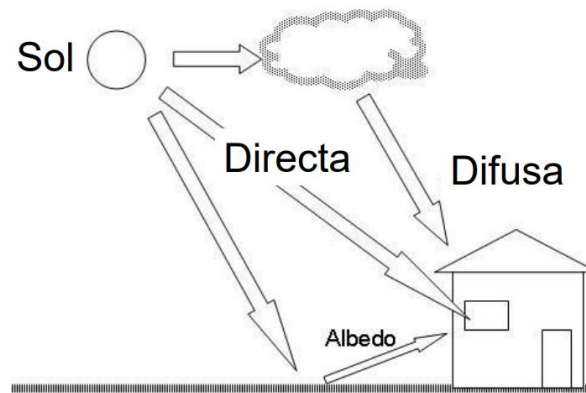
$$R. \text{albedo} = \rho * Rah * \cos(\theta)$$

Donde:

ρ representa la reflectancia de la superficie.

Rah corresponde a la radiación solar difusa en el plano horizontal.

θ indica el ángulo de incidencia de los rayos solares sobre la superficie inclinada.

Figura 1*Componentes de la radiación solar*

Nota. Tomado de *Radiación solar*, de The Crux, 2018.

2.2.5 Parámetros de la radiación solar

Para entender el potencial energético de la radiación solar, es importante considerar algunos parámetros que se pueden extraer de ella, como los siguientes:

Irradiancia: es la radiación que incide en una superficie específica en un momento determinado. Se mide en potencia, en W/m^2 .

Irradiación: es la radiación que incide en una superficie específica durante un período de tiempo. Se mide en energía, en W/m^2 .

Irradiancia espectral: es la potencia radiante por unidad de área y longitud de onda. Se mide en W/m^2 .

Irradiancia circunsolar: es la parte de la radiación difusa que proviene de las proximidades del disco solar. Se mide en W/m^2 .

2.2.6 Radiación sobre superficie inclinada

La cantidad de radiación solar que llega a una superficie inclinada está influenciada por el ángulo de incidencia de los rayos solares sobre dicha superficie. Este ángulo depende tanto de la inclinación y orientación de la superficie, como de la trayectoria del sol. Por lo tanto,

la cantidad de radiación solar que se recibe en una superficie inclinada puede variar significativamente según estos factores. Para determinar la radiación sobre una superficie inclinada, se deben considerar los siguientes factores: la ubicación geográfica, calcular la declinación solar, la hora solar verdadera y el ángulo de incidencia de los rayos solares, el procedimiento de estos se encuentra en el ítem 3,4. También se debe calcular la radiación solar directa, la radiación solar difusa y la radiación reflejada en la superficie inclinada, las fórmulas están detalladas en el ítem 2.2.4. Finalmente, se suman estas radiaciones para obtener la radiación total sobre la superficie inclinada de los paneles solares. Es importante tener en cuenta que existen programas de simulación y herramientas en línea que pueden facilitar este cálculo.

2.2.7 Orientación e inclinación

Para obtener la máxima energía solar o de una fuente artificial, es importante conocer la orientación e inclinación óptimas para un módulo fotovoltaico, Bowden & Honsberg, (s.f.) describe los siguientes ángulos para tener en cuenta:

Latitud (ϕ), es la posición angular al norte o sur del ecuador, donde el norte es positivo. Se mide en un rango de -90° a 90°

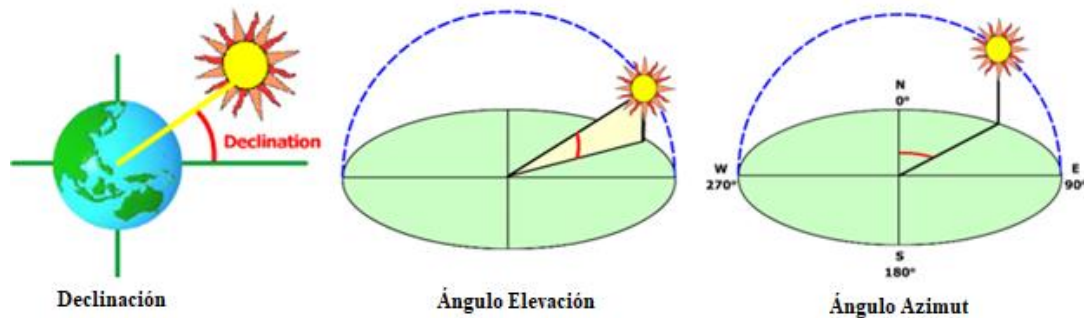
Declinación (δ), es el ángulo que varía estacionalmente debido a la inclinación de la Tierra en su eje de rotación y su rotación alrededor del sol. Si la Tierra no estuviera inclinada, la declinación sería siempre de 0° . Sin embargo, debido a la inclinación de 23.45° , la declinación varía en torno a esa cantidad. Solo en los equinoccios de primavera y otoño, la declinación es de 0° .

Azimuth(α), el ángulo acimutal es la dirección de la brújula desde la que proviene la luz solar

Angulo elevación (β), es la altura angular del sol en el cielo medida desde la horizontal. A veces, tanto la altitud como la elevación se utilizan para describir la altura en metros sobre el nivel del mar.

Figura 2

Orientación de los módulos fotovoltaicos



Nota. Tomado de *Propiedades de la luz del sol*, de Bowden & Honsberg, s, f.

2.3 Energía solar fotovoltaica

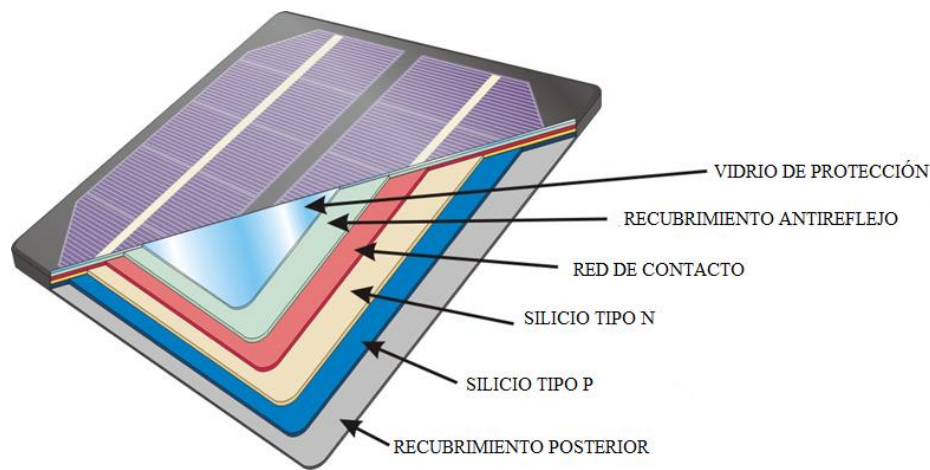
La energía solar fotovoltaica es una fuente de energía renovable y abundante en nuestro planeta. Esta tecnología tiene la capacidad de satisfacer las necesidades energéticas de hogares, instalaciones industriales, vehículos recreativos y otros usos. Se basa en el uso de células solares o fotovoltaicas que convierten la energía solar en electricidad utilizable. Estas células solares están compuestas de materiales semiconductores que absorben la luz solar y liberan electrones, generando así una corriente eléctrica limpia y sostenible. Una de las principales ventajas de la energía solar fotovoltaica es que no emite gases de efecto invernadero ni otros contaminantes atmosféricos, lo que la convierte en una forma de generación de electricidad con un impacto ambiental mínimo.

2.3.1 La celda solar

Las células fotovoltaicas son componentes pertenecientes al grupo de los semiconductores. Tienen la capacidad de transformar directamente los fotones de la luz solar en electricidad. Su funcionamiento se basa en el principio del efecto fotovoltaico. Al agrupar varias células de manera adecuada, se forma un panel solar, tal como se muestra en la figura 3.

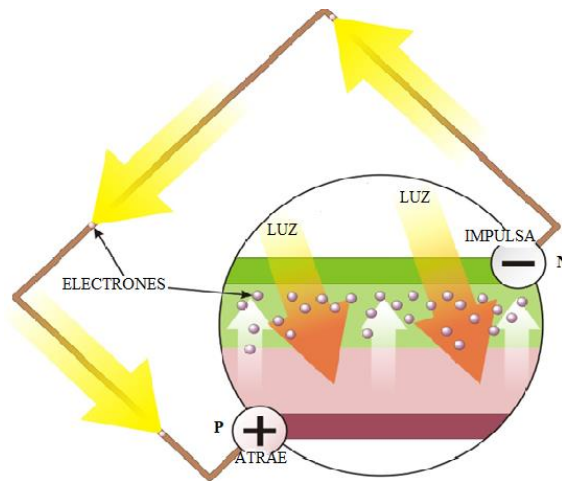
Figura 3

Estructura de una celda fotovoltaica



Nota. Tomado de *Photovoltaic Panels*, de *Generation Clean Electrons*, por Charles J.

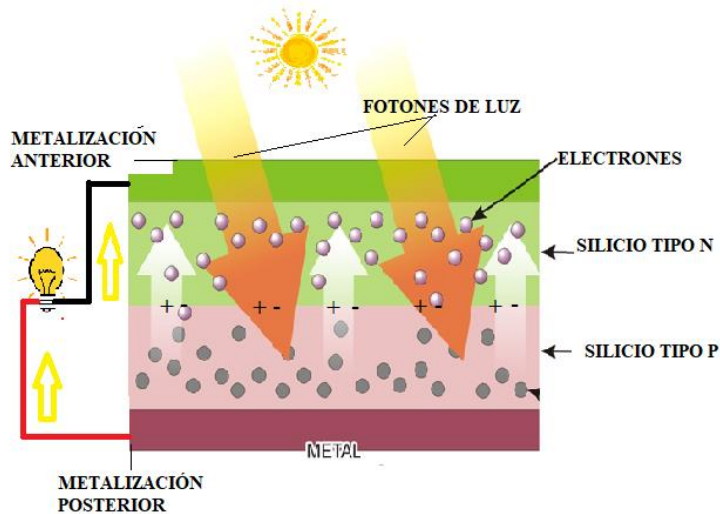
Una celda solar se comporta como un diodo, donde la parte expuesta a la radiación solar es la región N que contiene una mayor cantidad de electrones, logrando una predominancia de portadores de carga negativa en el material. Por otro lado, la zona de oscuridad es la región P, la cual posee una menor cantidad de electrones libres, obteniendo así una predominancia de portadores de carga positiva (huecos de electrones) en el material, como se muestra en la figura 4.

Figura 4*Flujo corriente de electrones*

Nota. Representación de flujo de corriente de electrones. Tomado de *Generation Clean Electrons*, por Charles J.

2.3.2 Efecto fotovoltaico

El efecto fotovoltaico se produce cuando dos materiales diferentes en contacto, expuestos a la luz o radiación electromagnética, generan una corriente eléctrica. Este efecto se utiliza en la generación de electricidad mediante la tecnología solar fotovoltaica. Los materiales semiconductores, como el silicio, tienen la capacidad de aprovechar este efecto en los paneles solares debido a su comportamiento eléctrico frente a los fotones de la luz. El efecto fotovoltaico comienza cuando un fotón colisiona con el electrón en la última órbita de un átomo de silicio, conocido como electrón de valencia, transfiriéndole su energía (Planas, 2022).

Figura 5*Efecto fotovoltaico*

Nota. Representación del efecto fotovoltaico. Tomado *Generation Clean Electrons*, por Charles J.

2.3.3 Parámetros de un panel fotovoltaico

Es importante conocer los datos proporcionados por el fabricante al trabajar con paneles solares para usarlos de manera adecuada. Es esencial tener en cuenta que los valores suministrados por el fabricante se obtienen en condiciones específicas de irradiación solar y temperatura ambiente.

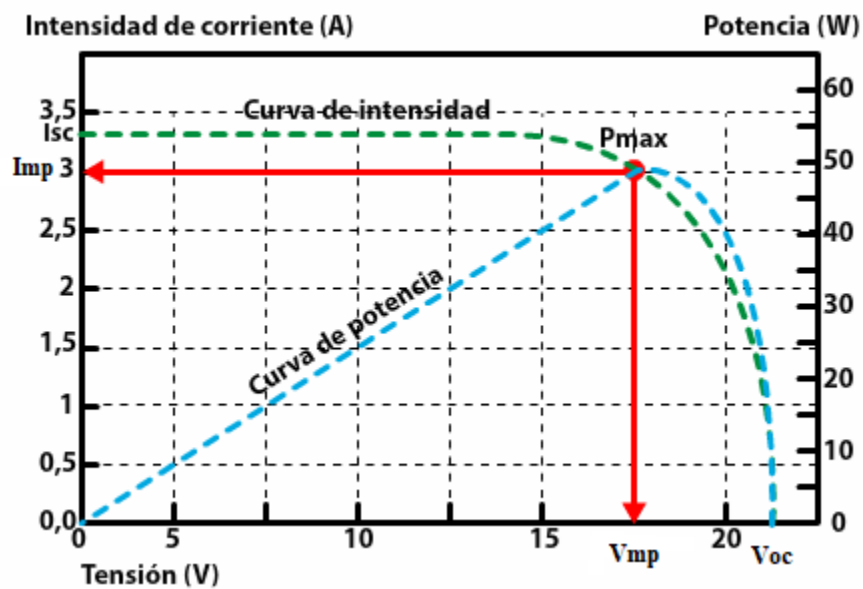
Según (Honsberg & Bowden, s.f.) en la práctica, siempre habrá una desviación con respecto a los valores teóricos cuando el panel esté instalado. Por lo tanto, es necesario considerar los siguientes parámetros:

La curva (V-I): La figura 6 muestra los posibles valores de voltaje y corriente en un panel solar, los cuales son influenciados principalmente por la temperatura y la radiación solar recibida por las células del panel. La curva característica se obtiene al modificar la carga conectada a los terminales del panel, lo que resulta en diferentes valores de voltaje (V) y

corriente (I). La potencia generada por el panel se puede determinar multiplicando el voltaje (V) por la corriente (I).

Figura 6

Curva característica de un panel fotovoltaico



Nota. Tomada de *Componentes principales de una instalación solar fotovoltaica*, de Ecosistemas del Norte, (s,f)

Voltaje de circuito abierto (V_{oc}): es la tensión máxima que se puede obtener en los extremos de una célula solar cuando no está conectada a ninguna carga. La magnitud de este valor depende del material utilizado en la construcción de la célula.

Corriente de cortocircuito (I_{sc}): es el máximo valor de corriente que puede circular por una célula solar cuando se cortocircuitan sus terminales. Este valor está influenciado tanto por el tipo de célula como por su área, siendo mayor a medida que se aumenta el área de la célula.

Tensión en máxima potencia (V_{mp}): es la tensión nominal que se alcanza en los paneles solares cuando se produce la potencia máxima. Es el valor de tensión que, combinado con

su corriente correspondiente, permite al panel generar la máxima potencia. La unidad de medida para V_{mp} es el voltio (V).

Intensidad de corriente máxima (I_{mp}): Es la corriente que produce el panel cuando está conectado a la instalación y produce la potencia máxima que se indica en la ficha. La unidad de medida para I_{mp} es el amperio (A).

Punto de potencia máxima (P_{max}): El "Punto de potencia máxima" de un panel solar fotovoltaico es el punto de operación en el que se produce la máxima potencia de salida. Este valor se puede calcular multiplicando la "Tensión en máxima potencia" (V_{mp}) por la "Intensidad de corriente máxima" (I_{mp}). La unidad de medida para el punto de potencia máxima es el vatio (W).

$$P_{max} = I_{mp}V_{mp}$$

Factor de forma (FF): La corriente de cortocircuito y el voltaje de circuito abierto representan la máxima corriente y tensión, respectivamente, que una celda solar puede proporcionar. Cabe destacar que, en ambos puntos de funcionamiento, la potencia de la celda solar es cero. Para determinar la potencia máxima de una celda solar, se utiliza el "factor de llenado" o "FF", que es un parámetro que, junto con V_{oc} e I_{sc} , influye en la potencia máxima que la celda solar puede generar. El FF se define como la relación de la potencia máxima de la célula solar para el producto de V_{oc} y I_{sc} . Los valores típicos de FF oscilan entre 0,7 y 0,8.

$$FF = \frac{I_{mp}V_{mp}}{V_{oc}I_{sc}}$$

Eficiencia (n): La eficiencia (n) de un panel fotovoltaico se refiere al porcentaje de energía solar que es convertida en electricidad por el panel. Este parámetro ha ido mejorando con el tiempo gracias al desarrollo de nuevas tecnologías y materiales. La eficiencia se calcula

dividiendo la potencia máxima que el panel puede entregar por la potencia de irradiancia solar incidente sobre el panel, y se expresa como un porcentaje. En otras palabras, la eficiencia representa la capacidad del panel para aprovechar la energía solar que recibe y convertirla en electricidad utilizable.

$$\eta = (FF \cdot V_{oc} \cdot I_{sc}) / P_{IN}$$

Donde η es la eficiencia, V_{oc} es la tensión en circuito abierto, I_{sc} es la corriente de cortocircuito, FF es el factor de forma o llenado, P_{IN} es la potencia generada por el panel (potencia de salida).

2.3.4 Efecto de la temperatura sobre el panel solar

La temperatura juega un papel importante con relación en la eficiencia de un sistema fotovoltaico, y está en función de varios parámetros como la temperatura ambiente, la irradiación y la velocidad del viento. Para calcular como afecta la temperatura a una placa solar debemos tener claros los siguientes conceptos.

Los datos del fabricante están medidos en condiciones de medición estándar (STC por sus siglas en inglés). Insa (2023) afirma:

Las condiciones estándar utilizadas para medir la eficiencia de las células solares o colectores térmicos incluyen una irradiación de 1000 W/m² a una temperatura de célula de 25°C y una distribución espectral de 1,5 AM (coeficiente de masa de aire). Sin embargo, estas condiciones son poco comunes en nuestra vida diaria. En la práctica, las irradiaciones suelen ser de 800 W/m² y las temperaturas exteriores pueden variar significativamente en comparación con las condiciones estándar. Para obtener las condiciones reales de funcionamiento de un panel solar, es necesario consultar la ficha técnica proporcionada por el fabricante, la cual debe incluir información detallada sobre los parámetros específicos del panel solar:

TONC – Temperatura de operación de la célula: se refiere a la temperatura de la célula solar durante su funcionamiento. Esta temperatura puede variar dependiendo de factores como la intensidad de la radiación solar, la temperatura ambiente y la eficiencia de la célula. Es importante tener en cuenta la TONC ya que puede afectar significativamente la eficiencia de la célula solar y, por lo tanto, su capacidad para generar energía. Este valor suele estar entre 43 y 47°C, cuanto menor sea mejor. Como valor de referencia podemos usar 45°C.

Coeficiente de temperatura de Potencia (CTP): se refiere a la tasa de cambio de la potencia máxima de salida de la célula solar en relación con la temperatura. En general, el CTP indica que a medida que la temperatura de la célula solar aumenta, su eficiencia disminuye. Por lo tanto, es importante tener en cuenta el CTP al diseñar y utilizar paneles solares, ya que las temperaturas elevadas pueden reducir significativamente la producción de energía de los paneles solares. La pérdida porcentual de potencia por cada grado por encima de los 25°C. Normalmente entre -0,43 y -0,47%/°C.

Coeficiente de temperatura de Voc: se refiere a la tasa de cambio de la tensión de circuito abierto (Voc) de una célula solar en relación con la temperatura. En general, el coeficiente de temperatura de Voc es negativo, lo que indica que a medida que la temperatura aumenta, la tensión de circuito abierto de la célula solar disminuye. Normalmente entre -0,33 y -0,34%/°C.

Coeficiente de temperatura de Vmp: el coeficiente de temperatura es una medida que indica cómo varía la tensión de máxima potencia de un módulo fotovoltaico en relación con la temperatura. Se expresa en unidades de %/°C y generalmente es negativo, lo que implica que la tensión de alimentación máxima disminuye a medida que aumenta la temperatura.

Normalmente, se encuentra en el rango de $-0,36$ a $-0,39\%/^{\circ}\text{C}$. Cuanto menor sea este coeficiente, mejor será el desempeño del módulo en relación con los cambios de temperatura.

2.3.5 Conexión paneles fotovoltaicos

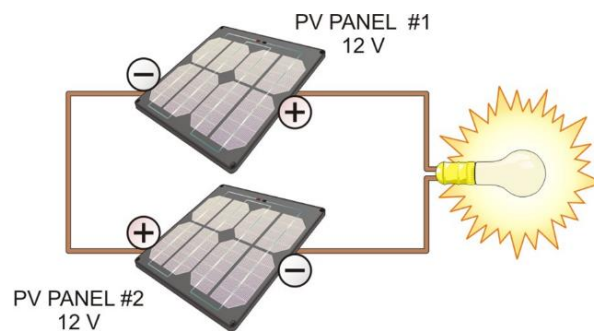
El tipo de conexión de los módulos en el sistema fotovoltaico depende de las demandas de tensión y corriente deseadas en su salida. Se pueden realizar tres tipos de conexiones:

- Conexión en serie de un panel

La conexión de varios paneles solares en una cadena se conoce como conexión en serie. En esta configuración, el polo positivo de un panel se conecta al polo negativo del siguiente panel y así sucesivamente, formando una cadena de paneles solares que actúan como un solo sistema. Cuando se conectan paneles en serie, la corriente se mantiene constante en toda la cadena, mientras que el voltaje se suma en cada panel. De esta manera, la intensidad del generador es igual a la de un módulo, y el voltaje del generador es el voltaje de un módulo multiplicado por el número de módulos en serie. Esta técnica se utiliza para aumentar el voltaje del generador y mejorar su rendimiento.

Figura 7

Conexión en serie de panel fotovoltaico



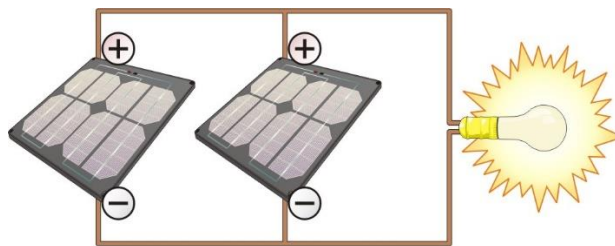
Nota. Tomado de *Generation Clean Electrons*, por Charles J.

- Conexión en paralelo de un panel

implica la conexión de varios paneles solares juntos en una configuración paralela, donde los polos positivos de cada panel se conectan entre sí y los polos negativos de cada panel también se conectan entre sí. Cuando se conectan paneles en paralelo, la tensión se mantiene constante en toda la cadena, mientras que la corriente se suma en cada panel. El voltaje del generador es igual al del módulo, y la corriente del generador es la intensidad de un módulo multiplicada por el número de módulos en paralelo. Esto se utiliza para aumentar la corriente del generador.

Figura 8

Conexión en paralelo panel fotovoltaico



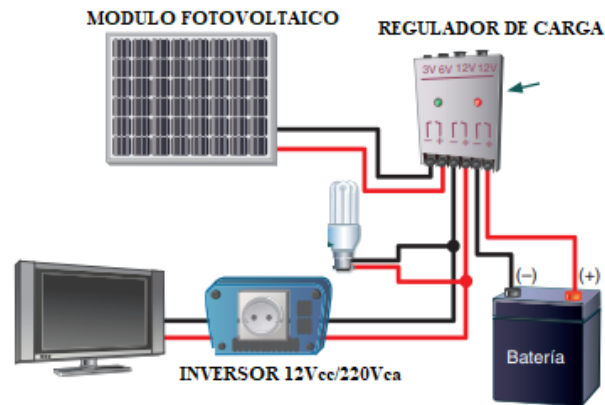
Nota. Tomado de *Generation Clean Electrons*, por Charles J.

- Conexión serie-paralelo

Combinación de los dos tipos de conexiones que nos permite elevar la tensión y corriente del generador.

2.3.6 Elementos de una instalación fotovoltaica Off-Grid

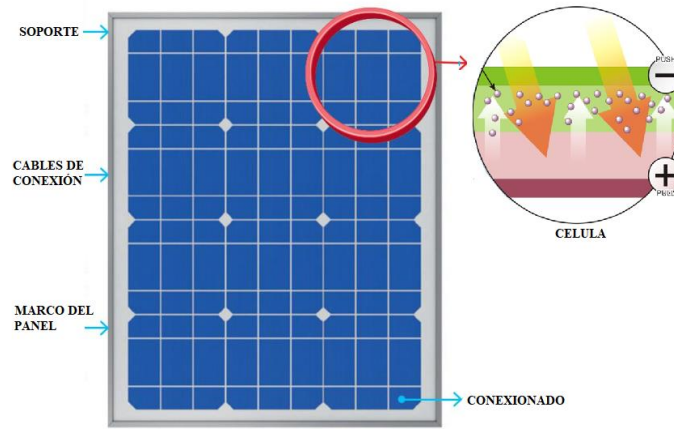
Una instalación fotovoltaica se ajusta de manera general a un esquema tal como se muestra en la figura 9 junto con el funcionamiento de cada elemento.

Figura 9*Componentes de una instalación solar fotovoltaica*

Nota. Tomado de *Componentes de una instalación solar fotovoltaica*, de J.M Smith.

- Modulo fotovoltaico

Elemento principal de la instalación, está compuesto por un conjunto de celdas, conectadas eléctricamente, encapsuladas y montadas sobre una estructura de soporte o bastidor. Éste convierte la energía solar en energía eléctrica y proporciona una tensión continua en su salida de conexión. Está diseñado para valores de tensión específicos (6V, 12V, 24V, etc.), que definirán la tensión de funcionamiento del sistema fotovoltaico (Diaz & Rubio, s,f).

Figura 10*Constitución de un panel solar fotovoltaico*

Nota. Tomado de *Componentes de una instalación solar fotovoltaica*, de Diaz & Rubio, s,f

En la figura se destacan las principales características de un panel solar, incluyendo la estructura de soporte que le otorga rigidez, los cables de conexión ubicados en una caja en la parte trasera y el marco del panel que permite su instalación en un soporte específico.

- Regulador de carga

Un regulador de carga es un dispositivo electrónico que se encarga de gestionar la carga y descarga del banco de baterías de manera efectiva, lo que prolonga su vida útil. Proteger las baterías de una descarga por debajo del nivel de tensión final de descarga (sulfatación) y de una sobrecarga por encima del nivel final de tensión de carga (hervor del electrolito), tal como lo especifica el fabricante, es importante. Asimismo, es fundamental garantizar una carga eficiente de las baterías durante el tiempo limitado en que los paneles fotovoltaicos generan energía, lo que equivale a la duración promedio del día solar.

El regulador de carga es un componente fundamental en un sistema fotovoltaico, ya que cumple diversas funciones importantes. En primer lugar, evita que las baterías se descarguen a través de los paneles durante la noche, cuando el voltaje de salida del panel

fotovoltaico es nulo. De esta manera, se previene el daño a las baterías y se prolonga su vida útil. Además, el regulador de carga protege las baterías contra la sobrecarga, lo que también puede reducir su vida útil. Asimismo, desconecta los consumos cuando el estado de carga de la batería es bajo para evitar la sobre descarga. Otra función importante del regulador de carga es proporcionar el régimen de carga adecuado para un tipo específico de acumulador. Además, mantiene el circuito de carga abierto si el voltaje de salida de los paneles es menor que el del banco de almacenamiento, lo que evita la descarga de las baterías en momentos de baja producción de energía solar.

- **Baterías**

La batería desempeña un papel fundamental en los sistemas de energía solar autónomos, ya que proporciona energía durante los períodos de baja o nula radiación solar. Su función principal en un sistema fotovoltaico es almacenar la energía generada para su utilización en momentos de escasa iluminación solar.

Una batería consta de dos electrodos sumergidos en un electrolito, donde ocurren reacciones químicas durante la carga o descarga. Estas reacciones son responsables de almacenar y liberar energía en la batería. Según Diaz & Rubio (s.f), existen ciertas características que definen el comportamiento de una batería. Estas características abarcan la capacidad de la batería en amperios-hora, la tensión nominal, la corriente máxima de descarga, la vida útil y la eficiencia energética. Es importante tener en cuenta estas características al seleccionar la batería adecuada para un sistema fotovoltaico.

Capacidad de descarga en Amperios hora (Ah): La capacidad de una batería se define como la cantidad de electricidad que se puede obtener al realizar una descarga completa desde un estado de carga completo. Sin embargo, es importante tener en cuenta que la capacidad de

la batería puede verse afectada por varios factores, como el tiempo, la temperatura y el tipo de conexión utilizado. Estos factores pueden influir en la capacidad real que se puede obtener de la batería en diferentes condiciones de uso.

Profundidad de descarga: se refiere al porcentaje de la capacidad total de la batería que se utiliza durante un ciclo de carga/descarga. Se pueden clasificar en baterías de descarga superficial y baterías de descarga profunda. En aplicaciones fotovoltaicas, se utilizan principalmente baterías de descarga profunda. Es importante destacar esta diferencia.

Vida útil: la duración de una batería se representa en términos de ciclos de carga y descarga, y está influenciada por el grosor de las placas, la concentración del electrolito y el nivel de descarga.

En el mercado se encuentran diversas opciones de baterías, cada una con características y ventajas particulares. Las baterías de plomo ácido abierto son una alternativa económica, aunque su tecnología es menos avanzada y su vida útil se limita a 300 ciclos de carga. Estas baterías son adecuadas para aplicaciones de consumo bajo, como en autocaravanas, y pueden descargarse hasta un 60%. Sin embargo, requieren mantenimiento regular.

Las baterías AGM tienen una vida útil más larga que las baterías de ácido abierto, con un ciclo de carga de 500 ciclos. Al igual que las baterías de ácido abierto, se utilizan en caravanas y pueden descargarse hasta un 60%, pero la ventaja que tienen es que no necesitan mantenimiento.

Las baterías de gel son ideales para viviendas con un bajo consumo energético y tienen una duración más prolongada, soportando hasta 1.200 ciclos de carga. Además, pueden descargarse hasta un 60%.

Por otro lado, las baterías solares estacionarias cuentan con una tecnología superior y ofrecen una capacidad aún mayor, permitiendo hasta 3.000 ciclos de carga y descarga. Además, estas baterías pueden descargarse hasta un 80%, lo que las convierte en una opción perfecta para hogares grandes o aislados de la red eléctrica.

- Inversor

El inversor transforma la corriente continua generada por los paneles solares en corriente alterna, con una tensión eficaz de 110V y una frecuencia de 60 Hz, que coincide con la frecuencia de la red eléctrica. Este tipo de inversor se utiliza para alimentar dispositivos que funcionan con corriente alterna. El proceso de conversión se realiza mediante el uso de componentes electrónicos que actúan como interruptores, permitiendo interrumpir y cambiar la corriente para obtener una salida de corriente alterna.

2.3.7 Clasificación de paneles fotovoltaicos

Conocer los tipos de paneles solares disponibles en el mercado puede ser muy útil para comprender y elegir la mejor tecnología solar para su hogar, negocio o práctica de laboratorio. Según Zepeda (2022), los paneles fotovoltaicos se clasifican en tres generaciones:

- Paneles solares de primera generación

Estos son tipos tradicionales de paneles solares fabricados con silicio monocristalino o policristalino y son los más utilizados en entornos convencionales.

Paneles solares monocristalinos (Mono-SI): Están fabricados con silicio monocristalino de alta pureza, lo que les confiere una apariencia uniforme y oscura con bordes redondeados. Este tipo de panel solar tiene uno de los índices de eficiencia más altos, superando el 20% en modelos más recientes. Además, los paneles monocristalinos son potentes, ocupan

menos espacio y tienen una mayor durabilidad en comparación con otros tipos de paneles solares.

Paneles solares policristalinos (Poly-SI): Se fabrican fundiendo silicio crudo, un proceso más rápido y económico que el de los paneles monocristalinos. Esto se traduce en un precio final más bajo, pero también en una menor eficiencia (alrededor del 15%), un menor rendimiento espacial y una vida útil más corta, ya que se ven más afectados por las altas temperaturas.

- Paneles solares de segunda generación

Estas celdas son diferentes tipos de celdas solares de película delgada y se utilizan principalmente para centrales fotovoltaicas, integradas en edificios o sistemas solares más pequeños.

Células solares de película fina (TFSC): Los paneles solares de película delgada se fabrican colocando una o más capas de material fotovoltaico (como silicio, cadmio o cobre) sobre un sustrato. Los paneles solares flexibles son una variante de los paneles solares de película delgada, contruidos con capas de silicio que son más de 300 veces más finas que las de los paneles solares estándar, lo que les permite ser flexibles y mantener su funcionalidad. Sin embargo, su principal desventaja es que ocupan mucho espacio, lo que los hace menos adecuados para su uso en instalaciones residenciales. Además, su vida útil es más corta que la de los paneles solares monocristalinos y policristalinos, lo que se refleja en garantías más cortas.

Célula solar de silicio amorfo (A-Si): Este tipo de panel solar utiliza una tecnología de triple capa, que es la mejor de la variedad de película delgada y tiene un espesor de 1 micrómetro (una millonésima de metro). Con una tasa de eficiencia de solo el 7%, estas

celdas son menos efectivas que el silicio cristalino, que tiene una tasa de eficiencia de alrededor del 18%.

- Paneles solares de tercera generación.

Los paneles solares de tercera generación incluyen una variedad de tecnologías de película delgada, pero la mayoría de ellos aún se encuentran en la fase de investigación o desarrollo. Algunos de ellos generan electricidad utilizando materiales orgánicos, mientras que otros utilizan sustancias inorgánicas.

Célula solar biohíbrida: Se trata de uno de los tipos de paneles solares que aún se encuentra en fase de investigación, descubierto por un equipo de expertos de la Universidad de Vanderbilt. La nueva tecnología se basa en aprovechar el fotosistema I para emular el proceso natural de la fotosíntesis. Aunque muchos de los materiales utilizados en esta celda son similares a los métodos tradicionales, la combinación de múltiples capas de fotosistema I permite una conversión mucho más eficiente de la energía química en energía eléctrica, llegando a ser hasta 1000 veces más eficiente que los tipos de paneles solares de primera generación.

Célula solar de telururo de cadmio (CdTe): Es un tipo de célula solar de película delgada que utiliza telururo de cadmio como material semiconductor. Estas células tienen varias ventajas, incluida una alta absorción de la luz solar y un bajo costo de producción. Además, las células solares CdTe son altamente eficientes, con una tasa de conversión de hasta el 22,1%. De hecho, representa el segmento más grande de la producción comercial de módulos de película delgada en todo el mundo. Sin embargo, existe una preocupación por la toxicidad del cadmio, que se utiliza en la producción de estas células.

Célula fotovoltaica concentrada (CVP y HCVP): Generan energía eléctrica al igual que los sistemas fotovoltaicos convencionales. Este tipo de paneles solares multiunión tienen una tasa de eficiencia de hasta el 41%, que es la más alta entre todos los sistemas fotovoltaicos hasta el momento. El nombre de estas células CVP está relacionado con lo que las hace tan eficientes en comparación con otros tipos de paneles solares: se utilizan superficies de espejos curvos, lentes y, a veces, incluso sistemas de refrigeración para agrupar la luz solar y aumentar así su eficiencia. El único inconveniente es que estos paneles solares CVP solo pueden ser tan eficientes si están orientados hacia el sol en un ángulo perfecto.

2.3.8 Clasificación de las instalaciones solares fotovoltaicas

Según Diaz & Rubio (s.f) las instalaciones solares fotovoltaicas se clasifican en función de su aplicación prevista. Se distinguen dos tipos de aplicaciones: autónomas y conectadas a la red.

- Aplicaciones Autónomas

Este tipo de aplicación produce electricidad sin ningún tipo de conexión a la red eléctrica, con el fin de suministrar este tipo de energía al lugar donde se encuentran. Hay dos tipos principales:

Aplicaciones especiales: Se utiliza para proporcionar electricidad a los elementos colocados por el ser humano en el espacio, como los satélites de comunicación y la Estación Espacial Internacional.

Aplicaciones terrestres, telefonía rural, radiocomunicación, repetidores de telefonía y televisión, electrificación de zonas rurales y aisladas, señalización, alumbrado público, bombeo de agua, redes VSAT (redes privadas de comunicación) y telemetría.

- Aplicaciones conectadas a red

En este tipo de aplicaciones, el productor puede utilizar la energía generada o venderla a la organización distribuidora de energía local. La función principal es generar energía eléctrica en condiciones adecuadas para ser inyectada en la red eléctrica convencional, y su uso es común en áreas urbanas desarrolladas. Existen dos tipos principales de estas aplicaciones:

Centrales fotovoltaicas y huertos solares: Instalaciones que concentran un determinado número de instalaciones fotovoltaicas de diferentes propietarios para vender la electricidad producida a la compañía eléctrica con la que se ha establecido el contrato.

Edificios fotovoltaicos: Los últimos avances en energía fotovoltaica han permitido utilizar módulos solares como elementos de construcción en cerramientos, cubiertas y fachadas. Esta aplicación innovadora no solo brinda beneficios energéticos, sino también un impacto visual impresionante.

En su mayoría, estos sistemas solares se han integrado en tejados o cubiertas, ya que es en esas ubicaciones donde se puede lograr la máxima captación de energía solar. Sin embargo, recientemente también se han comenzado a integrar en paredes y fachadas, donde, por ejemplo, se reemplaza el vidrio por módulos semitransparentes de película delgada. Esta nueva tendencia permite aprovechar el espacio vertical y expandir las posibilidades de instalación de sistemas solares fotovoltaicos en diferentes estructuras arquitectónicas.

3 Diseño y construcción de banco de pruebas fotovoltaico

3.1 Diseño del banco de pruebas

La implementación de un banco de pruebas fotovoltaico es fundamental para el desarrollo y la investigación del laboratorio de energías alternativas de la escuela de Ingeniería Mecánica de

la Universidad Industrial de Santander. Por tal motivo mediante el software SolidWorks se ha diseñado un banco de pruebas con una estructura que sustenta los módulos y permite su orientación hacia el sol como se ilustra en la figura 11, con el objetivo de evaluar el rendimiento de los paneles solares.

Figura 11

Diseño del banco de pruebas



El banco de pruebas fue elaborado en SolidWorks con el fin de dimensionar y tener claro el lugar que ocuparía cada componente en el mismo.

3.2 Selección de los componentes para el banco

Para realizar la instalación de un sistema fotovoltaico autónomo y poner en práctica el laboratorio, es necesario elegir cuidadosamente los componentes que conforman el banco, a continuación, se describen los principales componentes los demás se especifican en el manual de funcionamiento que se encuentra en el apéndice A.

Paneles

En cuanto a los paneles, se han seleccionado tres tipos para llevar a cabo la práctica de laboratorio y analizar su rendimiento: paneles monocristalinos, policristalinos y de silicio amorfo.

A continuación, especificaciones de cada tecnología en las figuras 12,13 y 14 respectivamente.

Figura 12

Características panel monocristalino

ESPECIFICACIONES DEL PANEL MONOCRISTALINO	
Potencia	15w
Voltaje Vmp	18 V
Corriente Imp	0,83 A
Voltaje circuito abierto Voc	22 V
Intensidad corto circuito Isc	0,92 A
Maxima tension del sistema	1000v
Coef. de temp Voc (%) ° C	-0,391
Coef. de temp Isc (%) ° C	0,0814
Coef. de temp Pmax (%) ° C	-0,5141
Tolerancia de potencia	± 0,03
Peso	3 Kg
Dimensiones	37*35*1.8cm
Temperatura de operación nominal (NOTC)	47 ± 2 °C

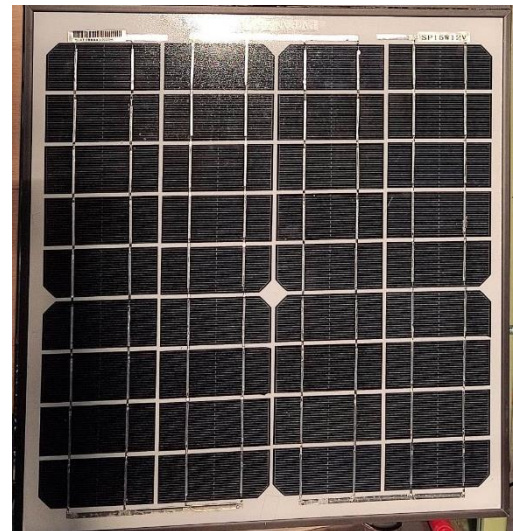


Figura 13

Características panel policristalino

ESPECIFICACIONES DEL PANEL POLICRISTALINO	
Potencia	15w
Voltaje Vmp	18,41V
Corriente Imp	0,82 A
Voltaje circuito abierto Voc	22,55V
Intensidad corto circuito Isc	0,86 A
Maxima tension del sistema	1000 VDC
Coef. de temp Voc (%) ° C	-0,3
Coef. de temp Isc (%) ° C	0,06
Coef. de temp Pmax (%) ° C	-0,4
Tolerancia de potencia	± 0,03
Peso	1,7 kg
Dimensiones	350*350*17mm
Temperatura de operación nominal (NOTC)	45 ± 2



Figura 14

Características panel de silicio amorfo

ESPECIFICACIONES DEL PANEL SILICIO AMORFO	
Potencia	15w
Voltaje Vmp	21-23 V
Corriente Imp	0,85 A
Voltaje circuito abierto Voc	25 V
Intensidad corto circuito Isc	0,94A
Maxima tension del sistema	1000v
Coef. de temp Voc (%) ° C	-0,29
Coef. de temp Isc (%) ° C	0,0051
Coef. de temp Pmax (%) ° C	0,312
Tolerancia de potencia	± 5%
Peso	4,9 kg
Dimensiones	923 x 313 x 22mm
Temperatura de operación nominal (NOTC)	47 ± 2



Inversor

En la figura 15 se presentan las características técnicas del inversor utilizado en el sistema. Las especificaciones del inversor son importantes para asegurarse de que sea compatible con la instalación de paneles solares y con los dispositivos que se utilizarán con la energía generada por el sistema.

Figura 15

Especificaciones inversor cobra

Inversor de corriente cobra	
Potencia de salida continua (1 hora)	400W
Voltaje de entrada	10.4DC - 14.4DC
Tensión de salida	109V-120V
Tensión de alarma	10.2V-10.8V
Sobretensión	9.2V-9.8V
Salida USB	5V
Temperatura funcionamiento	0°C - 40°C



Controlador

En la figura 16 se detallan las características técnicas más relevantes del controlador de carga utilizado.

Figura 16

Especificaciones del controlador PWM SCG 0808

Controlador Modelo SCG 0808	
Voltaje del sistema	12/24 V
Corriente corto circuito de entrada maxima	8A
Corriente de salida de carga maxima	8A
Volataje de fin de carga (Flotación)	13.9/27.8 V
Temperatura ambiente permitida	-25°C a 50 °C
Dimensiones (L*W*H)	145x90x39 mm



Bateria

La figura 17 presenta las características de la batería utilizada en el sistema fotovoltaico. La batería juega un papel esencial en el sistema, ya que su función principal es almacenar la energía generada por los paneles solares para su posterior uso.

Figura 17

Especificaciones de la batería

Bateria VRLA recargable ISO 14001	
Voltaje	12 V
Capacidad Nominal (2 horas)	100Ah
Circuito abierto de voltaje(V/Bloque)	13.1V-13.5V
Uso ciclico	14.5-15V (25°C)
Uso ocasional	13.6-13.8V(25°C)
Numero celdas por bloque	6 celdas



Caja resistencias

La caja de resistencias utilizada para el funcionamiento del banco consta de 16 resistencias con diferentes cargas, necesaria para medir y obtener datos de corriente – voltaje para con estos datos graficar la curva característica de cada panel.

Figura 18

Valor y caja de resistencias

RESISTENCIAS	
2Ω	39 Ω
3 Ω	51 Ω
3.9 Ω	68 Ω
8.2 Ω	82 Ω
10 Ω	100 Ω
15 Ω	120 Ω
27 Ω	220 Ω
33 Ω	390 Ω



3.3 Construcción del banco de pruebas

Se emplearon diversos materiales para la construcción del banco de pruebas, incluyendo una lámina de madera, tubos de hierro de 3/4 calibre 18 y un tubo eléctrico pesado de 1 1/2. Una vez completada la estructura del banco, se dispusieron y adaptaron de manera estratégica los componentes banco.

Figura 19

Banco de pruebas



En la parte izquierda de la imagen, se encuentran los paneles de silicio amorfo y en la derecha están los paneles monocristalinos y policristalinos.

3.4 Pruebas de funcionamiento del banco

Una vez instalados los componentes en el banco y haber inspeccionado las conexiones y que estas sean correctas, se coloca el banco en el lugar elegido para realizar la prueba de funcionamiento. Para la toma de datos es necesario calcular cual es la posición más adecuada y para ello se debe calcular el ángulo de inclinación óptimo.

Para tomar los datos de radiación, se hizo uso de la estación meteorológica ubicada en la Escuela de Ingeniería Mecánica de la Universidad Industrial de Santander.

Figura 20

Estación meteorológica de la escuela Ingeniería Mecánica



Para obtener el ángulo de inclinación óptimo de un panel, es necesario considerar varios factores, como la latitud del lugar la cual corresponde a 7.139027N, -73.12072W donde se encuentra el panel, la declinación solar y hora específica en la cual se desea instalar el panel.

$$\delta = 23,45^\circ * \text{sen} (360/365 * (284 + n))$$

Donde:

- φ es la latitud del lugar
- δ es la declinación solar
- H es la hora solar

n representa la cantidad de días transcurridos desde el 1 de enero, teniendo en cuenta lo anterior se procede a realizar los cálculos para encontrar el ángulo óptimo los días 10,11,12 y 13 de abril.

$$\cos \beta = \sin \varphi * \sin \delta + \cos \varphi * \cos \delta * \cos H$$

Tabla 1

Datos ángulo óptimo según la hora del día

Hora	Fecha	n	δ	φ	β	Promedio β
11:00:00 a. m.	10/04/2023	100	7,533	7,139	10,9	12
12:00:00 p. m.					11,9	
1:00:00 p. m.					12,9	
11:00:00 a. m.	11/04/2023	101	7,915		10,93	12
12:00:00 p. m.					11,9	
1:00:00 p. m.					12,91	
11:00:00 a. m.	12/04/2023	102	8,294		10,96	12
12:00:00 p. m.					11,94	
1:00:00 p. m.					12,93	
11:00:00 a. m.	13/04/2023	103	8,67		11,03	12
12:00:00 p. m.					11,98	
1:00:00 p. m.					12,96	

El ángulo de inclinación óptimo encontrado fue de 12 °, sin embargo, el banco fue construido para variar el ángulo cada 5° a partir de 10° hasta 45°, lo que indica que para realizar las prácticas el ángulo óptimo en algunos casos será de 10° y en otros de 15°, según la hora que se realice la toma de datos.

3.5 Elaboración de guías de laboratorio fotovoltaico

La guía teórica-práctica elaborada para el laboratorio de energía fotovoltaica está estructurada en cuatro partes, primero un preinforme que consta de una introducción al tema de energía fotovoltaica donde se dan los conceptos básicos y necesarios de comprender, para que al momento de realizar los laboratorios los estudiantes tengan los conceptos claros y les sea más fácil la ejecución de este. Las cuatro guías posteriores constan de toma de datos experimentales y utilización del banco, el cual se encuentra en el laboratorio de energías renovables junto con los instrumentos necesarios a utilizar.

3.5.1 Práctica N 1. Caracterización de un módulo solar

La caracterización de un módulo solar permite evaluar el rendimiento, mediante la medición de parámetros eléctricos como el voltaje de circuito abierto y la corriente de cortocircuito. La corriente de cortocircuito hace referencia a la corriente máxima que se puede obtener del panel fotovoltaico cuando los terminales se encuentran en cortocircuito, es decir, cuando la tensión es nula. Por otro lado, la tensión de circuito abierto corresponde a la tensión máxima que se puede obtener del panel fotovoltaico cuando la corriente es cero. En esta práctica se realiza la caracterización de los paneles monocristalino, policristalino y de silicio amorfo en condiciones de sitio de trabajo.

3.5.1 Práctica N 2. Influencia de la conexión serie-paralelo de los módulos solares sobre la corriente-voltaje de salida del sistema

El objetivo principal de esta práctica es realizar un análisis comparativo del comportamiento del voltaje y la corriente en un arreglo de paneles solares conectados en serie y en paralelo, ya que esto tiene una gran influencia sobre la corriente-voltaje de salida del sistema. Conexión de paneles en serie, la corriente total del sistema se mantiene igual que la corriente de

un solo. Pero cuando se conectan dos o más paneles en serie, el voltaje es la suma de cada uno. Por otro lado, si se conectan los paneles en paralelo, la corriente de cada panel se suma para producir una corriente total mayor y el voltaje permanece constante. La elección de utilizar una conexión en serie o en paralelo dependerá de los objetivos específicos del proyecto a realizar y de las limitaciones técnicas del sistema.

3.5.3 Práctica N 3. Influencia de la temperatura sobre los módulos solares

En la instalación de las placas solares, la temperatura es un factor importante que debe considerarse. El propósito de la práctica es identificar la influencia que tiene la temperatura en la eficiencia de los paneles y cómo se ve afectada cuando la temperatura de la celda solar aumenta. También es importante tener en cuenta que la temperatura ideal para el correcto funcionamiento de los paneles fotovoltaicos difiere según el fabricante y modelo. Algunos paneles ofrecen un mejor rendimiento en temperaturas bajas, mientras que otros funcionan de manera más eficiente en temperaturas elevadas.

3.5.4 Práctica N 4. Evaluar el efecto que tiene la variación del ángulo de inclinación en el módulo solar.

Cambiar el ángulo de inclinación en un módulo solar puede tener un efecto significativo en su eficiencia. El ángulo de inclinación hace referencia al ángulo formado por el panel en relación a la superficie horizontal. Este ángulo puede variar según la ubicación geográfica. En esta práctica se busca analizar cómo la variación del ángulo afecta el desempeño de una célula policristalina, monocristalina y silicio amorfo, ya que cuando el ángulo de inclinación del módulo es menor que el óptimo, la cantidad de luz solar que incide en el panel es menor y, por lo tanto, su rendimiento también disminuye. Por otra parte, cuando el ángulo de inclinación es mayor que el

óptimo, la luz solar puede reflejarse y no ser capturada adecuadamente por el panel, lo que también reduce su rendimiento.

4 Toma de datos y análisis de resultados

En esta sección se realiza la recolección de datos para la creación de la curva característica de cada tecnología de paneles, se realizan conexiones en serie y en paralelo, se ajusta el ángulo del panel y se expone el módulo al sol por un período determinado para evaluar cómo la temperatura afecta el rendimiento de los módulos solares. El propósito de esta recolección de datos es analizar de qué manera los factores mencionados anteriormente afectan la eficiencia de cada panel.

4.1 Datos y análisis de la Curva característica voltaje-potencia y voltaje corriente de los paneles monocristalinos, policristalino y de silicio amorfo.

La forma en que un panel solar genera energía eléctrica está determinada por diversos factores, la temperatura, como la radiación solar, el ángulo de inclinación y la resistencia de carga. Para conocer la curva característica en sitio de los paneles solares monocristalino, policristalino y amorfo, se utilizó el hardware y software de Arduino junto con un sensor de corriente, voltaje y una caja de resistencias para regular los valores de salida. Las instrucciones y las conexiones para la recolección de datos se encuentran en el manual de funcionamiento del banco en el anexo A.

Figura 21

Gráfico curva característica teórica y experimental del módulo monocristalino

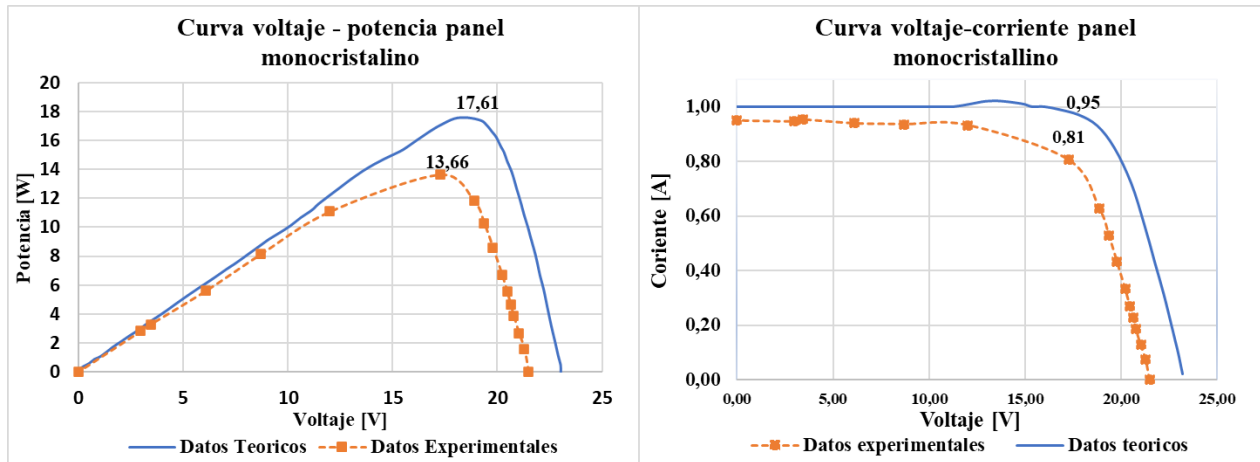


Tabla 2

Parámetros porcentaje de error de la curva característica panel monocristalino

Parámetros			
Voc Fabricante	18.56 [V]	Temperatura	Radiación
Isc Fabricante	0,95 [A]	25°C	1000
Voc Fabr-Corregido	18,50 [V]	Temperatura	Radiación
Isc Fabr-Corregido	0,96 [A]	38°C	1000
Voc Experimental	16,26 [V]	Temperatura	Radiación
Isc Experimental	0,81 [A]	38°C	1010
Variación porcentaje voltaje circuito abierto Voc = 12,10%			
Variación porcentaje corriente corto circuito Isc = 15,62 %			

En la figura 21 se comparan el comportamiento del panel monocristalino de acuerdo con las especificaciones proporcionadas por el fabricante (curva azul) y los resultados obtenidos en el experimento (curva naranja). A partir de esta gráfica, se calculan los parámetros de corriente y voltaje, y se determina la variación porcentual entre los datos teóricos y experimentales. En la tabla 2 se observan los valores obtenidos de la figura 21, y se corrige el valor del fabricante de 25°C a 38°C para obtener la variación porcentual a la misma temperatura. Se observa una variación porcentual del voltaje de circuito abierto del 12,10% y de la corriente de cortocircuito del 15,62%.

Es importante destacar que las condiciones especificadas por el fabricante se realizan bajo una radiación de 1000 [w/m²] y una temperatura de 25°C, según las condiciones estándar. Aunque se corrigió el valor para llevarlo a la misma temperatura de los datos experimentales, se presenta una variación porcentual alta del 12% debido a que los datos experimentales se tomaron en condiciones ambientales donde no es posible controlar la radiación, la velocidad del viento y las sombras. Estos factores influyen en los resultados y pueden explicar la variación observada.

Figura 22

Gráfico curva característica teórica - experimental del módulo policristalino

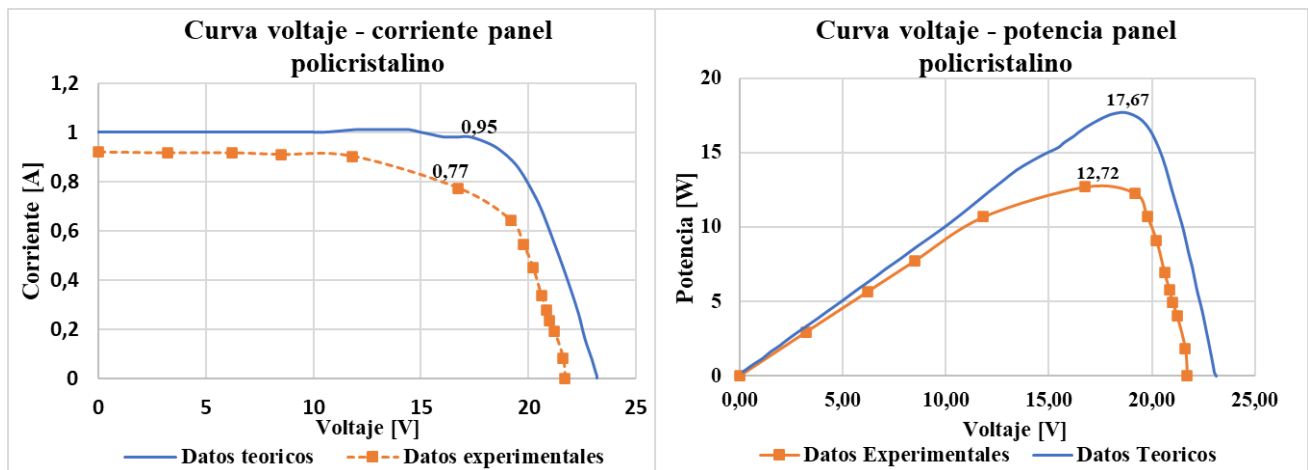


Tabla 3

Parámetros porcentaje de error de la curva característica panel policristalino

Parámetros			
Voc Fabricante	18,75 [V]	Temperatura	Radiación
Isc Fabricante	0,95 [A]	25°C	1000 [w/m ²]
Voc Fabr.Corregido	18,66 [V]	Temperatura	Radiación
Isc Fabr.Corregido	0,957 [A]	38°C	1000 [w/m ²]
Voc Experimental	16,75 [V]	Temperatura	Radiación
Isc Experimental	0,77 [A]	38°C	1010 [w/m ²]
Variación porcentaje voltaje de circuito abierto Voc = 10,23%			
Variación porcentaje de corto circuito Isc = 19,54%			

La Figura 22 ilustra el comportamiento de la curva característica del panel policristalino dada por el fabricante y se compara con la curva experimental. Se observa que la curva del

fabricante se encuentra por encima de la experimental y al comparar la corriente de corto circuito y el voltaje de circuito abierto teórico-experimental tabla 3, se tiene una variación porcentual en la corriente de corto circuito y voltaje de circuito abierto voltaje de 19.54% y 10.23% respectivamente. Este comportamiento se da porque la curva del fabricante fue tomada bajo condiciones controladas mientras que los datos experimentales se registraron a la intemperie, lugar donde no se podía controlar la velocidad del viento, la temperatura y la radiación.

Figura 23

Gráfico curva característica teórica - experimental del módulo amorfo

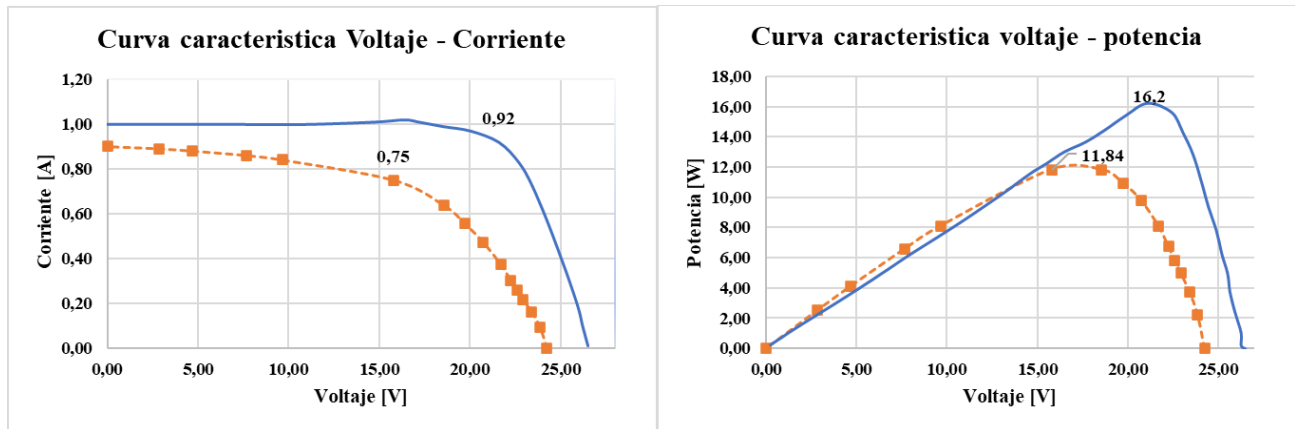


Tabla 4

Variación parámetros curva característica panel silicio amorfo

Parámetros			
Voc Fabricante	17,60 [V]	Temperatura 25°C	Radiación 1000 [w/m2]
Isc Fabricante	0,92 [A]		
Voc Fabr.Corregido	17,56 [V]	Temperatura 38°C	Radiación 1000 [w/m2]
Isc Fabr.Corregido	0,926 [A]		
Voc Experimental	16,75 [V]	Temperatura 38°C	Radiación 1010 [w/m2]
Isc Experimental	0,77 [A]		
Variación porcentaje voltaje de circuito abierto Voc = 4,61%			
Variación porcentaje de corriente corto circuito Isc = 16,85%			

Como se esperaba en la figura 23 se observa la curva característica del panel amorfo dada por el fabricante se encuentra por encima de la gráfica experimental. Una de las causas de esta

discrepancia puede ser atribuida a los parámetros ambientales no controlados durante la ejecución de las pruebas. Además, la variación de porcentaje de corriente en corto circuito y voltaje de circuito abierto es de 4.61% y 16.85% respectivamente tabla 4. A pesar de que la radiación fue de 1000 [W/m²], la temperatura de la celda alcanzó los 38°C, lo que afectó los resultados.

4.2 Datos y análisis de resultados de la Influencia de la conexión serie-paralelo de los módulos solares sobre la corriente-voltaje de salida del sistema

En este apartado se realizó la toma de datos de los paneles policristalinos, monocristalinos y silicio amorfo conectados en serie y paralelo, esto se realiza en condiciones no controladas, ya que la radiación solar, uno de los factores que más influye en la eficiencia del panel, es una variable que no se puede controlar a la intemperie, por tal razón en la toma de datos la radiación varía de 965[w/m²] a 1095 [w/m²] en un día soleado.

Tabla 5

Datos conexión en paralelo del panel monocristalino-día soleado

Area m ²	Ángulos	Corriente [A]	Voltaje [V]	Potencia [W]	Radiación [W/m ²]	Eficiencia
0,259						
PARALELO	0	1,97	21,3	41,96	1037	15,62
	10	1,98	21,3	42,17	1037	15,70
	15	1,98	21,2	41,98	1063	15,25
	20	1,81	21,2	38,37	1063	13,94
	25	1,79	21,6	38,66	1063	14,04
	30	1,83	21,4	39,16	1065	14,20
	35	1,82	21,2	38,58	1065	13,99
	40	1,81	21,1	38,19	1070	13,78
	45	1,79	21,1	37,77	1070	13,63

Tabla 6*Datos conexión en paralelo del panel policristalino-día soleado*

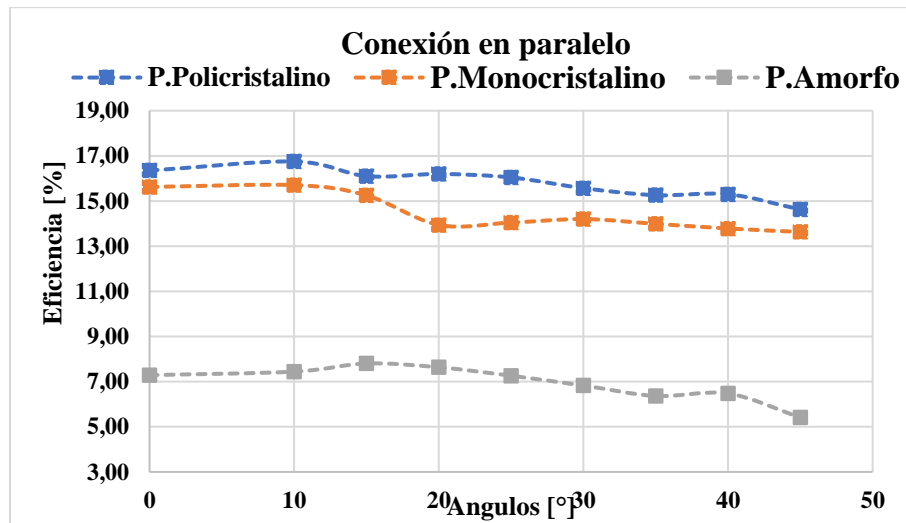
Area m ²	Ángulos	Corriente [A]	Voltaje [V]	Potencia [W]	Radiación [W/m ²]	Eficiencia
0,245						
PARALELO	0	2,05	21,2	43,46	1085	16,35
	10	2,1	21,3	44,73	1090	16,75
	15	2	21,5	43,00	1090	16,10
	20	2,04	21,3	43,45	1095	16,20
	25	2,03	21,2	43,04	1095	16,04
	30	1,97	21,2	41,76	1095	15,57
	35	1,94	21,1	40,93	1095	15,26
	40	1,9	21,5	40,85	1090	15,30
	45	1,86	21	39,06	1090	14,63

Tabla 7*Datos conexión en paralelo del panel amorfo – día soleado*

Area m ²	Ángulos	Corriente [A]	Voltaje [V]	Potencia [W]	Radiación [W/m ²]	Eficiencia
0,6402						
PARALELO	0	1,9	24,3	46,17	990	7,28
	10	1,9	24,2	45,98	965	7,44
	15	2	24,1	48,20	965	7,80
	20	1,99	23,7	47,16	965	7,63
	25	1,91	23,6	45,08	970	7,26
	30	1,83	23,4	42,82	980	6,83
	35	1,73	23,2	40,14	985	6,36
	40	1,75	23,2	40,60	980	6,47
	45	1,47	23,1	33,96	980	5,41

Figura 24

Gráfico conexión paralela de las tres tecnologías de paneles-día soleado



La figura 24 obtenida a partir de las tablas 5,6 y 7 se muestra que las células policristalinas, monocristalinas y silicio amorfo alcanzan su eficiencia máxima en el ángulo de inclinación óptimo. En concreto, el panel policristalino es un 6,26% más eficiente que el monocristalino debido a una mayor radiación incidente en el momento en que se realizó la recopilación de los datos. En cuanto al panel de silicio amorfo, se evidencia una eficiencia un 53,43% menor que la del panel policristalino y un 50,32% menor que la del monocristalino. Es importante mencionar que estos resultados están condicionados a la conexión en paralelo de los paneles.

Tabla 8

Datos conexión en serie del panel policristalino – día soleado

Area m ²	Ángulos	Corriente [A]	Voltaje [V]	Potencia [W]	Radiación [W/m ²]	Eficiencia
0,245						
SERIE	0	0,98	43	42,14	1079	15,94
	10	0,98	44	43,12	1079	16,31
	15	0,99	43,2	42,77	1079	16,18
	20	0,99	42,9	42,47	1079	16,07
	25	0,97	42,7	41,42	1060	15,95
	30	0,97	42,4	41,13	1060	15,84
	35	0,97	42,3	41,03	1060	15,80
	40	0,96	42,3	40,61	1050	15,79
	45	0,95	42,2	40,09	1050	15,58

Tabla 9

Datos conexión en serie del panel monocristalino – día soleado

Area m ²	Ángulos	Corriente [A]	Voltaje [V]	Potencia [W]	Radiación [W/m ²]	Eficiencia
0,259						
SERIE	0	1,08	41,9	45,25	1050	16,64
	10	1,09	41,8	45,56	1050	16,75
	15	1,08	41,2	44,50	1060	16,21
	20	1,02	42,4	43,25	1060	15,75
	25	1,01	42,2	42,62	1070	15,38
	30	1,01	42,1	42,52	1070	15,34
	35	1,01	41,9	42,32	1080	15,13
	40	0,98	41,7	40,87	1085	14,54
	45	0,95	42,6	40,47	1080	14,47

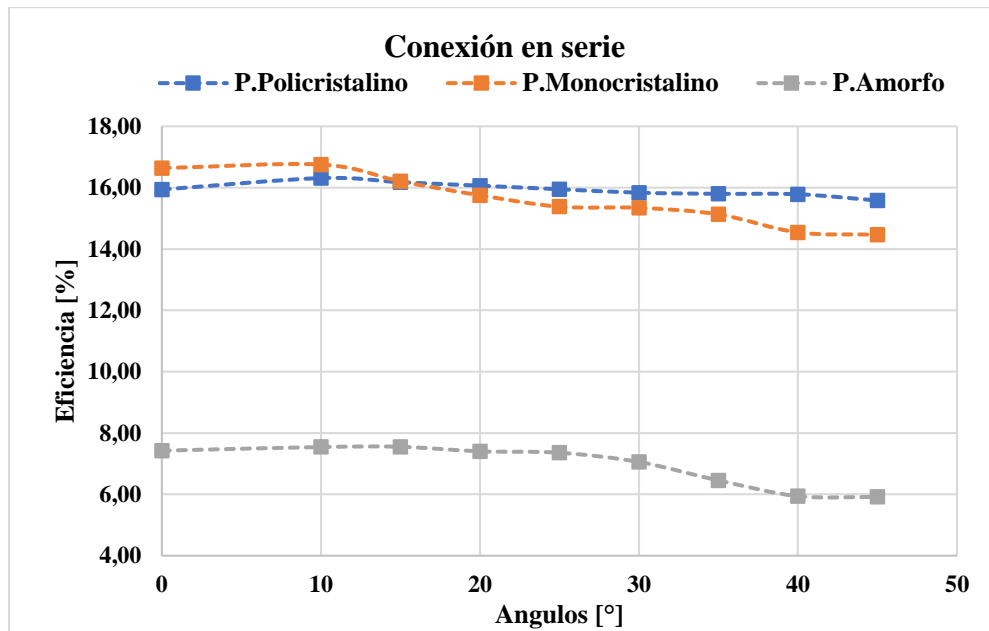
Tabla 10

Datos conexión en serie del panel amorfo – día soleado

Area m ²	Ángulos	Corriente [A]	Voltaje [V]	Potencia [W]	Radiación [W/m ²]	Eficiencia
0,6402						
SERIE	0	0,93	48,5	45,11	949	7,42
	10	0,94	48,6	45,68	946	7,54
	15	0,95	48,7	46,27	957	7,55
	20	0,94	48,2	45,31	956	7,40
	25	0,94	47,9	45,03	956	7,36
	30	0,93	47,4	44,08	976	7,05
	35	0,86	47,1	40,51	980	6,46
	40	0,8	46,6	37,28	980	5,94
	45	0,79	46,5	36,74	970	5,92

Figura 25

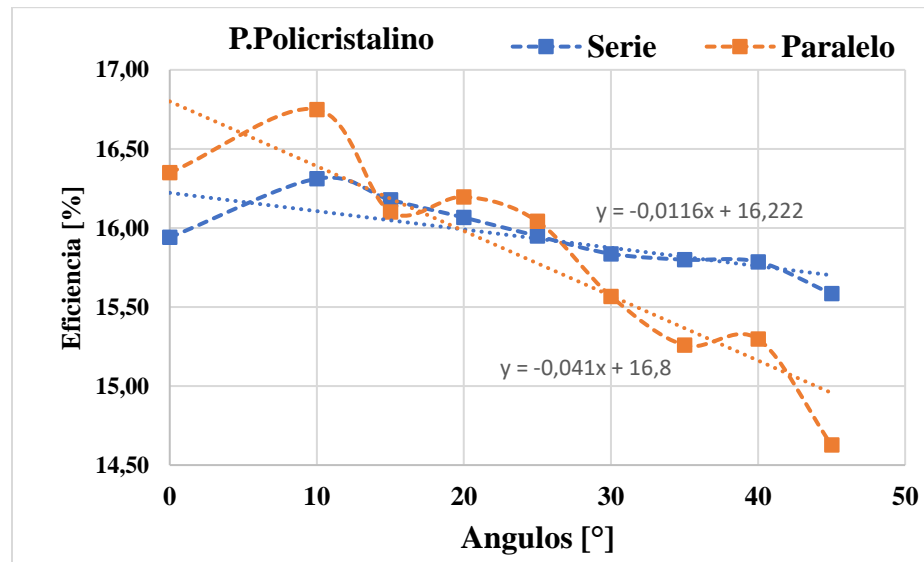
Gráfica conexión serie de las tres tecnologías de paneles-día soleado



La Figura 25 presenta una comparación de eficiencia entre paneles monocristalinos, policristalinos y de silicio amorfo conectados en serie, obtenida a partir de las tablas 8, 9 y 10. Se observa que los módulos monocristalino y policristalino alcanzan su mayor eficiencia en un ángulo de 10° mientras el de silicio amorfo la alcanza en un ángulo de 15°. En estas posiciones, se evidencia que la celda monocristalina es un 2,62% más eficiente que la policristalina y un 54,93% más eficiente que la de silicio amorfo. Cabe resaltar que la eficiencia de la celda de silicio amorfo esta en 15° debido a la posición del sol ya que los datos fueron tomados en el rango horario de 11am a 2pm.

Figura 26

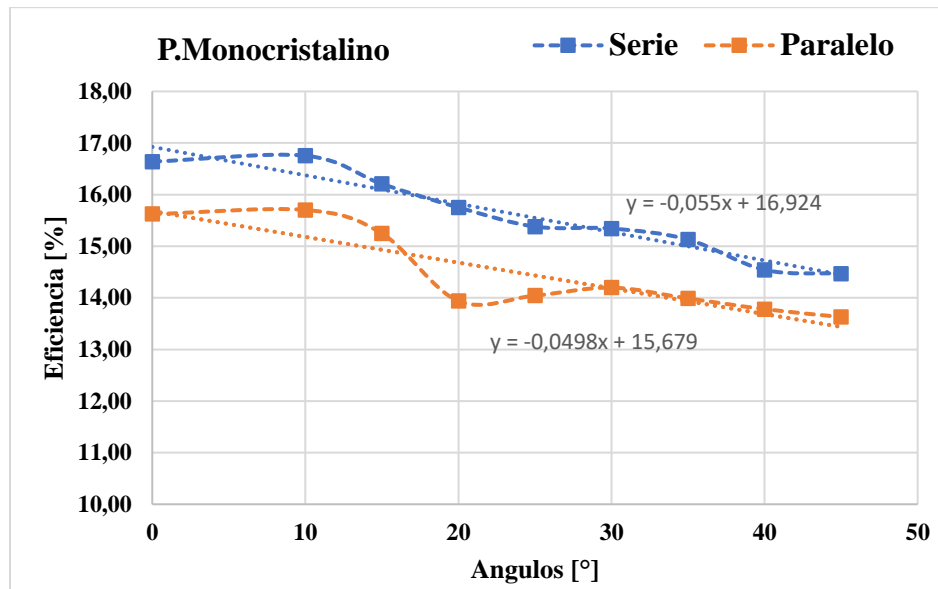
Gráfico conexión en serie - paralelo del panel policristalino – día soleado



En la figura 26 obtenida a partir de las tablas 5 y 8, muestra que la conexión en paralelo alcanza el valor de eficiencia más alto, llegando al 15,70% a un ángulo de 10°. Asimismo, se puede observar que a medida que se cambia el ángulo, la eficiencia disminuye debido a las variaciones en la cantidad de radiación solar que incide sobre la celda. Por otro lado, se puede apreciar que la conexión en paralelo presenta el valor mínimo de eficiencia, siendo este de 14,625% a un ángulo de 45°. Además, se evidencia que el gráfico de la conexión en serie presenta una pendiente menor de -0,116 en comparación con la conexión en paralelo que es de -0,041. Esto se atribuye al cambio en la radiación durante la toma de datos, ya que la radiación en serie mostró una mayor estabilidad.

Figura 27

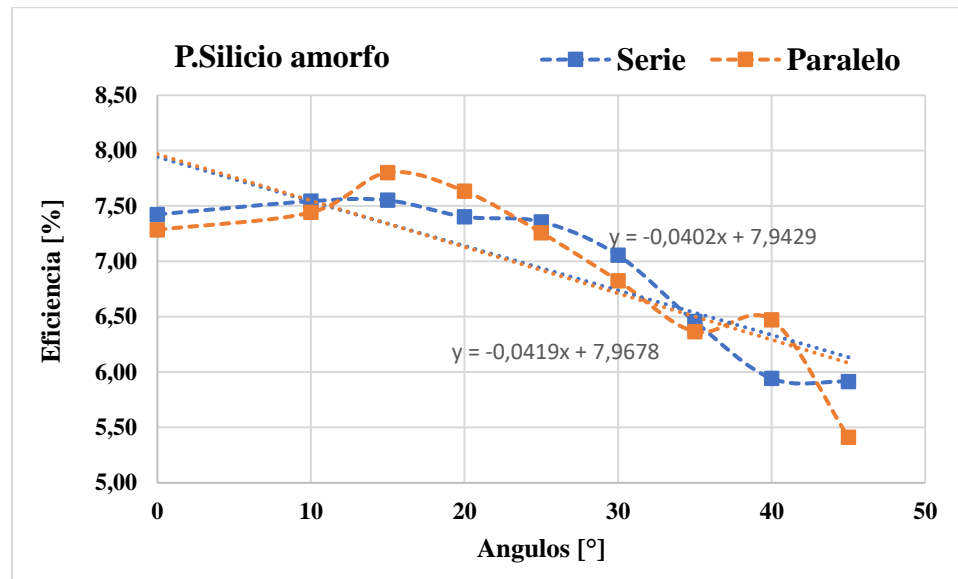
Gráfico conexión en serie-paralelo del panel monocristalino – día soleado



En la figura 27 obtenida a partir de las tablas 6 y 9 se aprecia que la conexión en serie obtiene una eficiencia mayor, con el 16,75% cuando el panel se encuentra en un ángulo de 10°. Se observa que la eficiencia de las células varía a medida que se modifica el ángulo de incidencia donde la pendiente de la gráfica que corresponde a la conexión en serie tiene una pendiente mayor, siendo de -0,055 mientras la conexión en paralelo presenta una pendiente menor que corresponde a -0.0498. También se observa que la conexión en paralelo tiene el valor mínimo de eficiencia, del 13,63% cuando se encuentra en un ángulo de 45°.

Figura 28

Gráfico conexión en serie-paralelo del panel amorfo – día soleado



En la figura 28 obtenida a partir de las tablas 7 y 10, muestra la conexión en serie y paralelo del panel de silicio amorfo, en esta figura se observa que la conexión en paralelo tiene la mayor eficiencia con un valor del 7,8% a un ángulo de inclinación de 15° con una eficiencia mínima en el ángulo de 45°. De igual manera se observa las pendientes de las conexiones en serie y paralelo presentan similitudes las cuales son -0.0402 y -0.0419 respectivamente.

Tabla 11

Datos conexión en serie del panel policristalino-día nublado

Area m ²	Ángulos	Voltaje [V]	Corriente [A]	Potencia [W]	Iluminación [W/m ²]	Eficiencia [%]
0,245						
SERIE	0	41,8	0,33	13,79	394	14,29
	10	42,2	0,39	16,46	394	17,05
	15	41,9	0,34	14,25	362	16,06
	20	42	0,35	14,70	362	16,57
	25	42	0,36	15,12	432	14,29
	30	41,9	0,36	15,08	432	14,25
	35	41,2	0,34	14,01	422	13,55
	40	41,6	0,32	13,31	388	14,00
	45	41,6	0,32	13,31	388	14,00

Tabla 12

Datos conexión en serie del panel monocristalino-día nublado

Area m ²	Ángulos	Voltaje [V]	Corriente [A]	Potencia [W]	Radiación [W/m ²]	Eficiencia [%]
0,259						
SERIE	0	41,8	0,5	20,90	378	21,35
	10	41,8	0,51	21,32	378	21,77
	15	41,7	0,5	20,85	432	18,63
	20	41,4	0,44	18,22	432	16,28
	25	41,4	0,49	20,29	432	18,13
	30	41,3	0,45	18,59	406	17,67
	35	41,4	0,48	19,87	406	18,90
	40	41,3	0,41	16,93	406	16,10
	45	41,3	0,38	15,69	406	14,92

Tabla 13

Datos conexión en serie del panel amorfo-día nublado

Area m ²	Ángulos	Corriente [A]	Voltaje [V]	Potencia [W]	Radiación [W/m ²]	Eficiencia [%]
0,6402						
SERIE	0	0,24	46,9	11,26	323	5,44
	10	0,24	46,9	11,26	322	5,46
	15	0,23	46,9	10,79	320	5,27
	20	0,23	46,8	10,76	320	5,25
	25	0,22	46,7	10,27	320	5,02
	30	0,22	46,6	10,25	318	5,04
	35	0,21	46,6	9,79	318	4,81
	40	0,2	46,5	9,30	316	4,60
	45	0,19	46,3	8,80	316	4,35

Tabla 14

Conexión paralela del panel policristalino- día nublado

Area m ²	Ángulos	Voltaje [V]	Corriente [A]	Potencia [W]	Radiación [W/m ²]	Eficiencia [%]
0,245						
PARALELO	0	20,8	0,59	12,27	359	13,95
	10	21	0,64	13,44	352	15,58
	15	21	0,62	13,02	352	15,10
	20	20,9	0,6	12,54	341	15,01
	25	20,9	0,6	12,54	341	15,01
	30	20,9	0,58	12,12	352	14,06
	35	20,9	0,58	12,12	352	14,06
	40	20,9	0,57	11,91	341	14,26
	45	20,9	0,57	11,91	341	14,26

Tabla 15

Conexión paralela del panel monocristalino- día nublado

Area m ²	Ángulos	Voltaje [V]	Corriente [A]	Potencia [W]	Radiación [W/m ²]	Eficiencia [%]
0,259						
PARALELO	0	20	1,1	22,00	450	18,88
	10	21,1	1,15	24,27	450	20,82
	15	20,8	1,13	23,50	441	20,58
	20	20,7	1,1	22,77	441	19,94
	25	20,6	1,11	22,87	427	20,68
	30	20,4	0,88	17,95	427	16,23
	35	20,4	0,81	16,52	415	15,37
	40	20,4	0,78	15,91	411	14,95
	45	20	0,82	16,40	424	14,93

Tabla 16

Conexión paralela del panel amorfo - día nublado

Area m ²	Ángulos	Corriente [A]	Voltaje [V]	Potencia [W]	Radiación [W/m ²]	Eficiencia [%]
0,6402						
PARALELO	0	0,46	23	10,58	311	5,31
	10	0,46	23,3	10,72	311	5,38
	15	0,45	23,3	10,49	311	5,27
	20	0,45	23,3	10,49	309	5,30
	25	0,43	23,2	9,98	308	5,06
	30	0,42	23,2	9,74	308	4,94
	35	0,4	23,1	9,24	308	4,69
	40	0,39	23,1	9,01	302	4,66
	45	0,37	23	8,51	302	4,40

Figura 29

Gráfico conexión serie de las tres tecnologías de paneles-día nublado

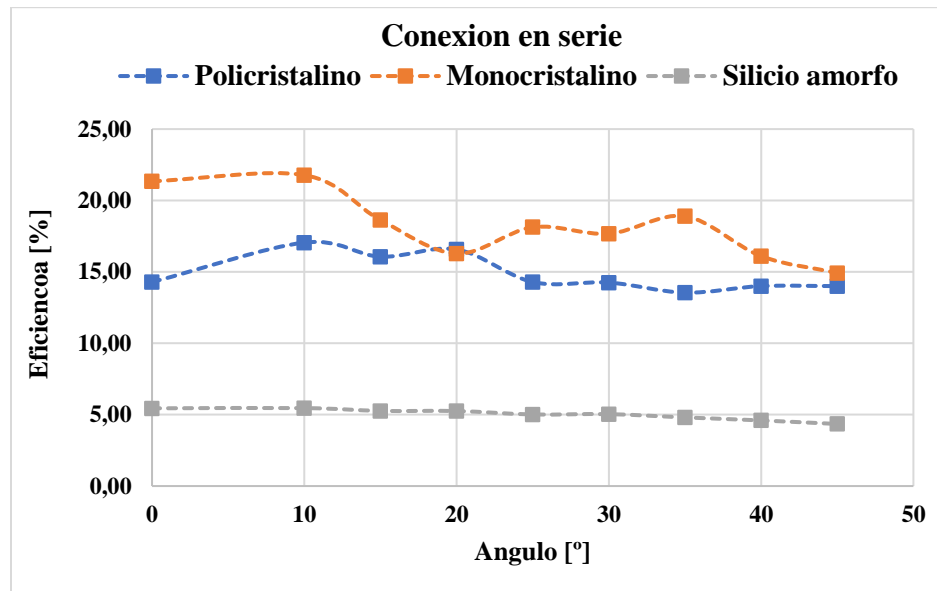
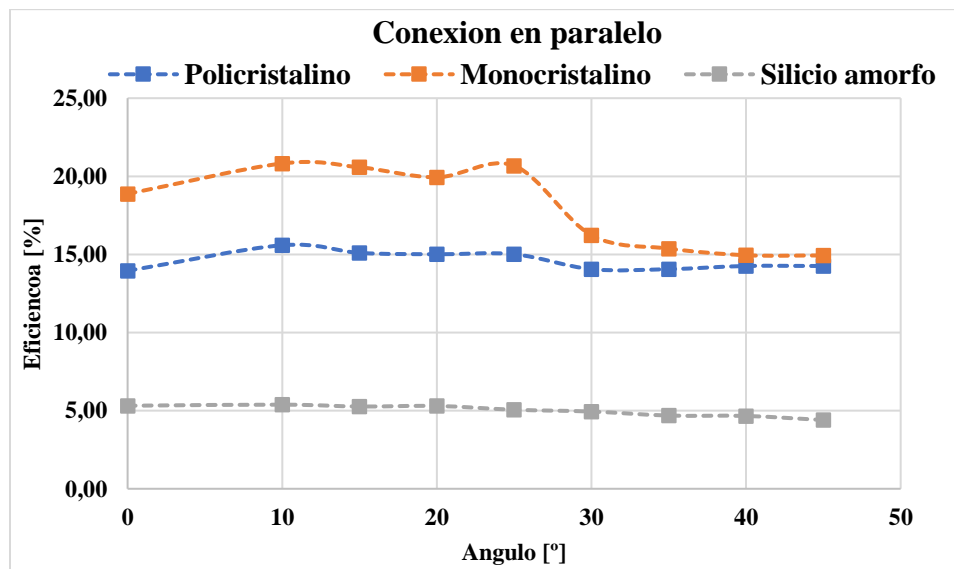


Figura 30

Gráfico conexión paralela de las tres tecnologías de paneles-día nublado

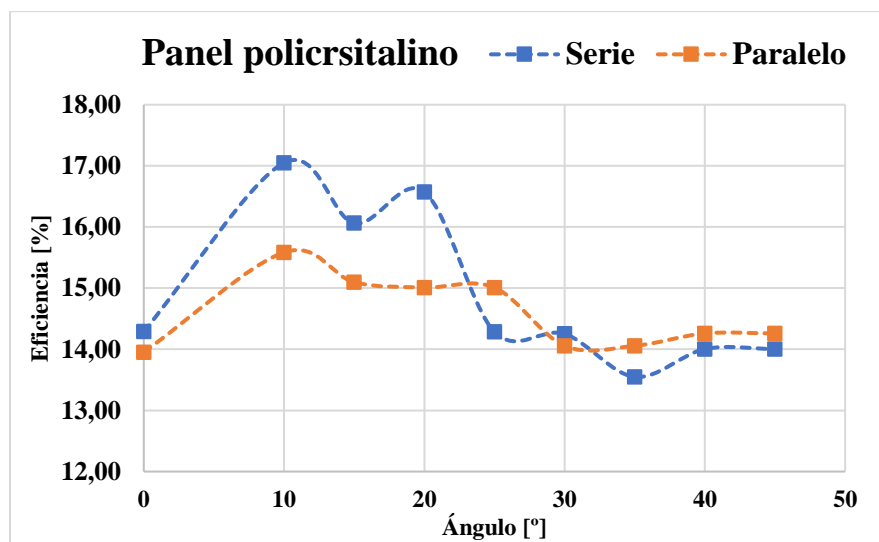


En los gráficos presentados en las figuras 29 y 30 se muestra el desempeño de paneles solares monocristalinos, policristalinos y de silicio amorfo conectados en serie y paralelo en un día nublado, con una radiación que varía entre 341[w/m²] y 450[w/m²]. Se puede apreciar

claramente que el panel monocristalino es el más eficiente, siendo aproximadamente un 25,16% mayor que el módulo policristalino y un 74,14% mayor que el módulo de silicio amorfo. Los datos fueron recopilados entre las 11:00 am y la 1:00 pm, y se registraron picos de corriente y voltaje durante este tiempo, lo que indica un aumento en la radiación solar. Es importante mencionar que la prueba se llevó a cabo en condiciones no controladas.

Figura 31

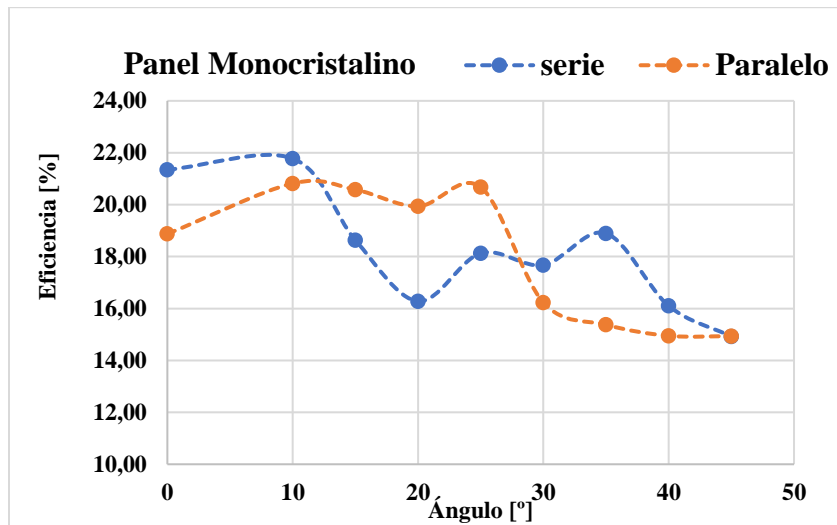
Gráfico conexión en serie-paralelo del panel policristalino – día nublado



En la Figura 31 se presentan los datos correspondientes al voltaje, corriente y potencia mientras se variaba el ángulo en relación con la horizontal entre las 11:00 a.m. y la 1:00 p.m., lo que permitió observar cómo cambia la eficiencia del panel solar. Los resultados revelaron que se logra la máxima eficiencia cuando el panel se inclina a un ángulo de 10 grados para ambas conexiones, con una eficiencia del 17,05% para la conexión en serie y del 15,58% para la conexión en paralelo. En particular, se demostró que la conexión en serie es más eficiente para el panel policristalino. Cabe mencionar que estos datos fueron tomados a condiciones ambientales, donde no es posible regular la cantidad de radiación solar y la velocidad del viento lo que influye en la eficiencia de los paneles.

Figura 32

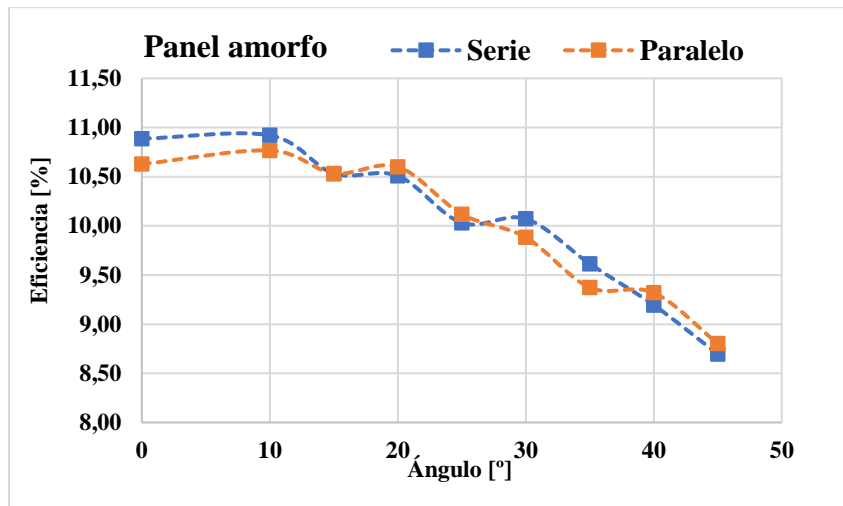
Gráfico conexión en serie-paralelo del panel monocristalino – día nublado



Entre las 11:00 a.m. y la 1:00 p.m. se tomaron datos que demostraron que la mayor eficiencia se alcanza a un ángulo de inclinación de 10°, con un rendimiento máximo del 20,82% para la conexión en paralelo y del 21,77% para la conexión en serie. En el caso de la tecnología monocristalina, se encontró que la conexión en paralelo es la más eficiente, así como se puede apreciar en la Figura 32.

Figura 33

Gráfico conexión en serie-paralelo del panel amorfo – día nublado



La Figura 33 muestra la representación gráfica del desempeño del panel solar de silicio amorfo en un día nublado, estos datos fueron tomados en el rango horario de 11:00am a 01:00pm en donde se obtuvo la mayor eficiencia en el ángulo 10° respecto a la vertical, la cual corresponde a 5,46% en la conexión serie y 5,38% para la conexión paralelo, siendo la conexión en serie la más eficiente.

Finalmente podemos decir que al implementar un sistema fotovoltaico se recomienda el uso de celdas monocristalinas debido a su mayor eficiencia en comparación con las policristalinas y las de silicio amorfo. La elección de la conexión dependerá del requerimiento específico, así se pueden sumar voltajes, corrientes o ambos, y seleccionar el panel de mayor calidad y rendimiento actualmente disponible en el mercado. Es relevante destacar que las celdas o módulos fotovoltaicos no se ven afectadas en su vida útil al realizar conexiones en serie, paralelo o mixtas, siempre y cuando se realice una conexión adecuada que no exceda la capacidad del controlador, inversor y baterías puesto que una sobrecarga puede dañarlos.

4.3 Datos y análisis de resultados de cómo influye la temperatura en la eficiencia del panel solar.

Para recopilar datos y analizar la temperatura del módulo, se realizó una comparación entre los valores del fabricante (condiciones estándar STC) y los valores teóricos. Dado que la radiación es una variable que no se puede controlar en exteriores, el panel se expuso al sol en la posición óptima durante 15 minutos. Con la ayuda de una plataforma meteorológica llamada Weatherlink, se registraron los valores de radiación solar cada minuto para calcular el promedio y utilizarlo como la radiación promedio teórica del sitio. Esto se hizo para comparar los parámetros del panel en condiciones de temperatura e irradiación específicas del sitio y así determinar el porcentaje de eficiencia del módulo durante la operación. A continuación, se explica el método empleado para determinar la temperatura teórica de funcionamiento de la celda solar para cada tecnología de panel

T_{cs} = Temperatura de celda en el sitio

$T(\text{NOCT})$ = Temperatura nominal NOCT

$T_a(\text{NOCT})$ = Temperatura ambiente NOCT

T_c = Temperatura de operación de la celda

$R(\text{Sitio})_{\text{prom}}$ = Radiación promedio en sitio

G_s = Radiación en sitio

$R(\text{NOCT})$ = Radiación condición estándar

$$T_c = T_{cs} + \left[\left(T(\text{NOCT}) - T_a(\text{NOCT}) \right) * \frac{G_s}{G(\text{NOCT})} \right] \quad (1)$$

$T_c(\text{STC})$ = Temperatura de celda a STC

Tabla 17

Parámetros a condiciones estándar de cada panel solar

Panel	Ta(NOCT) °C	T(NOCT) °C	R(NOCT) [w/m2]	R(Sitio)Prom [w/m2]	Tcs °C	Tc °C
P.Monocristalino	20	47	800	1049	27	62
P.Policristalino	20	45	800	1052	27	60
P.Silicio Amorfo	20	47	800	956	27	53

Los datos en condiciones estándar para cada panel solar se registran en la tabla 17, junto con la temperatura ambiente en el momento de la práctica y la radiación calculada promedio. Esta radiación teórica promedio se utiliza para determinar la temperatura teórica del sitio en el que se encuentra el panel. Una vez determinadas las temperaturas de funcionamiento de las celdas para cada tipo de panel, se calcula la variación de corriente, tensión y potencia.

$$T_c(\text{STC}) = \text{Temperatura de celda a STC}$$

$$\Delta T = T_c - T_c(\text{STC})$$

$$\alpha_T = \text{coeficiente temperatura \% corriente}$$

$$\beta_T = \text{coeficiente temperatura \% voltaje}$$

$$\gamma_T = \text{coeficiente temperatura \% potencia}$$

$$\text{Variación potencia } P_{\text{max}} \% = \gamma_T * \Delta T$$

$$\text{Variación voltaje } V_{\text{oc}} \% = \beta_T * \Delta$$

Tabla 18

Parámetros variación en % de corriente, potencia y voltaje

Panel	Diferencia temperatura ΔT	Variacion % Pm	Variacion % Voc	Variacion % Isc
P.Monocristalino	35	-16,14	-13,68	2,85
P.Policristalino	33	-18,15	-13,30	1,98
P.Silicio Amorfo	26	-15,86	-9,28	1,63

Con los valores de la variación en porcentajes y los valores de la ficha técnica en condiciones STC, se calculan los valores finales corregidos de potencia, corriente y voltaje.

$$\text{Valor Imp corregido} = V_{\text{ImpC}}$$

$$V_{\text{ImpC}} = \left(\frac{(100\% + \alpha T * \Delta T)}{100\%} \right) (\text{Imp a STC})$$

$$\text{Valor Vmp corregido} = V. V_{\text{mpC}}$$

$$V. V_{\text{mpC}} = \left(\frac{(100\% + \beta T * \Delta T)}{100\%} \right) (V_{\text{mp a STC}})$$

$$\text{Valor Pmax corregido} = V. P_{\text{maxC}}$$

$$V. P_{\text{maxC}} = \left(\frac{(100\% + \gamma T * \Delta T)}{100\%} \right) (P_{\text{max a STC}})$$

$$\text{Valor Isc corregido} = V_{\text{IscC}}$$

$$V_{\text{IscC}} = \left(\frac{(100\% + \alpha T * \Delta T)}{100\%} \right) (\text{Isc a STC})$$

$$V. V_{\text{ocC}} = \text{Valor Voc corregido}$$

$$V. V_{\text{ocC}} = \left(\frac{(100\% + \beta T * \Delta T)}{100\%} \right) (V_{\text{oc a STC}})$$

Tabla 19

Parámetros de corriente, potencia y voltaje corregidos

Panel	V.VmpC [V]	V.ImpC [A]	V.PmaxC [W]	V.VocC [V]	V.IscC [A]
P.Monocristalino	15,54	0,851	12,58	18,99	0,94
P.Policristalino	16,59	0,836	12,277	19,55	0,87
P.Silicio Amorfo	19,95	0,863	12,057	22,68	0,874

Una vez se han corregido los parámetros de cada celda solar se tabula la tabla comparativa de los parámetros del fabricante y los datos obtenidos para cada tipo de panel.

Tabla 20

Parámetros teóricos y del fabricante de cada panel solar

	Panel Amorfo		P.Monocristalino		P.Policristalino	
	Ficha tecnica	Datos Toericos	Ficha tecnica	Datos Toericos	Ficha tecnica	Datos Toericos
Vmp [V]	22	19,95	18,00	15,54	18,41	16,59
Imp [A]	0,85	0,863	0,83	0,851	0,82	0,851
Voc [V]	25	22,68	22,00	18,99	22,55	19,55
Isc [A]	0,94	0,874	0,92	0,94	0,86	0,87
Pmax[W]	15	12,057	15	12,58	15	12,27
Eficiencia teorica respecto ficha tecnica						
Eficiencia	80,38%		83,86%		81,80%	
Eficiencia del panel solar con datos teoricos						
Eficiencia	6,19%		17,85%		13,88%	

La Tabla 20 presenta datos proporcionados por el fabricante y datos teóricos. con base en la tabla, se puede apreciar que se produce una disminución en el voltaje máximo, la potencia máxima y el voltaje de circuito abierto, mientras que la corriente máxima muestra un incremento, en comparación con los datos del fabricante. También se determinó la eficiencia teórica en el sitio de cada panel solar y se encontró que era superior al 80%. Esto sugiere que cada panel no está

funcionando a su máxima potencia en condiciones operativas, y el panel más eficiente es el panel monocristalino, seguido por los paneles policristalinos y de silicio amorfo.

4.4 Datos y análisis de resultados de los paneles solares variando en ángulo de inclinación.

A continuación, se presentan los resultados de las pruebas que muestran la variación de los ángulos de inclinación en un día soleado y un día nublado para cada tipo de panel (monocristalino, policristalino y de silicio amorfo). Además, se realiza un análisis de los resultados para determinar el ángulo óptimo en el que cada panel debe ser inclinado según la hora del día.

Tabla 21

Datos para la práctica de variación del ángulo en el módulo monocristalino día soleado.

Datos práctica ángulos - Panel Monocristalino						
Area m ²	Ángulos	Corriente [A]	Voltaje [V]	Potencia [W]	Radiación [W/m ²]	Eficiencia
0,1295	0	1	21,3	21,3	980	16,78
	10	1	21,2	21,2	980	16,70
	15	1,1	21,2	23,32	990	18,19
	20	0,99	21,1	20,889	990	16,29
	25	0,98	20,8	20,384	1000	15,74
	30	0,98	20,9	20,482	1000	15,82
	35	0,96	20,8	19,968	980	15,73
	40	0,92	20,7	19,044	980	15,01
	45	0,87	20,6	17,922	953	14,52

Tabla 22

Datos para la práctica de variación del ángulo en el módulo policristalino día soleado.

Datos práctica ángulos -Panel Policristalino						
Area m ²	Ángulos	Corriente [A]	Voltaje [V]	Potencia [W]	Radiación [W/m ²]	Eficiencia
0,1225	0	0,94	21,7	20,398	990	16,82
	10	0,94	21,7	20,398	1000	16,65
	15	0,98	21,6	21,168	1000	17,28
	20	0,97	21,6	20,952	1041	16,43
	25	0,95	21,5	20,425	1041	16,02
	30	0,93	21,4	19,902	1041	15,61
	35	0,91	21,3	19,383	1051	15,06
	40	0,88	21,2	18,656	1051	14,49
	45	0,86	21,1	18,146	1051	14,09

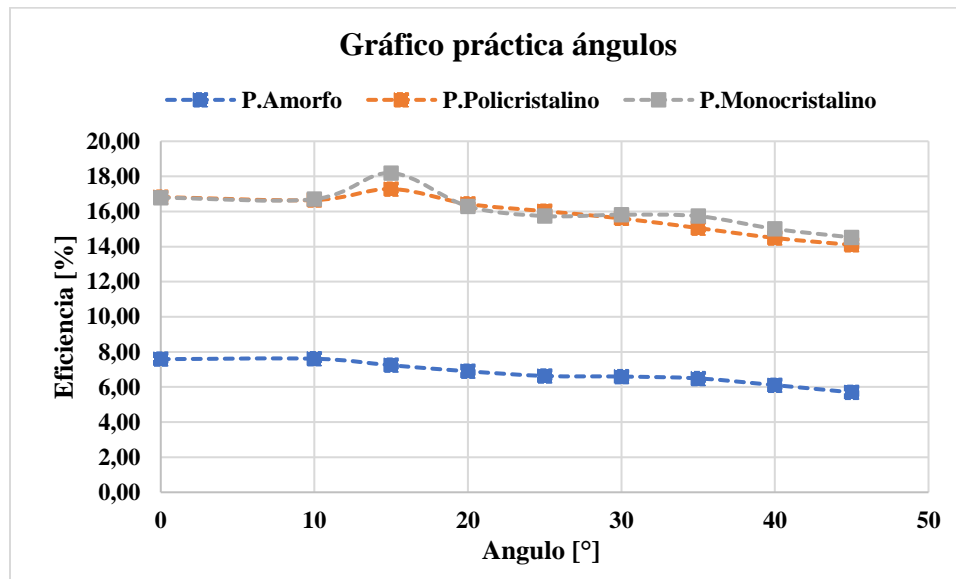
Tabla23

Datos para la práctica de variación del ángulo en el módulo amorfo día soleado

Datos práctica ángulos - Panel Amorfo						
Area m ²	Ángulos	Corriente [A]	Voltaje [V]	Potencia [W]	Radiación [W/m ²]	Eficiencia
0,3201	0	0,93	25,2	23,436	965	7,59
	10	0,94	25	23,5	965	7,61
	15	0,92	24,3	22,356	965	7,24
	20	0,88	24,2	21,296	965	6,89
	25	0,84	24	20,16	950	6,63
	30	0,84	23,9	20,076	951	6,59
	35	0,83	23,8	19,754	951	6,49
	40	0,79	23,7	18,723	958	6,11
	45	0,74	23,6	17,464	958	5,69

Figura 34

Gráfico variación de ángulos de las tres tecnologías de paneles día soleado.

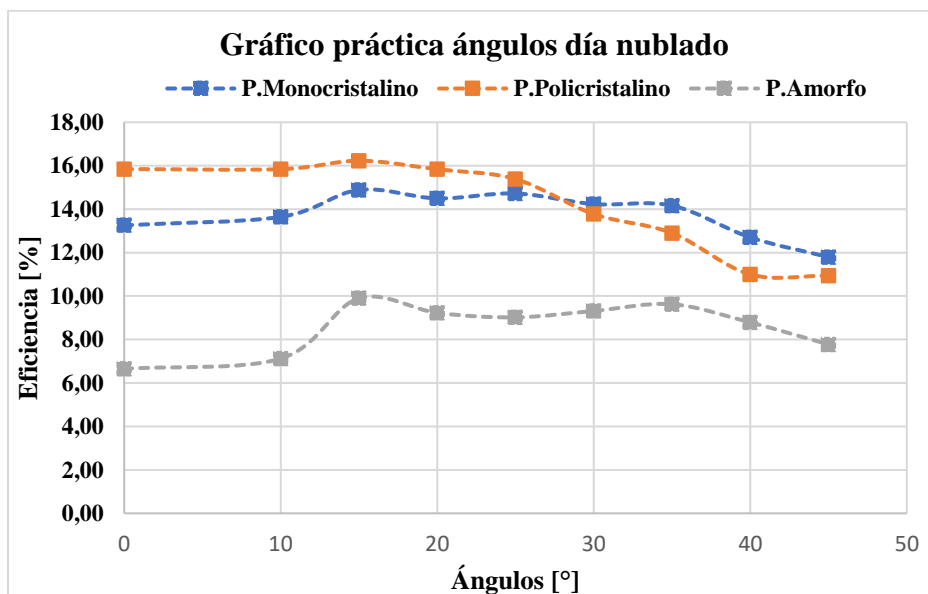


En las tablas 21,22 y 23 se presentan los datos de conexión de un panel fotovoltaico de cada tecnología monocristalino, policristalino y amorfo, la toma de datos se realizó con el fin de identificar el comportamiento de acuerdo con el ángulo de inclinación e identificar la posición óptima del panel. Los resultados indicaron que el ángulo óptimo para los paneles policristalino y monocristalino es un ángulo de 15° y para el panel amorfo es un ángulo de 10°, lo que confirma

el cálculo teórico realizado en la sección 3.4 de funcionamiento del panel. La variación de 5° se debe al cambio de posición del sol durante la toma de datos realizada entre las 11:00 a.m. y la 1:00 p.m. La figura 34 muestra que el panel monocristalino es el más eficiente, con una variación de 9,05%, el policristalino con un 4,4 % y el amorfo del 41%, cada uno de estos valores representa la variación porcentual del valor experimental calculado y teórico dado. Los valores teóricos son 20%, 18% y 13% respectivamente

Figura 35

Gráfica variación ángulos tres tecnologías de paneles en un día nublado.



Durante los días nublados, la eficiencia de los paneles solares se ve afectada por la disminución de la cantidad de luz solar incidente que alcanza la superficie del panel. En la gráfica 35, se muestra cómo los paneles monocristalinos, policristalino y de silicio amorfo se desempeñan en un día nublado. Durante este día, la radiación solar osciló entre 374 w/m² y 615w/m² entre las 11:00 a.m. y la 1:00 p.m. La gráfica muestra que el panel policristalino supera en eficiencia a los paneles monocristalino y silicio amorfo en condiciones de baja radiación solar. Esto se da ya que al momento de tomar los datos la cantidad de radiación solar recibida por el panel policristalino

fue un poco mayor a la intensidad de radiación solar que llega al panel monocristalino. Se da claridad sobre esto porque los paneles monocristalinos son más sensibles a la radiación difusa.

4.5 Análisis costo-eficiencia de un sistema fotovoltaico

A continuación, se analiza de forma clara y concisa el costo que tendría implementar un sistema fotovoltaico monocristalino comparado con un policristalino para dos bombillos de 7W y un televisor de 90W con el fin de analizar el costo en el consumo y ahorro de estos dispositivos con un valor futuro.

Nota: los valores obtenidos de batería, controlador de carga y el inversor de carga sirven para las dos tecnologías.

Tabla 24

Datos panel del panel monocristalino.

Mono cristalino	Corriente	Eficiencia	Potencia nominal	Potencia [W]	N° de paneles	Potencia total [W]	Generación [hora/día]	Potencia [Wh/día]	Potencia [KWh/año]
Voltaje [V]	[A]	[%]							
22	0,92	18,19	15	17,73	2	35,46	8	283,656	2042,32

En la tabla 24 se enuncian las magnitudes de voltaje, corriente y potencia nominal del módulo monocristalino, de igual manera se muestra la cantidad de módulos a usar, la cantidad de horas en la cual se estará entregando la potencia de 17.73W de cada panel y la potencia generada en 20 años.

Tabla 25

Datos de consumo de dos bombillos y un televisor para el cálculo de la batería (requerimientos).

	Cantidad	consumo [W]	Uso [hora/día]	Consumo [Wh/día]	Autonomia [días]	Voltaje batería [V]	Capacidad [Ah]
Bombillo	2	7	5	70	1	12	24,58
Televisor	1	90	2,5	225		Se puede usar una batería de 12 V 28Ah	
		Total [WH/día]		295			
		Total [KWH/año]		2124			

En la tabla 25 se indican los valores de consumo de dos bombillos y un televisor durante 5 y 2.5 horas diarias respectivamente. La autonomía hace referencia La cantidad de días en los que la batería puede mantener su capacidad de entrega de carga sin necesidad de ser recargada, el voltaje es el que se tendrá de la batería que se desee comprar (seleccionada por ser común en el mercado) en este caso de 12V y la capacidad se halla por ley de ohm usando el valor de 295 ya que esta será la carga requerida diariamente, la capacidad es de 24.58 AH. Con estos valores se procede a selección una batería la cual debe tener la capacidad de 12V 28Ah. De igual manera se tiene el total en KWh que se necesita generar durante 20 años.

Tabla 26

Datos del consumo de la red en KWh, precio en Santander del KWh y valores de consumo para los módulos monocristalinos.

Consumo de la red [KWh]	Precio [KWh] en el mercado	Valor futuro [KWh]	valor sin el sistema	Valor pagado a la red	Valor ahorrado con el sistema
81,68	\$ 903,23	\$ 25.528,89	\$ 54.223.368,14	\$ 2.085.118,26	\$ 52.138.249,87

En

En la Tabla 26 se presentan los registros de consumo en la red eléctrica, los cuales fueron calculados mediante la diferencia entre el consumo total de los bombillos y el televisor, y la energía generada por los paneles solares. Este cálculo tiene como objetivo determinar el ahorro estimado durante un período de 20 años.

Se tiene un precio del KWh aproximado de 903,23 pesos colombianos el cual es llevado a valor futuro para saber cuánto estaría el consumo a ese tiempo, el valor fue de 25.528,89 pesos colombianos. Este cálculo se realizó debido a la desvalorización del dinero y a los aumentos generados cada mes que son aproximados del 11,36%. Se realizo el cálculo del costo asociado al consumo de energía necesaria por los bombillos y el televisor el cual fue de \$ 54,223.368,13 y el

valor pago pago que corresponde a \$ 2.085.118,26 a lo que nos da un ahorro de \$ 52.138.249,87 durante 20 años.

Tabla 27

Datos panel del panel policristalino

Poli cristalino									
Voltaje [V]	Corriente [A]	Eficiencia [%]	Potencia nominal	Potencia [W]	Numero de paneles	Potencia total	Generación [hora/día]	Potencia [Wh/día]	Potencia [KWh/año]
22,55	0,86	17,28	15	17,592	2	35,184	8	281,472	2026,5984

En la tabla 27 se enuncian los parámetros de corriente, voltaje y potencia nominal del módulo policristalino, de igual manera se muestra la cantidad de módulos a usar, la cantidad de horas en la cual se estará entregando la potencia de 17.592W de cada panel y la potencia generad en 20 años. Como se va a calcular el sistema con los mismos requerimientos usados con la tecnología monocristalina se recomienda ver la tabla 25.

Tabla 28

Datos del consumo de la red en KWh, precio en Santander del KWh y valores de consumo para los módulos policristalinos

Consumo de la red [KWh]	Precio [KWh] en el mercado	Valor futuro [KWh]	valor sin el sistema	Valor pagado a la red	Valor ahorrado con el sistema
97,4016	\$ 903,23	\$ 25.528,89	\$ 54.223.368,14	\$ 2.486.555,00	\$ 51.736.813,14

Los valores de consumo en la red eléctrica se encuentran detallados en la tabla 28, lo cual se calculó sacando la diferencia entre el consumo total de los bombillos y el televisor y lo que generan los paneles solares con el fin de saber cuánto ahorro habrá en 20 años. Se tiene un precio del KWh aproximado de 903,23 pesos colombianos el cual es llevado a valor futuro para saber cuánto estaría el consumo a ese tiempo, el valor fue de \$ 25.528,89 pesos colombianos. Este

cálculo se realizó debido a la desvalorización del dinero y a los aumentos generados cada mes que son aproximados del 11,36%.

Se realizó el análisis del precio de la energía necesaria para los bombillos y el televisor el cual fue de \$ 54.223.368,14 y el valor pago pago que corresponde a \$ 24.86.554,99 a lo que nos da un ahorro de \$ 51.736.813,14 durante 20 años.

Tabla 29

Precios implementación sistema monocristalino

Elemento	Cantidad	Precio c/u	Sub total
Controlador	1	\$ 185.000,00	\$ 185.000,00
Inversor de carga	1	\$ 364.900,00	\$ 364.900,00
Panel solar	2	\$ 85.000,00	\$ 85.000,00
Bateria	1	\$ 320.000,00	\$ 320.000,00
		Total	\$ 954.900,00

Tabla 30

Precios implementación sistema policristalino

Elemento	Cantidad	Precio c/u	Sub total
Controlador	1	\$ 185.000,00	\$ 185.000,00
Inversor de carga	1	\$ 364.900,00	\$ 364.900,00
Panel solar	2	\$ 73.300,00	\$ 73.300,00
Bateria	1	\$ 320.000,00	\$ 320.000,00
		Total	\$ 943.200,00

Tabla 31

Controlador requerido

Controlador	Capacidad sobre la corriente en corto circuito	Corriente que soporta [A]
	115%	1,06

Para la selección del controlador se toma un 15% por arriba del valor de la corriente que puede entregar el panel para asegurar la vida útil del dispositivo.

Tabla 32

Inversor requerido

Inversor	Capacidad sobre la carga en alterna	Potencia que debe soportar [W]
	120%	354

Para la selección del inversor se toma un 20% por arriba del valor de la potencia necesaria en el sistema asegurar la vida útil del dispositivo.

Tabla 33

Datos comparativos

	Ahorro	Costo implementación
Panel monocristalino	\$ 52.138.249,87	\$ 954.900,00
Panel policristalino	\$ 51.736.813,14	\$ 943.200,00
Diferencia	\$ 401.436,73	\$ 11.700,00

En la tabla 31 se observa el resumen de los costos vistos anteriormente de onde se puede deducir que cualquiera de las dos tecnologías es una buena alternativa debido a que la diferencia en el ahorro es de solo \$ 401.436,73 en 20 años, de igual manera la diferencia para implementar los sistemas tiene una pequeña brecha en los precios haciendo que las dos alternativas sean viables o si se desea implementar la tecnología policristalina no se tendrá un costo elevado de consumo en la red.

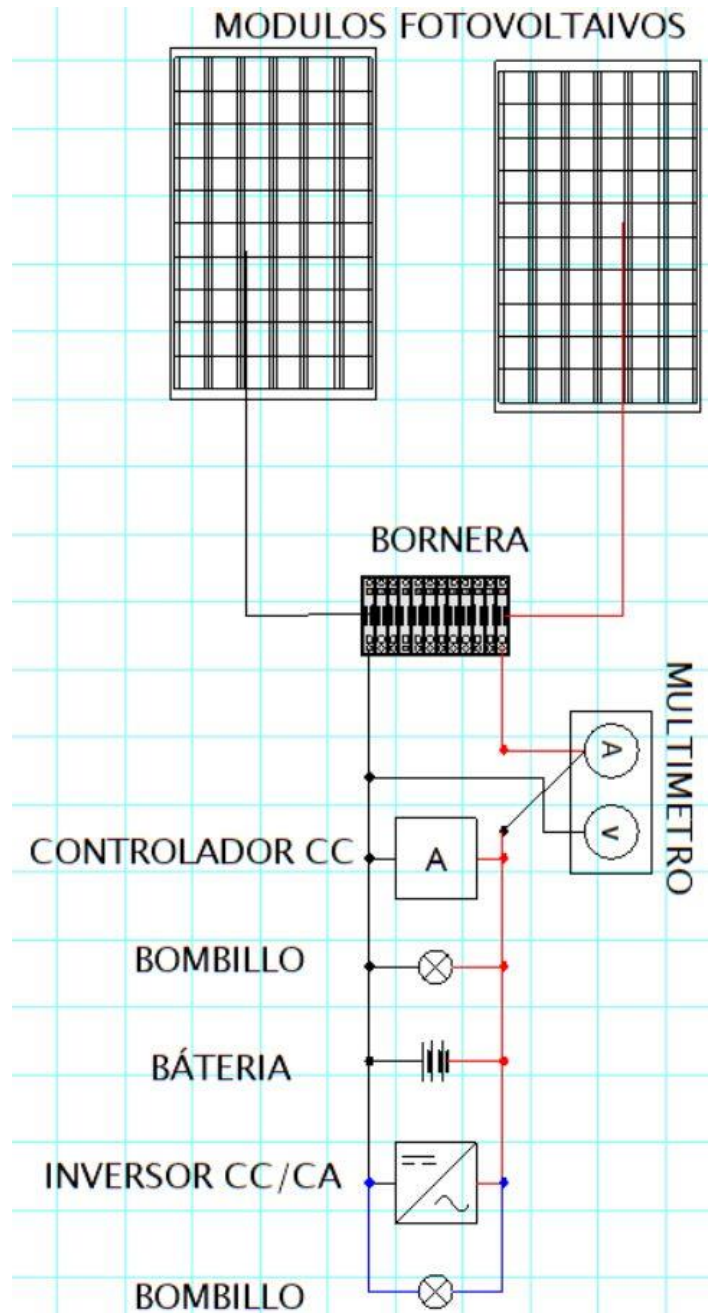
4.6 Diagrama unifilar del sistema fotovoltaico

La figura 36 representa un sistema fotovoltaico autónomo o independiente de la red eléctrica convencional. En este tipo de sistema, la energía solar capturada por los paneles solares se almacena en las baterías para su uso posterior. Los paneles solares recolectan la energía solar y la envían hacia un controlador de carga, cuya función es supervisar y regular la carga de las baterías para evitar posibles daños causados por sobrecargas o descargas profundas.

Las baterías almacenan la energía adquirida a través de la transformación de la luz solar utilizando paneles fotovoltaicos y están conectadas a un inversor. El inversor asume la tarea de transformar la energía almacenada en las baterías, que se encuentra en forma de corriente continua (CC), en corriente alterna (CA), la cual es ampliamente utilizada por la mayoría de los dispositivos eléctricos. La carga eléctrica representa los dispositivos o aparatos que consumen la electricidad generada por el sistema fotovoltaico.

Figura 36

Diagrama unifilar del sistema fotovoltaico



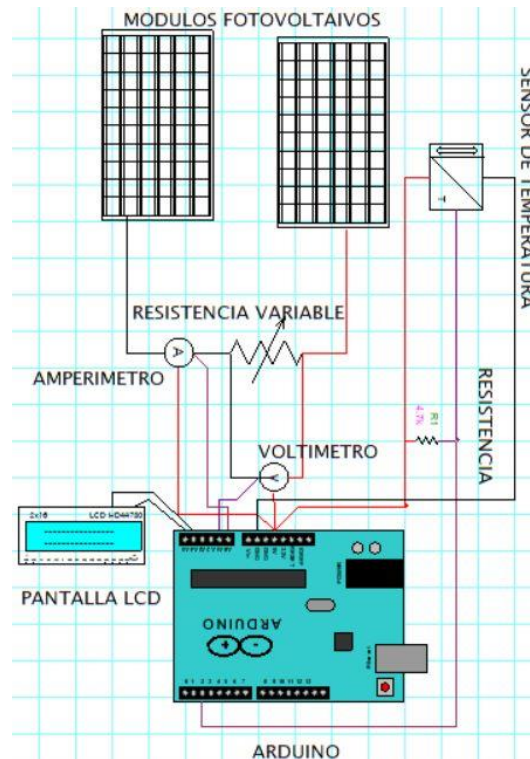
En la figura 37 se muestra el diagrama unifilar que representa las conexiones eléctricas utilizadas para medir el voltaje y la corriente con un Arduino Uno. El diagrama incluye componentes

esenciales como un sensor de temperatura, un voltímetro, un amperímetro, resistencias variables y una pantalla LCD que muestra los datos de lectura.

El sensor de temperatura se conecta al Arduino MEGA para medir y proporcionar información sobre la temperatura ambiente. El voltímetro y el amperímetro se emplean para realizar la medición tanto del voltaje como de la corriente, respectivamente, en un circuito. Estos instrumentos se conectan mediante resistencias variables que permiten ajustar la sensibilidad de la medición. La pantalla LCD se utiliza para visualizar los datos de lectura obtenidos por el Arduino Uno a partir de los sensores y los instrumentos de medición. En la pantalla se muestran de manera legible los valores de voltaje, corriente, temperatura y potencia.

Figura 37

Diagrama de conexión Arduino MEGA



5 Conclusiones

La revisión de la literatura sobre guías de laboratorio para sistemas fotovoltaicos permitió identificar el estado del arte y la metodología adecuada para la elaboración de una guía teórico-práctica de energía fotovoltaica.

Tras llevar a cabo los experimentos correspondientes, se analizó la potencia generada por cada panel fotovoltaico, y se determinó que los paneles monocristalinos presentaron el mayor rendimiento, seguidos por los paneles policristalinos y los paneles de silicio amorfo. Además, se evaluó la eficiencia de cada tipo de panel, y se descubrió que los paneles monocristalinos también tuvieron la mayor eficiencia en comparación con los otros tipos de paneles, al variar el ángulo de inclinación y el tipo de conexión utilizados.

Durante las mediciones experimentales realizadas a los paneles monocristalino, policristalino y silicio amorfo en condiciones no controladas, se evidenció una significativa diferencia en su rendimiento según las condiciones climáticas. En días soleados, los paneles fotovoltaicos arrojaron un mayor rendimiento, siendo el más eficiente el panel monocristalino. Sin embargo, en días nublados, el rendimiento de los paneles disminuyó y el panel más eficiente fue el policristalino, esto se dio porque la radiación incidente fue mayor en comparación con la que recibió el panel monocristalino, aun siendo un día nublado. Estos resultados destacan la importancia de considerar las condiciones climáticas al momento de seleccionar el tipo de panel fotovoltaico adecuado para cada proyecto, a fin de garantizar un óptimo desempeño y aprovechamiento de la energía solar disponible.

Se pudo elaborar cuatro guías teórico-prácticas de laboratorio adecuadas al banco de pruebas diseñado para la práctica. Se recopiló información relevante, conceptos y procedimientos necesarios para realizar la práctica de manera efectiva. La guía elaborada proporciona una

descripción detallada del banco de pruebas, así como de los materiales y dispositivos necesarios para realizar la práctica de manera correcta. Además, se incluyen los pasos a seguir para realizar la práctica de forma adecuada. Asimismo, se ha incluido un manual de funcionamiento con recomendaciones y precauciones importantes a tener en cuenta para garantizar la seguridad de los estudiantes durante la práctica.

Bibliografía

- Alcogen. (11 de 23 de 2022). *alcogen*. Obtenido de <https://acolgen.org.co/#:~:text=La%20matriz%20de%20generaci%C3%B3n%20e%C3%A9ctrica,son%20plantas%20de%20fuentes%20renovables>.
- Analitik , V. (14 de 06 de 2022). *Valora Analitik*. Obtenido de <https://www.valoraanalitik.com/2022/06/14/en-mayo-generacion-de-energia-en-colombia-crecio-167/>
- Bhutada, G. (07 de 04 de 2022). *Elements*. Obtenido de <https://elements.visualcapitalist.com/the-history-of-energy-transitions/>
- Bowden , S., & Honsberg, C. (s.f.). Obtenido de pveducation: <https://www.pveducation.org/pvcdrom/terrestrial-solar-radiation>
- Cano, F. M. (2021). Propuesta de iluminación tipo LED y diseño de sistema fotovoltaico para el edificio IME de la UDEP. (*Tesis de pregrado*). Universidad de Piura, Piura.
- Carrasco, A. (04 de 01 de 2023). *Otovo*. Obtenido de <https://www.otovo.es/blog/energia/energia-solarpasiva/#:~:text=Preguntas%20frecuentes,%C2%BFQu%C3%A9%20es%20la%20energ%C3%ADa%20solar%20pasiva%3F,su%20uso%20en%20el%20hogar>.
- Carta González, J. A. (2013.). *Centrales de energías renovables: Generación eléctrica con energías renovables*. . Pearson Educación.
- Carta, J. A., Calero, R., Colmenar, A., & Castro, M. A. (2009). *Centrales de Energía Renovables*. Madrid: Pearson Educación.

- Catorce6. (24 de 11 de 2021). *Catorce6*. Obtenido de <https://www.catorce6.com/actualidad-ambiental/internacional/19298-ranking-de-paises-con-mayor-capacidad-de-energia-solar-en-2021>
- Diaz, C., & Rubio, C. (s.f). *Componentes de una instalacion solar fotovoltaica*. Obtenido de https://www.blinklearning.com/coursePlayer/librodigital_html.php?idclase=90204620&idcurso=1575030
- Energía, S. (19 de 07 de 2020). *Afinidad Electrica* . Obtenido de <https://afinidadelectrica.com/2020/07/19/la-energia-solar/>
- Garcia, M. (s.f.). *Energia Solar Fotovoltaica y Cooperacion al Desarrollo*. IEPALA.
- Granados , J. E. (2022). *Microgenerador eólico para entornos urbanos y semiurbanos de altas corrientes de aire*. Universidad de Bogotá Jorge Tadeo Lozano, Bogotá D.C.
- Honsberg, C., & Bowden, S. (s.f). Obtenido de PVEducation: <https://www.pveducation.org/es/fotovoltaica/4-operaci%C3%B3n-de-c%C3%A9lula-solar/factor-de-llenado#:~:text=El%20factor%20de%20llenado%22%2C,Voc%20y%20Isc.>
- IDEAM. (2020). *Características de la radiación solar*. Obtenido de <http://www.ideam.gov.co/web/tiempo-y-clima/caracteristicas-de-la-radiacion-solar>
- Karol. (2022). *Centro Europeo de Postgrado*. Obtenido de <https://www.ceupe.pe/blog/energias-no-renovables.html>

Kevin Reynaldo, V. (s.f.). *Diseño de sistema LED, basado en energía solar, para iluminar ambientes en la universidad de Piura (Tesis de pregrado).* Universidad de Piura, Piura. 2021.

Planas, O. (9 de junio de 2022). *Energía Solar ¿Qué es el efecto fotovoltaico?* Obtenido de <https://solar-energia.net/energia-solar-fotovoltaica/efecto-fotovoltaico>

Repositorio del Sistema Bibliotecario Universidad de San Carlos de Guatemala. (s.f.).

Scala, A. (08 de 04 de 2019). *Enel Green Power.* Obtenido de <https://www.enelgreenpower.com/es/medios/news/2019/04/planta-fotovoltaica-el-paso-colombia-puesto-marcha>

Spiegel, C., & Ivan, C. (s.f.). DEFINICION E INFORMACION DE ENERGIAS RENOVABLES. Obtenido de <http://www.repositorio.usac.edu.gt/4455/1/DEFINICION%20E%20INFORMACION%20DE%20ENERGIAS%20RENOVABLES.pdf>

Valdiviezo Supo, K. (2021). *Diseño de sistema LED, basado en energía solar, para iluminar ambientes en la Universidad de Piura.* Piura.

Valdiviezo Supo, K. (s.f.). *Diseño de sistema LED, basado en energía solar, para iluminar ambientes en la Universidad de Piura. (Tesis de pregrado).* Universidad de Piura, Piura.

Valdiviezo, K. (2021). *Diseño de sistema LED, basado en energía solar, para iluminar ambientes en la Universidad de Piura-[Trabajo de grado, Universidad de Piura].* Piura. Obtenido de https://pirhua.udep.edu.pe/bitstream/handle/11042/4968/IME_2106.pdf?sequence=1&isAllowed=y#:~:text=Universidad%20de%20Piura%3B%20con%20el,alta%

20incidencia%20de%20radiaci%C3%B3n%20solar.&text=normativa%20establecida.,potencia%20del%20sistema%20de%20ilumin

Villas, M. (s.f.). *Energía solar Fotovoltaica Y cooperación al desarrollo*. Madrid: IPEALA.

Vivanco F, E. (2020). *Energías renovables y no renovables*. [archivo PDF] Biblioteca del Congreso Nacional de Chile. Obtenido de https://obtienearchivo.bcn.cl/obtienearchivo?id=repositorio/10221/29102/1/BCN_Energia_renovable_y_no_renovable_ventajas_y_desventajas_final.pdf

Zepeda, C. (agosto de 11 de 2022). *EcoInventos, green technology*. Obtenido de https://ecoinventos.com/tipos-de-paneles-solares/#Clasificacion_de_placas_solares

Lista de apéndices

Apéndice A. Manual funcionamiento del banco

Es fundamental seguir estas instrucciones por seguridad y para mantener en buen estado los componentes del banco y garantizar el correcto funcionamiento de estos. No hacerlo podría provocar daños prematuros en el equipo o incluso lesiones al estudiante. Se espera que el estudiante tenga conocimientos básicos sobre cómo medir corriente y voltaje con un multímetro.

A continuación, se proporciona una descripción detallada de cada uno de los componentes del banco, junto con su correspondiente conexión.

Celdas fotovoltaicas

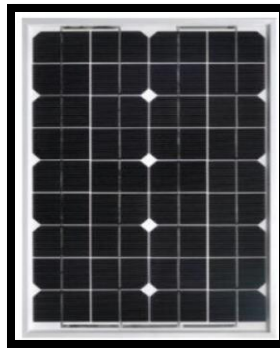
Los paneles solares mejor conocidos como celdas o células solares fotovoltaicas tienen la capacidad de convertir la radiación solar en energía eléctrica continua empleando el efecto fotovoltaico. Estas celdas están construidas con materiales semiconductores por lo general de silicio.

Existen variedad de celdas solares, en este banco se emplean tres tecnologías las cuales son:

- Módulo monocristalino

Figura 1

Módulo monocristalino



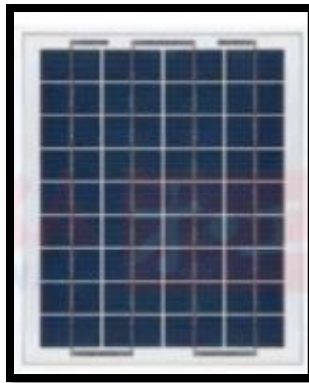
Nota. Se ilustra un modulo monocristalino. Tomado de <https://autosolar.co/paneles-solares-24v/panel-ja-solar-450w-24v-monocristalino-perc>

Esta tecnología está elaborada con un solo cristal en el cual el silicio está dividido en laminas lo cual les da una mejor eficiencia y alta pureza.

- Módulo policristalino

Figura 2

Módulo policristalino



Nota. Se ilustra un modulo policristalino. Tomado de <https://tiendasolarcolombia.com/producto/panel-solar-policristalino-12v-60-watt/>

Esta tecnología hace referencia a la unidos de varios cristales que se conectan en serie y paralelo. Una característica notable es su color azul.

- Módulo de silicio amorfo

Figura 3

Módulo de silicio amorfo



Nota. Se ilustra un módulo de silicio amorfo. Tomado de <https://www.solartronica.com/panel-solar-amorfo-de-15-watts-12v>

Esta tecnología es la forma no cristalina del silicio utilizada en células solares. Esta tecnología es fácil de identificar ya que son de un color gris oscuro y su tamaño es mayor que las tecnologías pasadas para entregar la misma potencia.

Controlador de carga

Figura 4

Controlador de carga



Nota: se ilustra el controlador de carga usado. Tomado de <https://www.amvarworld.com/es/reguladores-solares-6ah/602-regulador-solar-6a-marca-paco.html>

La función de este dispositivo es la de regular la carga que entregan las celdas fotovoltaicas a las baterías. Se encuentra conectado entre las celdas y las baterías para preservarlas

Batería

Figura 5

Batería



Nota: se ilustra la batería usada en el banco de pruebas. Tomado de <https://www.amvarworld.com/es/baterias-12v-100ah-gel-ag/2146-baterias-netion-12v-100ah-ciclo-profundo.html>

Elemento encargado de almacenar la energía generada por las celdas para aprovecharla cuando hay una disminución o ausencia de la radiación solar.

Inversor de carga DC-AC

Figura 6

Inversor de carga DC-AC



Nota. Controlador de carga usado en el banco. Tomado de https://hqaudioyacc.mercadoshops.com.co/MCO-579927197-inversor-de-corriente-cobra-de-400-watts-12vdc-a-110vac-_JM

Su principal función es convertir la energía eléctrica continua, proveniente de la celda solar o de las baterías, en energía eléctrica alterna.

Bombillo DC y bombillo AC

Figura 7

Bombillos de energía alterna y continua



Bombilla AC



Bombilla DC

Nota. Se ilustra las dos clases de bombillos presentes en el banco siendo uno para energía continua y el otro para energía alterna. Tomado de <https://ferretronica.com/products/bombillo-de-linterna-12v-tubular-rosca-e10>, <https://electroredesyopal.com/es/productos/bombillos>

Básicamente hace referencia a la corriente que emplea para ser encendido debido a que el banco cuenta con corriente DC entregada por las celdas y pasada a AC por el inversor.

Cables eléctricos

Figura 8

Cables de conexión de módulos fotovoltaicos



Nota. Se ilustra los cables necesarios para las conexiones de los módulos y los componentes del banco. Tomado de <https://www.steren.com.mx/cable-duplex-100-m-14-awg-bicolor-vta.html>.

Uno de los elementos más indispensables en el banco son los cables eléctricos, gracias a estos podemos transportar la energía hacia las baterías y bombillas u otro consumible que se tenga (celulares, computadoras, etc.).

Están diseñados para transportar carga ya sea de alta o baja tensión, como los paneles no entregan alta tensión se usa cable AWG 14 los cuales son de cobre y tienen un recubrimiento aislante para prevenir accidentes eléctricos.

- Borneras

Figura 9

Borneras de conexión



Nota: se ilustra las borneras empleadas para realizar las conexiones de serie y paralelo. Tomado de <https://tienda.ketplus.com.gt/BORNERA-15-AMP-6-POLOS-C-TAPA-p386231775>

Este componente nos facilita la interconexión de las celdas solares, ya sea en configuración serie o paralelo, según sea necesario. En los esquemas eléctricos, se puede considerar como un nodo o punto de conexión para unir las celdas de manera adecuada.

Componentes de medición

Para facilitar la adquisición de datos de tensión, corriente, temperatura y potencia, y así obtener la curva característica de cada celda, se emplea la tecnología de Arduino en conjunto con diferentes sensores. Esto permite una recopilación más sencilla y precisa de los datos necesarios, lo cual resulta fundamental para el análisis y la evaluación del rendimiento de las células solares.

- Placa Arduino

Figura 10

Placa Arduino



Nota. Placa de programación Arduino. Tomado de <https://www.steren.com.co/placa-de-desarrollo-mega.html>

Esta plataforma proporciona una amplia gama de códigos de programación de código abierto, así como hardware libre, que se pueden utilizar en diversos proyectos. La placa de Arduino se basa en un microcontrolador ATMEL, que es un circuito integrado que alberga las instrucciones necesarias para realizar diversas funciones, como la lectura de tensión, corriente y temperatura,

como se requiere en el caso de este banco de pruebas. Esto permite una programación personalizada y flexible para adaptarse a las necesidades específicas del proyecto.

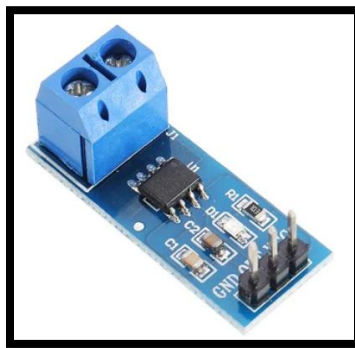
El microcontrolador se caracteriza por tener una serie de entradas y salidas, así como fuentes de alimentación a 3.3V y 5V, y conexiones a tierra (GND). Las entradas del microcontrolador permiten conectar diversos dispositivos periféricos que recopilan información del entorno. Esta información es enviada al microcontrolador para su procesamiento. Por otro lado, las salidas se utilizan para conectar periféricos como motores, servomotores, pantallas LCD, entre otros. Estos periféricos pueden ser programados para llevar a cabo tareas específicas de acuerdo con las necesidades del proyecto.

las conexiones de 3.3V y 5V proporcionan la energía necesaria a los periféricos, mientras que la conexión a tierra (GND) asegura un punto de referencia común y completa el circuito para un funcionamiento óptimo del sistema.

- Sensor de corriente ACS712

Figura 11

Sensor de corriente ACS712



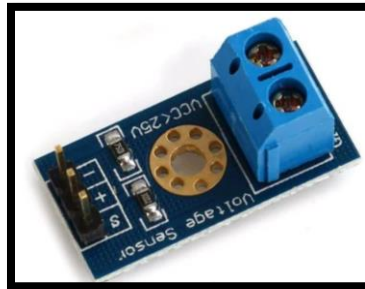
Nota. Se ilustra el sensor de corriente empleado en el banco. Tomado de https://naylampmechatronics.com/blog/48_tutorial-sensor-de-corriente-ac712.html

El sensor de corriente invasivo de efecto Hall mide corrientes en un circuito conectándose en el camino de la corriente. Convierte el campo magnético en una señal eléctrica proporcional a la corriente medida. Rango de medición: -5 A a 5 A de corriente continua.

- Sensor de voltaje FZ0430

Figura 12

Sensor de voltaje FZ0430



Nota. Sensor de voltaje empelado en el banco. Tomado de <https://www.arcaelectronica.com/blogs/tutoriales/sensor-de-voltaje-fz0430-con-arduino>

El componente de censado mencionado es capaz de medir el voltaje en corriente continua, con una capacidad máxima de 25V. Para su correcto funcionamiento, puede ser alimentado mediante una fuente de energía de 3.3V o 5V, lo que proporciona flexibilidad en su conexión a diferentes sistemas. En cuanto a su ubicación en el circuito, se realiza una conexión en paralelo, es decir, se conecta en un punto común con los demás componentes. Esta configuración permite que el componente pueda censar y monitorear el voltaje en el mismo punto en el que se encuentra conectado, lo que proporciona información precisa sobre la tensión presente en ese punto específico del circuito. Esta característica es especialmente útil para obtener lecturas precisas y realizar mediciones de voltaje con exactitud.

- Sensor de temperatura DS18B20

Figura 13

Sensor de temperatura DS18B20



Nota. Sensor usando para la toma de temperatura de los módulos fotovoltaicos. Tomado de https://naylorlampmechatronics.com/blog/46_tutorial-sensor-digital-de-temperatura-ds18b20.html

Este sensor nos permite censar temperaturas máximas de 125 grados centígrados el cual puede ser alimentado con 3V o 5V. Tiene un recubrimiento que le permite ser sumergido y tomar temperaturas en líquidos.

- Pantalla LCD con modulo I2C

Figura 14

Pantalla LCD con modulo I2C



Nota. Pantalla y modulo empleado para la lectura de datos del banco. Tomado de https://naylorlampmechatronics.com/blog/35_tutorial-lcd-con-i2c-control-a-un-lcd-con-solo-dos-pines.html

Con el objetivo de facilitar la visualización de los datos obtenidos en tiempo real, se incorpora una pantalla LCD de 16x2 al sistema. Esta pantalla cuenta con un módulo I2C que simplifica la conexión con la placa Arduino. El módulo I2C permite la comunicación entre la placa y la pantalla LCD utilizando solo unos pocos pines, lo cual reduce la complejidad del cableado y facilita la integración en el sistema. La pantalla LCD de 16x2 tiene capacidad para mostrar hasta 16 caracteres en dos líneas, lo que permite visualizar de forma clara y concisa la información relevante obtenida por los sensores y procesada por la placa Arduino. Esta pantalla LCD se convierte en una herramienta práctica y útil para monitorear y visualizar los datos en tiempo real, brindando una interfaz intuitiva para el usuario.

- Multímetro

Figura 15

Multímetro



Nota. Se ilustra un multímetro que puede ser usado para comprobar la correcta lectura de los sensores de Arduino. Tomado de <https://www.tuvoltio.com/categorias/164-herramientas-y-equipos/1755-multimetro-digital-dt830>

Es un instrumento eléctrico que nos permite medir magnitudes eléctricas como lo son la tensión, intensidad, resistencias, continuidad, etc. Estas magnitudes pueden ser medidas en corrientes alternas o continuas en diferentes rangos según el modelo del multímetro.

- Variador de resistencias

Consiste en una caja la cual posee perillas con ellas se irá intercambiando el valor de la resistencia en el circuito, esto con el fin de variar el valor de la resistencia en el circuito y así poder tomar lecturas de voltaje y corriente.

Figura 16

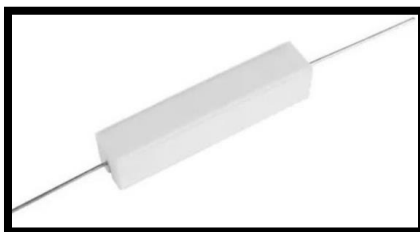
Variador de resistencias



Nota. Dispositivo usado para variar el valor de la resistencia en el circuito. Tomado de <https://www.amazon.es/lailongp-Resistencia-variable-experimental-educaci%C3%B3n/dp/B07SLB3H21>

Figura 17

Resistencia eléctrica



Nota. Resistencias usadas para generar la curva características del módulo fotovoltaico. Tomado de <https://www.carrod.mx/products/resistencia-2-watts-varios-valores>

Con el fin de variar la intensidad y la tensión que genera cada celda se emplean resistencias de diferente valor las cuales soportan una potencia de 20W cada una esto con el fin de poder realizar la curva caracteriza de cada celda.

Conexiones

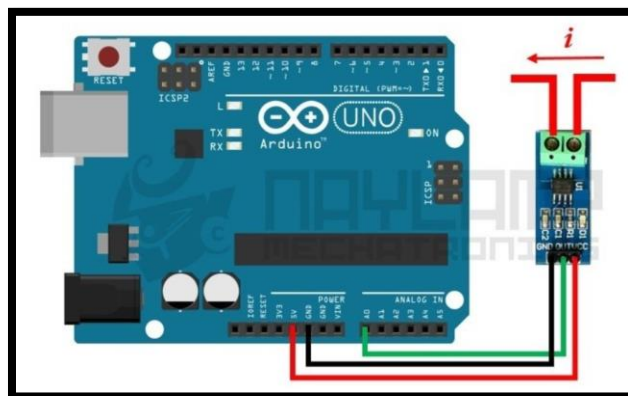
Antes de hacer las respectivas conexiones se debe examinar minuciosamente el estado de los componentes y de los cables para evitar accidentes y daños en los mismos. Conexión para obtener la curva característica de cada celda.

- Sensor de corriente continua ACS712

Para proceder con la práctica se conecta el sensor ACS712 a la placa Arduino como se muestra en la ilustración 1, en seguida se realiza la conexión al circuito conectando el cable café a la salida de las resistencias y el blanco con el cable negro (-) de la celda para que el mismo quede en serie. El sensor ACS712 nos permite tomar la medida de la tensión.

Figura 18

Conexión sensor ACS712



Nota. En la ilustración se tiene la conexión adecuada del sensor ACS712 para la toma de lectura de corriente en la prueba. Tomado de https://naylampmechatronics.com/blog/48_tutorial-sensor-de-corriente-ac712.html

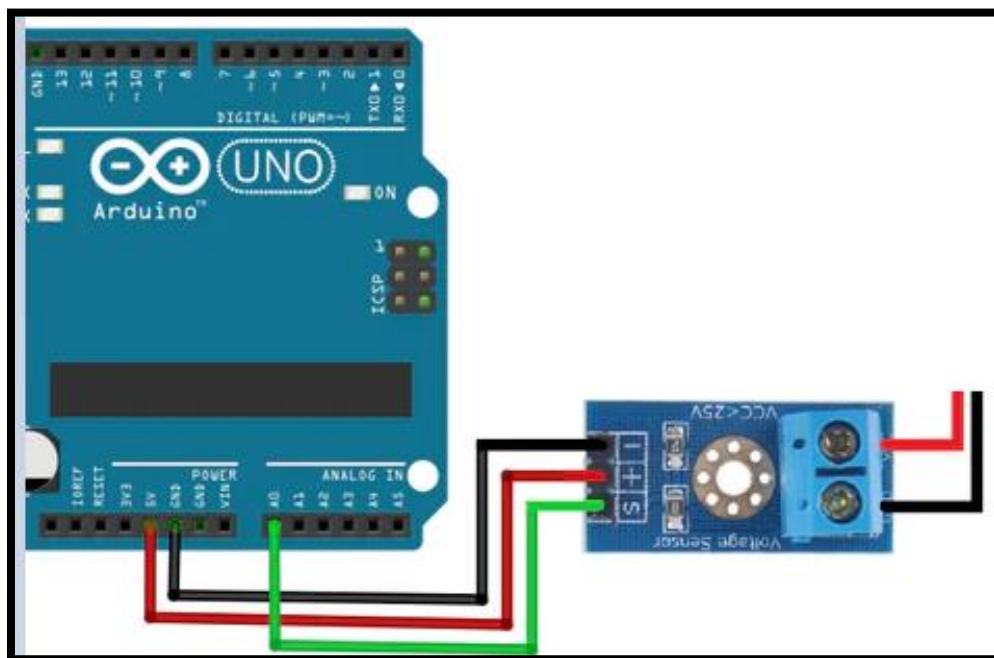
- Sensor de voltaje FZ0430

Para la toma de la intensidad empleamos el sensor FZ0430 el cual se conecta a la placa Arduino como se observa en la ilustración 2, en seguida se realiza la conexión al circuito

conectando el cable amarillo a la entrada del variador de resistencias y el verde al final para que el mismo que paralelo.

Figura 19

Conexión del sensor FZ0430



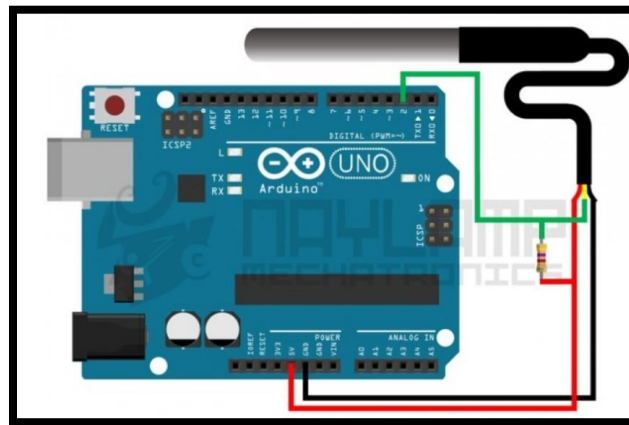
Nota. En la ilustración se tiene la conexión adecuada del sensor FZ0430 para la toma de lectura de voltaje en la prueba. Tomado de <https://www.arcaelectronica.com/blogs/tutoriales/sensor-de-voltaje-fz0430-con-arduino>

- Sensor de temperatura DS18B20

En la toma de la temperatura sobre la celda, se usará el sensor DS18B20, su adecuada conexión se realiza con el cable verde al pin 2 del Arduino mientras se hace un puente con una resistencia de 4.7K ohm como se muestra en la Ilustración 3, el cable rojo se conecta a 5V y el negro a GND

Figura 20

Conexión sensor de temperatura DS18B20



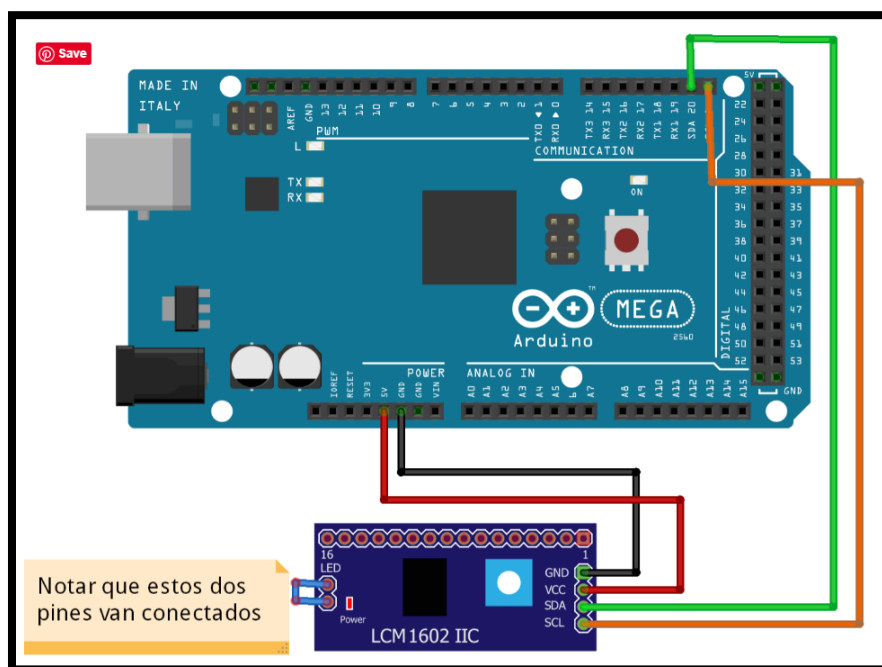
Nota. Conexión del sensor a la placa Arduino. Tomado de https://naylorpmechatronics.com/blog/46_tutorial-sensor-digital-de-temperatura-ds18b20.html

- Conexión pantalla LCD y el módulo I2C

Por practicidad se conecta una pantalla LCD con el módulo I2C como se ilustra en la img4

Figura 21

Conexión pantalla LCD y el módulo I2C a la tarjeta Arduino



Nota. Antes de conectar los paneles al banco, el docente o el auxiliar debe revisar que las conexiones sean las adecuadas de este modo se garantiza una adecuada lectura de los datos y la preservación de los componentes. Tomado de <https://parzibyte.me/blog/2018/02/08/ejemplo-arduino-lcd-modulo-i2c/>

- Conexión resistencias

Después de verificar las conexiones de los sensores, se conecta la computadora a la tarjeta Arduino para obtener la lectura de corriente y voltaje. Luego, se conecta el terminal positivo de la celda al variador de resistencias, comenzando con una posición de 5, lo que aproximadamente equivale a cero ohmios. A continuación, se gira la perilla a la posición 0. Este procedimiento se repite con las demás perillas hasta llegar a la última.

Figura 22

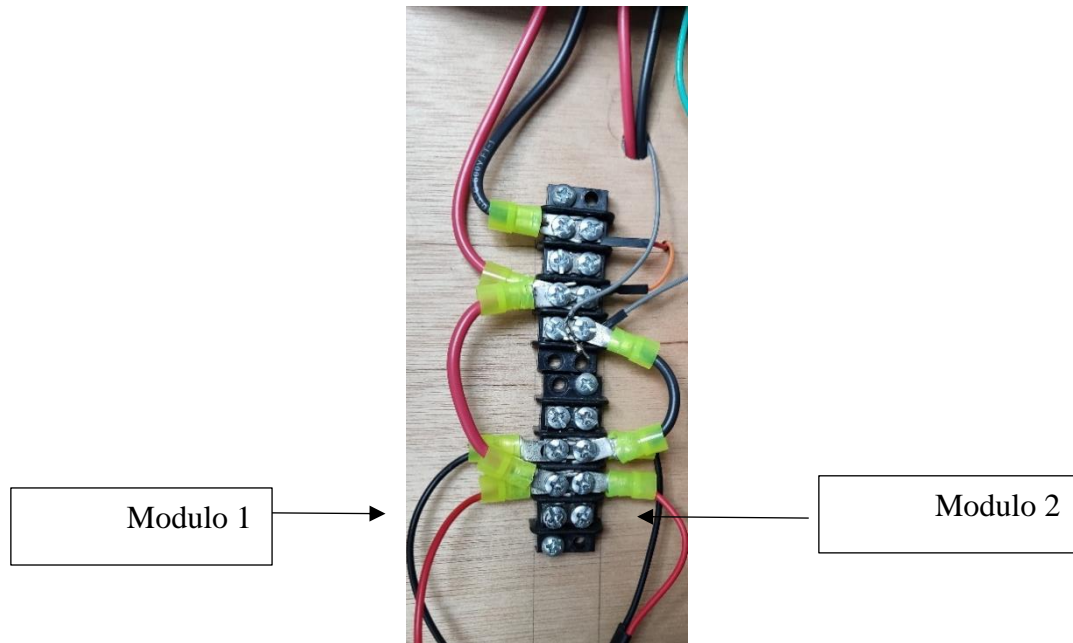
Variador de resistencias con las perillas en sus respectivas posiciones



Nota. El variador de resistencias se encuentra en la posición inicial con la cual se debe realizar la toma de datos.

- Conexión en paralelo

Se deben conectar los cables positivos de las celdas y los cables negativos de acuerdo con la ilustración en la figura 23. Estos cables se dirigen al controlador de carga o regulador, que se encarga de cargar las baterías. Es importante seguir el esquema de conexión adecuado para asegurar un correcto funcionamiento del sistema.

Figura 23*Conexión en paralelo*

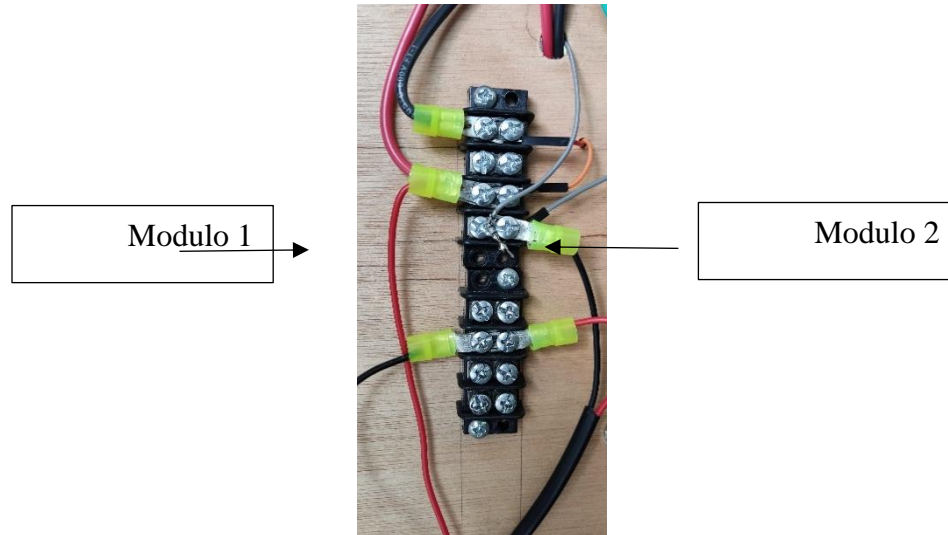
Nota: Conexión adecuada en paralelo

- Conexión en serie

Para conectar los cables de manera adecuada, se debe realizar la siguiente conexión: el cable negativo (negro) del módulo 1 se conecta al cable positivo (rojo) de la celda 2. Los dos cables restantes, que quedan libres, se dirigen hacia el controlador de carga o regulador para cargar las baterías. Esta configuración de conexión garantiza un flujo correcto de corriente y asegura el funcionamiento óptimo del sistema.

Figura 24

Conexión en serie



Nota. Conexión adecuada en serie.

- Conexión controlador carga

El controlador tiene tres “estaciones” en donde se tiene la entrada de alimentación que viene desde los módulos fotovoltaicos; se tiene la salida hacia las baterías y la salida hacia el bombillo de energía continua. Para conectar la entrada de los módulos, se debe conectar el cable rojo en el entrada positiva (+), el cable negro en la salida negativa (-), de igual manera se realiza para las baterías y el bombillo. En la figura 25 se ilustra como queda la conexión adecuada.

Figura 25

Conexión controladora de carga



Nota: Correcta conexión controlador de carga.

- Conexión inversora de carga

El inversor de carga se conecta a la batería con el cable rojo al puerto positivo y en cable negro al negativo de la batería con el fin pasar la carga continua de la batería a carga alterne como se ilustra en la figura 26.

Figura 26

Controlador de carga



Nota: correcta conexión inversor de carga.

CATERIZACION DE UN PANEL SOLAR

NOMBRE DEL ESTUDIANTE CODIGO	NOMBRE DEL ESTUDIANTE CODIGO
NOMBRE DEL ESTUDIANTE CODIGO	NOMBRE DEL ESTUDIANTE CODIGO

RESUMEN

El resumen del informe de laboratorio debe sintetizar de manera concisa lo realizado durante la práctica. Debe incluir el objetivo principal, la metodología utilizada, los análisis de resultados y las conclusiones más importantes. Además, se deben incluir palabras clave al final del resumen para resaltar los aspectos más relevantes del informe. Es importante tener en cuenta que el resumen está limitado a un máximo de 150 palabras.

INTRODUCCIÓN

Es una síntesis de la importancia del tema objeto de la práctica y se construye a partir de la revisión bibliográfica necesaria para la preparación de esta y el objetivo

principal con el fin de dar una descripción clara y sencilla del tema. La introducción debe ser escrita en tiempo presente y debe ser concisa.

OBJETIVO GENERAL

Realizar la caracterización del panel monocristalino, policristalino y silicio amorfo

OBJETIVO ESPECIFICOS

Medir la corriente corto circuito y la tensión circuito abierto de los paneles

Calcular la eficiencia de los paneles solares obtener las curvas experimentales de corriente vs voltaje (IV) y de potencia vs voltaje (PV) de cada panel solar.

Materiales

- Multímetro
- Cables de conexión
- Banco de pruebas
- Panel solar policristalino
- Panel solar monocristalino
- Panel solar de película delgada
- Herramientas de mano (destornillador, alicates, cortadores de cable)

Procedimiento

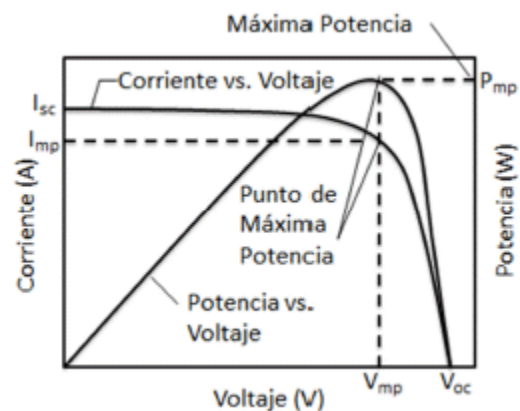
1. Realizar el montaje del sistema en la ubicación estipulada junto con las conexiones correcciones.
2. Hallar el ángulo de inclinación óptimo del sistema para posicionar el panel.
3. Variar las resistencias de modo que todas las perillas queden en la posición número 4, donde el valor de la resistencia equivale a 320 ohmios y para cada valor medir la corriente de corto circuito y el voltaje

circuito abierto con Arduino y registrar los valores.

5. Realizar la gráfica voltaje vs potencia y voltaje vs corriente y encontrar I_{mp} , V_{mp} .

Figura 1

Curva característica de un panel solar



Nota. Curva característica corriente-voltaje, voltaje-potencia de un módulo. Tomado de *trazador de curvas I-V, vol.1 no.14 Cochabamba.*

6. Con los datos obtenidos anteriormente se procede a encontrar la eficiencia del panel solar. Para el área del panel revisar la ficha técnica correspondiente.

G radiación solar, obtener el valor de la estación meteorológica weatherlink.com y con la siguiente fórmula calcular la eficiencia.

$$n = \frac{I_{mp} * V_{mp}}{G * A}$$

7. Realizar el procedimiento para cada tecnología de panel y comparar los resultados obtenidos con la gráfica del fabricante.

Análisis de resultados y conclusiones

En un informe, las conclusiones deben presentar los resultados más relevantes obtenidos a través del análisis de datos. Dichas conclusiones deben ser precisas y coherentes con los objetivos establecidos al inicio, basándose en los descubrimientos realizados durante la práctica. Es crucial que el lenguaje utilizado sea en tiempo pasado, ya que se trata de una evaluación de los objetivos previamente definidos. Por lo tanto, las conclusiones deben reflejar si se lograron

o validaron dichos objetivos. Para la elaboración de informes, es esencial seguir estas directrices.

INFLUENCIA DE LA CONEXIÓN SERIE-PARALELO DE LOS PANELES FOTOVOLTAICOS SOBRE LA CORRINETE-VOLTAJE DE SALIDA DEL SISTEMANOMBRE DEL ESTUDIANTE

NOMBRE DEL ESTUDIANTE
CODIGO

NOMBRE DEL ESTUDIANTE
CODIGO

NOMBRE DEL ESTUDIANTE
CODIGO

NOMBRE DEL ESTUDIANTE
CODIGO

RESUMEN

El resumen del informe de laboratorio debe sintetizar de manera concisa lo realizado durante la práctica. Debe incluir el objetivo principal, la metodología utilizada, los análisis de resultados y las conclusiones más importantes. Además, se deben incluir palabras clave al final del resumen para resaltar los aspectos más relevantes del informe. Es importante tener en cuenta que el resumen está limitado a un máximo de 150 palabras.

INTRODUCCIÓN

La introducción de un informe de práctica es una síntesis que busca dar una descripción clara y sencilla del tema objeto

de estudio, basada en la revisión bibliográfica necesaria para su preparación y el objetivo principal de la práctica. Es importante que esté escrita en tiempo presente y sea concisa para capturar la atención del lector y presentar los aspectos más relevantes del tema desde el inicio del informe.

OBJETIVO GENERAL

Realizar un análisis comparativo del comportamiento de la tensión y la corriente en un arreglo de paneles solares conectados en serie y en paralelo.

OBJETIVO ESPECIFICOS

- Determinar si la conexión influye en la eficiencia del panel.

- Identificar las ventajas y desventajas de cada tipo de conexión en términos de rendimiento.
- Evaluar el impacto de la conexión en la vida útil de los paneles solares.

MARCO TEORICO

Para determinar el comportamiento del voltaje y la corriente en paneles conectados en serie o en paralelo, es necesario saber cómo medir la corriente y el voltaje utilizando un multímetro, así como realizar las conexiones adecuadas para asegurar el correcto funcionamiento del instrumento.

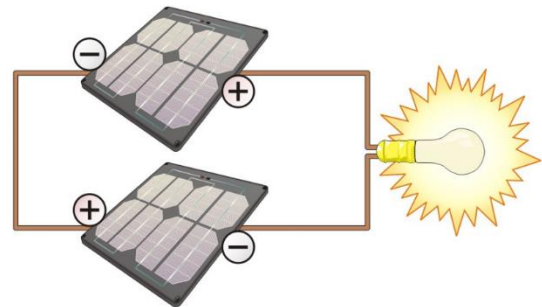
Conexión en serie

Conecta el polo positivo (+) de un panel al polo negativo (-) del otro panel. Conecta el polo positivo (+) del primer panel a la entrada positiva (+) del controlador de carga y el polo negativo (-) del segundo panel a la entrada negativa (-) del controlador de carga.

Conecta la salida positiva (+) del controlador de carga a la batería positiva (+) y la salida negativa (-) del controlador de carga a la batería negativa (-).

Figura 1.

Conexión en serie de un panel solar



Nota. La imagen representa la conexión en serie. Tomado de Generating clean electrons with scada. Pag.141

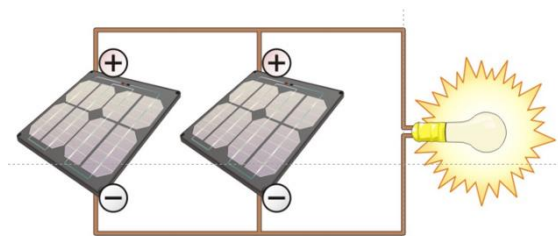
Conexión en paralelo

Conecta el polo positivo (+) de ambos paneles a la entrada positiva (+) del controlador de carga y el polo negativo (-) de ambos paneles a la entrada negativa del controlador.

Conecta la salida positiva (+) del controlador de carga a la batería positiva (+) y la salida negativa (-) del controlador de carga a la batería negativa (-).

Figura 2.

Conexión en paralelo de un panel solar



Nota. La imagen representa la conexión en paralelo. Tomado de Generating clean electrons with scada. Pag.141

Medición de corriente con multímetro.

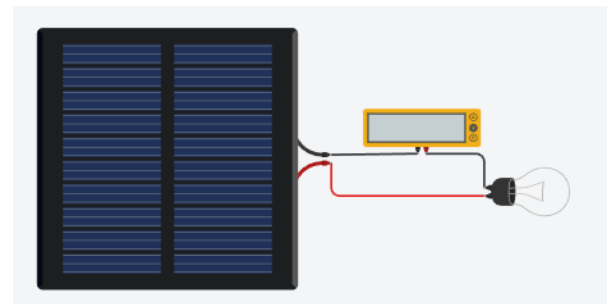
Encender el multímetro y seleccionar el modo de medición de corriente, normalmente representado por la letra "A" en el dial de opciones.

Conectar el multímetro en serie con el circuito a medir. Esto significa que debe interrumpir el circuito y colocar el multímetro en el camino de la corriente eléctrica fig.3.

Asegúrese de que el multímetro esté configurado para la cantidad de corriente que se espera medir. Si no estás seguro de que la corriente fluye en el circuito, comienza con la configuración más alta del multímetro.

Figura 3

Medición de corriente



Nota. La imagen representa la medición de voltaje con multímetro.

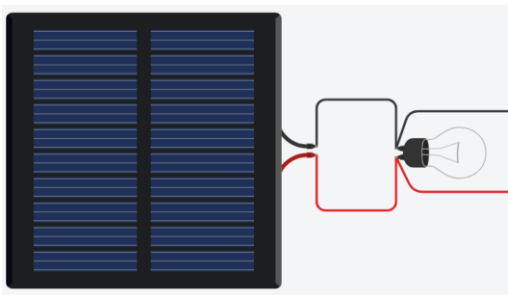
Encender el multímetro y seleccionar el modo de medición de voltaje, normalmente representado por la letra "V" en el dial de opciones.

Conecte las puntas de prueba del multímetro al circuito a medir. La punta roja debe estar conectada al polo positivo y la punta negra al polo negativo fig.4.

Asegúrese de que el multímetro esté configurado para la cantidad de voltaje que se espera medir.

Figura 4

Medición de voltaje



Nota. La imagen representa la medición de voltaje con multímetro.

Nota: tener en cuenta que las figuras 3 y 4, se toma lecturas con un solo panel, para dar ejemplo de cómo se hace la conexión del multímetro.

Metodología

Para realizar las conexiones, los paneles no deben estar conectados al circuito para evitar accidentes al estudiante o daños a los accesorios del sistema. Con supervisión del docente o el auxiliar de laboratorio el estudiante procede al desarrollo de la práctica.

Procedimiento

1. El estudiante debe realizar la conexión en serie (fig.1) de los paneles fotovoltaicos, luego conectar el multímetro para tomar la lectura de corriente y registrarla fig.3.

2. De igual manera se realiza la conexión en paralelo fig.2. de los paneles fotovoltaicos y se procede a conectar el multímetro para tomar la lectura de voltaje fig.4.

3.El docente o auxiliar de laboratorio debe revisar que las conexiones sean las indicadas tanto de los paneles como del multímetro, para así encender el circuito y permitir que fluya la corriente y registrar el voltaje-corriente leído.

5. La toma de datos se realiza variando el ángulo de inclinación desde 5° a 45° , esto para cada tipo de conexión.

6.Calcular la eficiencia para cada tipo de conexión y realizar la gráfica eficiencia-ángulos, una vez se obtienen estas graficas se comparan y se analiza el comportamiento, teniendo él cuenta el ángulo de inclinación optimo.

Cabe resaltar que la toma de estos datos se realiza de manera manual con ayuda del multímetro se mide la corriente y voltaje, la radiación se toma de la plataforma weatherlink, para cada toma de datos respectiva.

Análisis de resultados y conclusiones

En el informe, las conclusiones deben presentar los resultados más relevantes que se obtuvieron a través del análisis de datos. Estas conclusiones deben ser precisas y estar en consonancia con los objetivos planteados al inicio, basándose en los descubrimientos realizados durante la práctica. Es importante que la redacción se realice en tiempo pasado, ya que se trata de una evaluación de los objetivos establecidos previamente. Por consiguiente, las conclusiones deben reflejar si se lograron o validaron dichos objetivos. Para la elaboración de informes, es fundamental seguir estas pautas.

INFLUENCIA DE LA TEMPERATURA SOBRE LOS PANELES

FOTOVOLTAICOS

NOMBRE DEL ESTUDIANTE

CODIGO

NOMBRE DEL ESTUDIANTE

CODIGO

NOMBRE DEL ESTUDIANTE

CODIGO

NOMBRE DEL ESTUDIANTE

CODIGO

Bibliografía

La bibliografía de un informe es una lista que incluye todas las fuentes de información utilizadas en la investigación. Debe ir al final del informe y estar ordenada alfabéticamente por el apellido del autor.

RESUMEN

El contenido del resumen debe presentar de forma sintetizada lo realizado durante la práctica de laboratorio. En este apartado se presenta el objetivo principal, la metodología, en análisis de resultados y conclusiones más importantes las palabras claves al final del resumen deben destacar lo más importante del informe. Está restringido a un máximo de 150 palabras.

INTRODUCCIÓN

Es una síntesis de la importancia del tema objeto de la práctica y se construye a partir de la revisión bibliográfica necesaria, para la preparación de esta y el objetivo principal con el fin de dar una descripción clara y sencilla del tema. La introducción debe ser escrita en tiempo presente y debe ser concisa.

OBJETIVO GENERAL

Determinar los cambios que se producen en la corriente de salida cuando la temperatura superficial del panel cambia

OBJETIVO ESPECIFICOS

- Observar el comportamiento de la corriente y el voltaje a medida que cambia la temperatura del panel

- Encontrar gráficamente el punto de potencia máximo a medida que aumenta la temperatura
- Analizar cómo afecta la temperatura el rendimiento de un panel solar
- Que técnicas viables se utilizan para controlar el aumento de la temperatura de los paneles
- Qué factores externos afectan el rendimiento de los paneles

MARCO TEORICO

Para comprender el efecto de la temperatura en la eficiencia de un panel fotovoltaico, se deben consultar los conceptos básicos listados a continuación.

- Efecto de la temperatura en una placa solar.
- Características operativas de una celda solar (tensión en circuito abierto, corriente de cortocircuito, factor de forma y eficiencia).
- Que es TONC y STC en la ficha técnica de un panel solar.
- Concepto coeficiente de la temperatura de potencia y coeficiente de temperatura Voc.

METODOLOGIA

Para analizar el comportamiento de la temperatura sobre los paneles fotovoltaicos, la metodología propuesta consta de dos partes una teórica y una experimental con el fin de comparar los resultados y sacar el porcentaje de error.

Fase 1. Variación en % parámetros de la celda solar.

Los parámetros característicos de un panel vienen medidos por los fabricantes en condiciones estándar (STC): para una irradiancia de 1000W/m², una temperatura de célula de 25° y una distribución espectral de AM 1,5G Y NOCT (°C) temperatura nominal de operación de la célula: a una

irradiancia de 800W/m², temperatura ambiente de 20°C, una velocidad del viento de 1m/s y una distribución espectral AM 1,5.

Teniendo en cuenta los datos anteriores se procede a realizar el cálculo de variación de potencia % con los datos de la ficha técnica que se encuentra adjunta.

1. Buscar la temperatura a la cual está operando la celda solar, para ello, se hace uso de la condición NOCT.

2. En la ficha técnica se encuentra la temperatura nominal de operación de la celda, cuyo valor corresponde a 45 °C ± 2, tomar el valor promedio.

3. Registrar el valor de la temperatura ambiente del lugar donde se realiza la practica T_{cs} , y la irradiancia del sol que reciben los paneles la cual equivale G_s (valor de la radiación se toma lectura al momento de

hacer la prueba) y el valor de irradiancia condición estándar NOCT.

4. En este punto ya se tienen todos los datos necesarios para encontrar la temperatura de la celda, se procede a reemplazar en la formula.

$T_{cs} = \text{Temperatura de celda en el sitio}$

$T(NOCT) = \text{Temperatura nominal NOCT}$

$T_a(NOCT) = \text{Temperatura ambiente NOCT}$

$T_c = \text{Temperatura de celda}$

$G_s = \text{Irradiancia del sol}$

$G(NOCT) = \text{Irradiancia condicion standar}$

$T_c = T_{cs} + [(T(NOCT)) - (T_a(NOCT))]$

$$* \frac{G_s}{G(NOCT)}]$$

5. Calcular el diferencial de temperatura de la celda con las condiciones estándar STC

$T_c(STC) = \text{Temperatura de celda a STC}$

$$\Delta T = T_c - T_c(STC)$$

$$V_{ImpC} = \left(\frac{(100\% + \alpha T * \Delta T)}{100\%} \right) (Imp \text{ a } STC)$$

$$\text{Valor } V_{mp} \text{ corregido} = V.V_{mpC}$$

6. Luego de haber encontrado la temperatura de operación de la celda (célula), se calculan las variaciones de tensión, corriente y potencia. El coeficiente de temperatura respectivo se encuentra en la ficha técnica.

$$V.V_{mpC} = \left(\frac{(100\% + \beta T * \Delta T)}{100\%} \right) (V_{mp} \text{ a } STC)$$

$$\text{Valor } P_{max} \text{ corregido} = V.P_{maxC}$$

$$V.P_{maxC} = \left(\frac{(100\% + \gamma T * \Delta T)}{100\%} \right) (P_{max} \text{ a } STC)$$

αT = coeficiente temperatura % corriente

$$\text{Valor } I_{sc} \text{ corregido} = V.I_{scC}$$

βT = coeficiente temperatura % voltaje

$$V.I_{scC} = \left(\frac{(100\% + \alpha T * \Delta T)}{100\%} \right) (I_{sc} \text{ a } STC)$$

γT = coeficiente temperatura % potencia

$$V.VocC = \text{Valor } Voc \text{ corregido}$$

Variación potencia en P_{max} % = $\gamma T * \Delta T$

$$V.VocC = \left(\frac{(100\% + \beta T * \Delta T)}{100\%} \right) (Voc \text{ a } STC)$$

Variación voltaje Voc % = $\beta T * \Delta T$

Variación corriente I_{sc} % = $\alpha T * \Delta T$

7. Una vez calculados los valores de variación en condiciones STC, se procede a calcular los valores corregidos con los datos de la ficha técnica de corriente máximo, voltaje y potencia máximos, corriente de corto circuito I_{sc} y voltaje circuito abierto Voc .

$$\text{Valor } I_{mp} \text{ corregido} = V.I_{mpC}$$

8. Luego de haber obtenido los valores corregidos de los parámetros de la celda solar se elabora una tabla comparativa entre los valores corregidos y los valores proporcionados por la ficha técnica. cómo se ilustra en la tabla

Fase 2. Cálculo experimentales

parámetros de la celda solar

Datos dados

Al iniciar la practica tomar la lectura temperatura ambiente e irradiancia.

1. Seleccionar la ubicación adecuada para los paneles fotovoltaicos teniendo en cuenta el ángulo óptimo de inclinación.

2. Mientras se realizan las respectivas conexiones, mantener cubiertos los paneles solares para evitar que se calienten antes de iniciar las pruebas.

3. Realizar la conexión del panel y revisar que todo esté conectado correctamente y luego hacer la conexión del Arduino para registrar la toma de datos de voltaje e intensidad de la celda y registrarlos en el computador.

4. Luego se deja incidir la radiación solar durante 15 minutos y en el computador se

toman registros cada 15 seg (para ello el auxiliar programa el Arduino) y se registran los datos.

5. Con los datos obtenidos se construye la gráfica corriente-voltaje vs temperatura

6. Con los datos obtenidos anteriormente se procede a encontrar la eficiencia de la celda solar.

Para el área del panel revisar la ficha técnica correspondiente.

$$G = 1000w/m^2$$

$$n = \frac{I_{mp} * V_{mp}}{G * A}$$

Análisis de resultados y conclusiones

En este apartado se analizan las gráficas de corriente-voltaje, potencia-voltaje de la primera y segunda fase, como también el efecto que tiene la temperatura en los paneles y como esta afecta la eficiencia. Al mismo tiempo que se analiza la eficiencia teórica fase 1 y la eficiencia experimental fase 2.

EVALUAR EL EFECTO QUE TIENE LA VARIACIÓN DEL ÁNGULO DE INCLINACIÓN EN EL MÓDULO SOLAR.

NOMBRE DEL ESTUDIANTE
CODIGO

NOMBRE DEL ESTUDIANTE
CODIGO

NOMBRE DEL ESTUDIANTE
CODIGO

NOMBRE DEL ESTUDIANTE
CODIGO

RESUMEN

El resumen del informe de laboratorio debe sintetizar de manera concisa lo realizado durante la práctica. Debe incluir el objetivo principal, la metodología utilizada, los análisis de resultados y las conclusiones más importantes. Además, se deben incluir palabras clave al final del resumen para resaltar los aspectos más relevantes del informe. Es importante tener en cuenta que el resumen está limitado a un máximo de 150 palabras.

INTRODUCCIÓN

La introducción de un informe de práctica es una síntesis que busca dar una descripción clara y sencilla del tema objeto necesaria para su preparación y el objetivo principal de la

práctica. Es importante que esté escrita en tiempo presente y sea concisa para capturar la atención del lector y presentar los aspectos más relevantes del tema desde el inicio del informe

OBJETIVO GENERAL

Analizar cómo la variación del ángulo afecta el desempeño de una célula policristalina, monocristalina y silicio amorfo, a través del análisis de su comportamiento corriente-tensión.

OBJETIVO ESPECIFICO

- Reconocer los parámetros distintivos de una célula solar para consolidar los principios fundamentales de un sistema fotovoltaico.

- Encontrar el ángulo de inclinación que maximice el rendimiento del panel fotovoltaico.
- Determinar cómo varía el rendimiento del panel al modificar el ángulo de inclinación.
- Angulo acimut
- Como afectan las sombras sobre los módulos fotovoltaicos
- Corriente de cortocircuito y voltaje de circuito abierto en un panel solar
- Curva característica corriente versus voltaje (I-V), voltaje vs potencia (P-V), que representa en un panel solar

MARCO TEORICO

Para adquirir una comprensión completa del principio de operación de un sistema fotovoltaico, es fundamental tener una comprensión clara de los conceptos básicos, parámetros y características. A continuación, se presentan algunos conceptos clave para consultar.

- Energía solar
- Radiación solar
- Tipos de radiación solar
- Parámetros de la radiación solar
- Orientación e Inclinación del panel
- Angulo declinación
- Angulo de elevación
- Materiales
- Paneles solares monocristalinos
- Paneles solares policristalinos
- Paneles solares de película delgada
- Cables de conexión
- Banco de pruebas
- Multímetro
- Herramientas de mano (destornillador, alicates, cortadores de cable)

Procedimiento

Se ha organizado la práctica en dos fases, la primera consiste en realizar los cálculos necesarios para determinar el ángulo de inclinación óptimo, mientras que la segunda fase implica variar el ángulo de inclinación para evaluar su eficacia.

Fase1. Calcular el ángulo de inclinación óptimo para el sistema fotovoltaico

Para encontrar el ángulo de inclinación óptimo de un panel solar, se deben tener en cuenta varios factores, tales como la latitud de la ubicación del panel, la temporada del año, la hora del día y la orientación del panel.

A continuación, se describen los pasos para encontrar el ángulo de inclinación óptimo de un panel solar:

1. Determine la latitud de la ubicación del panel solar.

2. Determine la temporada del año y calcule la declinación solar correspondiente.

La declinación solar es la variación estacional de la posición del sol respecto al ecuador terrestre y se puede calcular usando la siguiente fórmula:

$$\delta = \varepsilon * \text{sen} (360/365 * (284 + n))$$

Dónde:

ε es la oblicuidad de la Tierra (23,45°)

n es el número de días transcurridos desde el 1 de enero

3. Determine la hora del día. La hora del día también afectará la cantidad de luz solar que llega al panel solar.

4. El ángulo cenital es el ángulo entre la dirección vertical y la línea que une el sol y el observador, se halla con la fórmula:

$$\cos \theta_z = \text{sen } \varphi * \text{sen } \delta + \cos \varphi * \cos \delta * \cos H$$

Dónde:

- θ_z es el ángulo cenital
- φ es la latitud del lugar
- δ es la declinación solar
- H es la hora solar

5. Calcular el acimut es el ángulo entre el norte geográfico y la proyección en el plano horizontal de la dirección del sol. Se calcula usando la fórmula:

$$\cos A = (\sin \varphi * \cos \theta_z - \sin \delta) / (\cos \varphi * \sin \theta_z)$$

Dónde:

A es el acimut

6. Una vez que se conoce el ángulo cenital y el acimut del sol en el lugar y momento específico, se calcula:

$$\beta = \arccos (\sin \varphi * \sin \delta + \cos \varphi * \cos \delta * \cos H)$$

Dónde:

β ángulo óptimo de inclinación

En general, el ángulo de inclinación óptimo de un panel solar puede variar entre 0 y 90 grados, dependiendo de los factores mencionados anteriormente. Encontrar el ángulo de inclinación óptimo puede ayudar a maximizar la eficiencia y la producción de energía del panel solar.

Fase 2. Variación ángulo de inclinación con incidencia constante.

Para medir la variación de la eficiencia del panel solar en relación con su inclinación, es necesario considerar y seguir los siguientes pasos:

1. Seleccionar la ubicación adecuada para los paneles fotovoltaicos teniendo en cuenta la cantidad de luz solar.

2. Montar los paneles fotovoltaicos sujetarlos a la estructura correspondiente y realizar las conexiones necesarias.

la interpretación de los datos para llegar a conclusiones sólidas y precisas.

3. Una vez instalado el sistema en el lugar y realizado las conexiones, se posiciona el panel en el ángulo de inclinación óptimo hallado en la fase 1 y se registran los datos de corriente y voltaje.

4. Registrados los datos con el ángulo óptimo, se varía la inclinación para los ángulos 10,15,20,25,30,35,40,45 y se repite el paso 3

6. Analizar el comportamiento del panel variando el ángulo de inclinación y comparar cómo se comporta respecto al ángulo óptimo, este proceso para cada tecnología.

Análisis de resultados

El objetivo del texto consiste en presentar y argumentar los resultados obtenidos en cada uno de los procedimientos realizados, a través de un análisis de los datos obtenidos. El enfoque principal se centra en

Conclusiones

En la sección de conclusiones, se muestran los resultados más relevantes obtenidos tras el análisis riguroso de los datos recopilados. a fin de ofrecer una respuesta clara y directa a los objetivos planteados al inicio de la práctica.

Se presentarán mínimo 4 conclusiones, cada una de ellas basadas en los resultados obtenidos y su relación con los objetivos propuestos. De esta manera se ofrece una visión completa y detallada de los obtenidos en la práctica.