

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAAGUAZÚ**  
**FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍAS**  
**CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTRICIDAD.**



**PROYECTO FINAL DE GRADO.**

Diseño de un banco de pruebas de Paneles Solares Fotovoltaica  
para el Laboratorio de la Facultad de Ciencias y Tecnologías de  
la UNCA.

**AUTORES:**

Milene Fiorella Duarte Ramírez.

María Mercedes Paredes Rolón.

**TUTORA:**

Nelly Soledad Moreno Sosa.

CORONEL OVIEDO, 27 JUNIO DE 2025.



**MISIÓN:** Formar profesionales excelentes con conocimientos científicos y tecnológicos, competentes, con sentidos crítico, ético y responsabilidad Social.

**VISIÓN:** Ser una Facultad líder, con excelencia en la formación de profesionales que contribuya al desarrollo del País.



Usted es libre de:

- **Compartir** — copiar y redistribuir el material en cualquier medio o formato
- **Adaptar** — remezclar, transformar y construir a partir del material

Bajo los siguientes términos:

- **Atribución** — Usted debe dar [crédito de manera adecuada](#), brindar un enlace a la licencia, e [indicar si se han realizado cambios](#). Puede hacerlo en cualquier forma razonable, pero no de forma tal que sugiera que usted o su uso tienen el apoyo de la licenciante.
- **NoComercial** — Usted no puede hacer uso del material con [propósitos comerciales](#).



**MISIÓN:** Formar profesionales excelentes con conocimientos científicos y tecnológicos, competentes, con sentidos crítico, ético y responsabilidad Social.  
**VISIÓN:** Ser una Facultad líder, con excelencia en la formación de profesionales que contribuya al desarrollo del País.

## **DERECHO DE AUTOR.**

Quienes suscriben, Milene Fiorella Duarte Ramírez y María Mercedes Paredes Rolón, autores del trabajo de investigación titulado “Diseño de un banco de pruebas de Paneles Solares Fotovoltaica para el Laboratorio de la Facultad de Ciencias y Tecnologías de la UNCA”, declaran que voluntariamente ceden a título gratuito en forma pura y simple ilimitada e irrevocablemente a favor de la Facultad de Ciencias y Tecnologías – UNCA, el derecho de autor de contenido patrimonial, que le corresponde sobre el trabajo de referencia. Conforme a lo anteriormente expresado, esta sesión le otorga a la FCyT la Facultad de comunicar la obra divulgarla, publicarla y reproducirla en soportes analógicos o digitales en la oportunidad que así lo estime conveniente. La FCyT deberá indicar qué autoría o creación del trabajo corresponde a mi persona y hará referencia al autor y a las personas que hayan colaborado en la realización del presente trabajo de investigación.

En la ciudad de Coronel Oviedo a los 27 días, del mes de junio del 2025.

.....

.....

Firmas



**MISIÓN:** Formar profesionales excelentes con conocimientos científicos y tecnológicos, competentes, con sentidos crítico, ético y responsabilidad Social.

**VISIÓN:** Ser una Facultad líder, con excelencia en la formación de profesionales que contribuya al desarrollo del País.

## **PÁGINA DE APROBACIÓN.**

Trabajo de fin de grado para la obtención del Título de Ingeniero Electricista, aprobado en representación de la Facultad Ciencias y Tecnología de la Universidad Nacional de Caaguazú, por el Tribunal Examinador constituido por los siguientes profesores y con la siguiente nota final:

CALIFICACIÓN FINAL: \_\_\_\_\_

ACTA N°: \_\_\_\_\_

FECHA: \_\_\_\_\_

-----  
Prof. Ing.

-----  
Prof. Ing.

-----  
Prof. Ing.



**MISIÓN:** Formar profesionales excelentes con conocimientos científicos y tecnológicos, competentes, con sentidos crítico, ético y responsabilidad Social.

**VISIÓN:** Ser una Facultad líder, con excelencia en la formación de profesionales que contribuya al desarrollo del País.

## **DEDICATORIA.**

A mis padres y hermanos, por su amor incondicional, apoyo y sacrificios a lo largo de este camino.

A mis amigos, por sus palabras de aliento, compañía y por hacer de este viaje una experiencia inolvidable.

Y, especialmente, a mí mismo, por no rendirme, por superar los desafíos y por creer en mis capacidades incluso en los momentos más difíciles.

Milene Fiorella Duarte Ramírez.

A mi abuela, quien siempre fue un pilar fundamental en mi vida. Aunque ya no estás físicamente conmigo, tu amor, tus enseñanzas siguen guiando mis pasos.

A mi madre y hermana quienes son mi fortaleza, gracias por su amor incondicional, apoyo y sacrificios a lo largo de todos estos años.

A toda mi familia, en especial a mis padrinos Alci, Eva y Martha, y a mis queridas tías Nancy y Hony, por su constante apoyo, sus palabras de aliento y por ser una fuente inagotable de inspiración en mi vida.

María Mercedes Paredes Rolón.



**MISIÓN:** Formar profesionales excelentes con conocimientos científicos y tecnológicos, competentes, con sentidos crítico, ético y responsabilidad Social.

**VISIÓN:** Ser una Facultad líder, con excelencia en la formación de profesionales que contribuya al desarrollo del País.

## **AGRADECIMIENTOS.**

En primer lugar, agradezco a Dios por darme la fortaleza, la salud y las oportunidades necesarias para alcanzar esta meta.

A mis profesores y tutores, quienes con su compromiso y orientación me ayudaron a crecer académica y profesionalmente.

Quiero expresar mi especial gratitud al Ingeniero Juan Carlos Fariña y a la Ingeniera Clara Fernández, quienes, con su guía, paciencia y dedicación, desempeñaron un papel clave en el desarrollo de esta tesis. Sus consejos, conocimiento y constante disposición fueron esenciales para alcanzar este logro.

A mis compañeros de estudio, por compartir este camino conmigo, por su amistad y por los momentos de aprendizaje y compañerismo.

Finalmente, agradezco a todas las personas que, de una forma u otra, 10 contribuyeron a mi crecimiento personal y académico durante estos años. Cada palabra de aliento y cada gesto de apoyo dejaron una huella en este logro.

Milene Fiorella Duarte Ramírez.

En primer lugar, quiero agradecer a Dios, por darme la fortaleza y la determinación necesarias para no rendirme.

A mis profesores y tutores por las enseñanzas que me brindaron estos años.

Mi camino no fue fácil, pero siempre tuve a las personas correctas a mi lado, quienes, con su apoyo incondicional, me motivaron a seguir adelante. Agradezco profundamente a mis amigos y primas, por su amistad, por sus palabras de aliento y por siempre estar allí, incluso en los momentos más difíciles.

María Mercedes Paredes Rolón.



**MISIÓN:** Formar profesionales excelentes con conocimientos científicos y tecnológicos, competentes, con sentidos crítico, ético y responsabilidad Social.

**VISIÓN:** Ser una Facultad líder, con excelencia en la formación de profesionales que contribuya al desarrollo del País.

## RESUMEN.

El Diseño de un banco de pruebas de paneles solares fotovoltaicos desarrollado para el laboratorio de la Facultad de Ciencias y Tecnologías de la Universidad Nacional de Caaguazú (UNCA) tiene como propósito fortalecer la enseñanza y el aprendizaje práctico en sistemas de energía solar. Este banco se diseñó como una herramienta didáctica para realizar ensayos técnicos que evalúen el rendimiento de sistemas fotovoltaicos bajo condiciones reales.

El diseño incluye un banco fijo equipado con instrumentos de medición avanzados, como un reóstato lineal, multímetros digitales y un dispositivo multifuncional que mide irradiancia, inclinación, orientación y temperatura. Los paneles solares, montados en estructuras metálicas móviles y ajustables, permiten simular diversas configuraciones y optimizar la captación de energía solar.

Se establecieron guías detalladas para realizar ensayos que incluyen la obtención de la curva característica I-V, el impacto de la temperatura, el efecto del sombreado y la influencia de la inclinación en la captación de irradiancia. Asimismo, se evaluarán configuraciones autónomas que integren reguladores de carga, bancos de baterías e inversores.

El proyecto cumple con un enfoque didáctico y técnico, ofreciendo una plataforma para la capacitación en energías renovables y permitiendo el desarrollo de habilidades prácticas en el diseño, operación y análisis de sistemas solares fotovoltaicos. Con este banco de pruebas, la UNCA fomenta la formación de profesionales altamente capacitados para afrontar los retos de la transición energética.

**Palabras Clave:** Generación de Energía Eléctrica, ODS 4 – Educación de calidad, ODS 7 – Energía asequible y no contaminante, ODS 12 – Producción y consumo responsable.



**MISIÓN:** Formar profesionales excelentes con conocimientos científicos y tecnológicos, competentes, con sentidos crítico, ético y responsabilidad Social.  
**VISIÓN:** Ser una Facultad líder, con excelencia en la formación de profesionales que contribuya al desarrollo del País.

## **ABSTRACT.**

The design of a photovoltaic solar panel testing bench developed for the laboratory of the Faculty of Science and Technology at the National University of Caaguazú (UNCA) aims to strengthen teaching and practical learning in solar energy systems. This bench was designed as a didactic tool to conduct technical tests that evaluate the performance of photovoltaic systems under real-world conditions.

The design includes a fixed bench equipped with advanced measuring instruments, such as a linear rheostat, digital multimeters, and a multifunctional device capable of measuring irradiance, inclination, orientation, and temperature. The solar panels, mounted on mobile and adjustable metal structures, enable the simulation of various configurations to optimize solar energy capture.

Detailed guides were developed to conduct tests, including obtaining the I-V characteristic curve, analyzing the impact of temperature, evaluating the effect of shading, and studying the influence of inclination on irradiance capture. Additionally, autonomous configurations integrating charge controllers, battery banks, and inverters will be evaluated.

The project adopts both a didactic and technical approach, offering a platform for training in renewable energy and fostering the development of practical skills in the design, operation, and analysis of photovoltaic systems. With this testing bench, UNCA promotes the formation of highly qualified professionals prepared to address the challenges of the energy transition.

**Keywords:** Electric Power Generation, SDG 4 – Quality Education, SDG 7 – Affordable and Clean Energy, SDG 12 – Responsible Production and Consumption.



**MISIÓN:** Formar profesionales excelentes con conocimientos científicos y tecnológicos, competentes, con sentidos crítico, ético y responsabilidad Social.

**VISIÓN:** Ser una Facultad líder, con excelencia en la formación de profesionales que contribuya al desarrollo del País.

## ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN.....	1
1.1. Planteamiento del problema.....	1
1.2. Antecedentes.....	3
1.3. Objetivos.....	4
1.3.1. Objetivo General.....	4
1.3.2. Objetivos Específicos.....	4
1.4. Marco teórico.....	5
1.4.1. La radiación solar en el Paraguay.....	5
1.4.2. Los sistemas fotovoltaicos.....	8
1.4.3. Curva de i-v para celdas fotovoltaicas en condiciones de pruebas estandares (stc).....	9
1.4.4. Efecto de la Sombra.....	12
1.4.5. Efecto de la Orientación e Inclinación.....	12
1.4.6. Efecto de la Temperatura.....	12
2. METODOLOGÍA.....	14
2.1. Descripción del trabajo.....	14
3. INGENIERÍA DE DISEÑO.....	16
3.1. Componentes del banco de pruebas didáctico.....	16
3.2. Diseño del Banco de Pruebas Solar Fotovoltaico.....	20
3.3. Procedimientos para los ensayos del banco de pruebas.....	24
3.3.1. Obtención de la Curva Característica I-V de un Sistema de Paneles Solares.....	24
3.3.2. Evaluación del Impacto de la Temperatura en el Rendimiento de un Sistema Fotovoltaico.....	29
3.3.3. Evaluación del Impacto del Sombreado en la Producción Energética de Módulos Fotovoltaicos.....	34
3.3.4. Influencia de la Inclinación del Panel Fotovoltaico en la Captación de Irradiancia Solar.....	40
3.3.5. Evaluación de un Sistema Solar Fotovoltaico Autónomo.....	45
4. ANALISIS ECONOMICO.....	50
3.4. Presupuesto del banco de pruebas de paneles solares fotovoltaico.....	50
5. RESULTADOS Y ANÁLISIS.....	53
6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	55
7. BIBLIOGRAFÍA.....	56
8. Anexo.....	1



**MISIÓN:** Formar profesionales excelentes con conocimientos científicos y tecnológicos, competentes, con sentidos crítico, ético y responsabilidad Social.  
**VISIÓN:** Ser una Facultad líder, con excelencia en la formación de profesionales que contribuya al desarrollo del País.

8.1.	Dimensionamiento de los componentes del banco de pruebas.....	1
8.1.1.	Los Paneles Solares.....	1
8.1.2.	Las baterías.....	2
8.1.3.	Regulador de Carga.....	5
8.1.4.	Inversor. ....	7
8.1.5.	Dimensionamiento de los Conductores de los paneles solares.....	10
8.1.6.	Dimensionamiento de protección y los conductores desde los Paneles Solares al tablero didáctico.....	13
8.1.7.	Dimensionamiento de la llave termomagnética del tramo entre los Paneles Solares y el regulador de carga.....	18
8.1.8.	Dimensionamiento de la llave termomagnética y conductores del tramo entre el regulador de carga y el inversor/ batería. ....	20
8.1.9.	Dimensionamiento de las protecciones y los conductores en corriente alterna desde el inversor a la carga. ....	23
8.1.10.	Dimensionamiento de protecciones adicionales para la instalación.....	26
8.1.11.	Multímetro Digital de Corriente Continua. ....	29
8.1.12.	Multímetro Digital de Corriente Alterna.....	31
8.1.13.	Instrumento de Medición Portátil. Medidor de irradiancia solar. ....	32
8.1.1.	Reóstato Lineal.....	34
	Tabla 26. Ficha técnica del reóstato lineal.....	35
	Figura 40. Reóstato lineal. ....	35



**MISIÓN:** Formar profesionales excelentes con conocimientos científicos y tecnológicos, competentes, con sentidos crítico, ético y responsabilidad Social.

**VISIÓN:** Ser una Facultad líder, con excelencia en la formación de profesionales que contribuya al desarrollo del País.

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Radiación Global.....	6
Figura 2. Mapa de la Radiación solar promedio anual del Paraguay basado en datos satelitales. ....	7
Figura 3. Variación del promedio mensual de los recursos solares en el Paraguay. ....	8
Figura 4. Tipos de paneles solares. ....	8
Figura 5. Curva de Voltaje-corriente de una celda fotovoltaica.....	11
Figura 6. Gráfica de la Curva I-V y sus efectos al aumentar la temperatura. ....	13
Figura 7. Vista frontal del Banco de pruebas. ....	21
Figura 8. Vista 3D frontal del Banco de pruebas.....	21
Figura 9. Dimensiones del Banco de pruebas. ....	22
Figura 10. Vista 3D del Banco de pruebas. ....	22
Figura 11. Vista 3D global del Banco de pruebas.....	23
Figura 12. Vista 3D de los paneles solares.....	23
Figura 13. Esquema de Conexionado para la Curva Característica I-V.....	27
Figura 14. Diagrama de Conexionado para la Curva Característica I-V. ....	28
Figura 15. Esquema de Conexionado para el Impacto de la Temperatura. ....	31
Figura 16. diagrama de conexión de para el Impacto de la Temperatura.....	31
Figura 17. Esquema de Conexionado para el Impacto del Sombreado. ....	37
Figura 18. Esquema de Conexionado para la Influencia de la Inclinación. ....	42
Figura 19. Diagrama de Conexionado para la Influencia de la Inclinación.....	43
Figura 20. Esquema de Conexionado de Sistema autónomo.....	47
Figura 23. Batería para SFV de carga profunda.....	4
Figura 24. Regulador de carga.....	7
Figura 25. Inversor de CC/CA. ....	9
Figura 26. Cable especial para sistemas solares. ....	13
Figura 27. Fusible de corriente Directa.....	15
Figura 28. Portafusibles de corriente directa.....	16
Figura 29. Interruptor termomagnético de Corriente Continua.....	19
Figura 30. Interruptor termomagnético Chint. ....	24
Figura 31. DPS de corriente continua.....	27
Figura 32. Disyuntor diferencial.....	29
Figura 33. Multímetro digital de corriente continua.....	30
Figura 34. Multímetro digital de Corriente Alterna.....	32
Figura 35. Medidor de Irradiancia solar. ....	34
Figura 40. Reóstato lineal.....	35



**MISIÓN:** Formar profesionales excelentes con conocimientos científicos y tecnológicos, competentes, con sentidos crítico, ético y responsabilidad Social.

**VISIÓN:** Ser una Facultad líder, con excelencia en la formación de profesionales que contribuya al desarrollo del País.

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Componentes principales del banco de pruebas. _____	17
Tabla 2. Componentes de protección del banco de pruebas. _____	18
Tabla 3. Componentes de medición y variador de resistencia del banco de pruebas. _____	19
Tabla 4. . Primer Presupuesto de los componentes para el banco Solar Fotovoltaico. _____	50
Tabla 5. Segundo presupuesto de los componentes para el banco Solar Fotovoltaico. _____	51
Tabla 6. Tercer presupuesto de los componentes para el banco Solar Fotovoltaico. _____	52
Tabla 7. Presupuesto total para la implementación del banco de pruebas. _____	52
Tabla 8. Ficha técnica del panel solar. _____	2
Tabla 9. Especificaciones técnicas de la batería AGM. _____	3
Tabla 10. Tabla de descarga de la batería. _____	4
Tabla 11. Datos para el cálculo del regulador de Carga. _____	6
Tabla 12. Ficha técnica del regulador de carga. _____	7
Tabla 13. Ficha técnica del Inversor. _____	9
Tabla 14. Recomendaciones para la caída de tensión por tramos. _____	11
Tabla 15. Conductor eléctrico especial para sistemas solares fotovoltaicos. _____	12
Tabla 16. Ficha técnica del Fusible de corriente Continua. _____	15
Tabla 17. Ficha técnica del Portafusibles. _____	16
Tabla 18. Ficha técnica del Interruptor termomagnético de Corriente Continua. _____	19
Tabla 19. Ficha técnica del Interruptor termomagnético de Corriente Continua. _____	22
Tabla 20. Ficha técnica de Interruptor termomagnético Chint. _____	24
Tabla 21. Ficha técnica del DPS de corriente continua. _____	27
Tabla 22. Ficha técnica del Disyuntor Diferencial. _____	28
Tabla 23. Ficha técnica del multímetro Digital de Corriente Continua. _____	30
Tabla 24. Ficha técnica del Multimetro monofásico de CA. _____	31
Tabla 25. Medidor de la Irradiancia solar. _____	33
Tabla 26. Ficha técnica del reóstato lineal. _____	35

## **1. INTRODUCCIÓN.**

### **1.1. Planteamiento del problema.**

Siendo un monopolio estatal, la Administración Nacional de Electricidad (ANDE) es el encargado de garantizar el suministro de energía eléctrica de manera eficiente, segura y confiable a todos los consumidores en Paraguay. Según datos dotados por ANDE [1], en el año 2023 el consumo de energía eléctrica en el Sistema Interconectado Nacional (SIN) experimento un aumento abrupto del 12,4% con relación al año 2022, que representa un total de 22.194,6 GWh, marcando el incremento más significativo de los últimos diez años. Ante proyecciones realizadas en por la Viceministerio de Minas y Energía (VMME) en colaboración con la ANDE [2], debido al creciente aumento en la demanda de energía a nivel nacional, es posible que, a mediano o largo plazo las fuentes energéticas actuales no sean suficientes para satisfacerla, estimándose que esta situación pueda surgir alrededor del año 2030. Por lo tanto, se hace imperativo introducir nuevas fuentes de energía para hacer frente a este crecimiento continuo. Con el objetivo de diversificar la matriz energética del país y hacerla más sostenible, se ha propuesto la inclusión de fuentes de Energías Renovables no Convencionales (ERNC). En este contexto, se promulgó la ley 6977, que regula la generación, producción y utilización de energía eléctrica a partir de fuentes de Energías Renovables no Convencionales no Hidráulicas (ERNC) [3].

No obstante, ante la urgente necesidad de diversificar las fuentes de ERNC en el país, actualmente son escasas las plantas solares operativas. A pesar de los avances tecnológicos y el creciente interés en la energía solar fotovoltaica siendo una fuente de energía limpia y renovable se ha observado un limitado avance en Paraguay, así como en muchas instituciones educativas de formación profesional, la enseñanza sobre energías renovables sigue siendo predominantemente teórica, limitando la comprensión de los principios operativos y las dinámicas reales de los sistemas solares.

La Facultad de Ciencias y Tecnología de la UNCA tiene como misión formar profesionales altamente capacitados, con sólidos conocimientos científicos y tecnológicos, capaces de actuar con sentido crítico, ética y responsabilidad social. Sin embargo, en la actualidad, la Facultad no cuenta con un laboratorio de pruebas que

permita a los estudiantes complementar su formación teórica con experiencias prácticas en el ámbito de la energía solar fotovoltaica.

La ausencia de un banco de pruebas funcional limita significativamente la posibilidad de realizar ensayos experimentales que simulen condiciones reales y analicen variables críticas como irradiancia, temperatura, inclinación y sombreado. Esta carencia no solo restringe el desarrollo de habilidades técnicas esenciales, sino que también afecta la generación de oportunidades de investigación aplicada en un campo tecnológico que está en constante evolución y que resulta estratégico para la transición hacia energías renovables.

La implementación de un banco de pruebas solar fotovoltaico en el laboratorio de la Facultad busca llenar esta brecha, ofreciendo una plataforma didáctica y técnica para la evaluación de sistemas solares. Este banco permitirá a los estudiantes realizar ensayos prácticos que fortalezcan su formación académica y técnica, capacitándolos para enfrentar los desafíos del sector energético.

## **1.2. Antecedentes.**

Según Fery Rodríguez [4], para la formación de profesionales altamente capacitados en el campo de las Energías Renovables No Convencionales (ERNC), es esencial contar con instalaciones adecuadas que permitan la realización de prácticas, contribuyendo así al desarrollo e implementación de sistemas solares fotovoltaicos. En este estudio, se presentó el diseño arquitectónico de un laboratorio destinado a llevar a cabo diversas prácticas relacionadas con los sistemas solares fotovoltaicos, utilizando fuentes de iluminación artificial y midiendo la radiación mediante un Piranómetro, además de simular cargas mediante un reóstato de cursor.

En el proyecto de fin de grado de Iván y Edison [5], se propuso la creación de un laboratorio experimental diseñado específicamente para realizar prácticas relacionadas con la energía solar fotovoltaica. Se llevó a cabo la construcción del banco de pruebas, ensamblando todos los componentes del sistema solar fotovoltaico. Se realizaron mediciones experimentales para evaluar los componentes, incluyendo la obtención de las curvas I-V y P-V de los paneles fotovoltaicos.

### **1.3. Objetivos.**

#### **1.3.1. Objetivo General.**

Diseñar un banco de pruebas de paneles solares fotovoltaicos para el laboratorio de la Facultad de Ciencias y Tecnologías de la UNCA.

#### **1.3.2. Objetivos Específicos.**

- Identificar y analizar las variables que afectan al rendimiento de los sistemas solares fotovoltaicos.
- Dimensionar y seleccionar los equipos necesarios para la construcción de un banco de pruebas.
- Diseñar una guía de procedimientos técnicos que permita la realización de pruebas didácticas efectivas, tales como curvas I-V, análisis de temperatura, sombreado e inclinación, integrando herramientas prácticas para el aprendizaje y la investigación.
- Elaborar un presupuesto detallado que contemple todos los componentes necesarios para la implementación los bancos de pruebas proyectados.

## **1.4. Marco teórico.**

### **1.4.1. La radiación solar en el Paraguay.**

La energía solar es una forma de energía renovable y limpia que se deriva del sol, una inmensa fuente de radiación electromagnética. Esta radiación se compone de fotones, que son ondas sin masa que viajan a la velocidad de la luz y transportan energía. Esta radiación electromagnética abarca una variedad de longitudes de onda que incluye desde los rayos gamma, pasando por la luz visible, hasta las ondas de radio.

Los principios fundamentales que rigen el aprovechamiento de la energía solar abarcan una amplia gama de fenómenos físicos y tecnológicos. Estos principios se aplican en la captación, conversión y utilización de la energía solar para generar electricidad, producir calor y proporcionar iluminación en diversas aplicaciones. Sin embargo, este aprovechamiento se ve limitado por dos factores de gran relevancia: la intensidad de la radiación solar recibida por la tierra y las condiciones climáticas y meteorológicas [6].

Para cuantificar la radiación solar, se utilizan los conceptos de Irradiancia e irradiación:

#### **1.4.1.1. Irradiancia.**

Comúnmente conocida como radiación solar, la irradiancia representa la potencia de la radiación solar incidente sobre una superficie en un momento determinado. Se mide en  $\text{kW/m}^2$ . Dentro de la atmósfera terrestre, su valor es de aproximadamente  $1 \text{ kW/m}^2$ , mientras que fuera de la atmósfera es de alrededor de  $1.366 \text{ kW/m}^2$ .

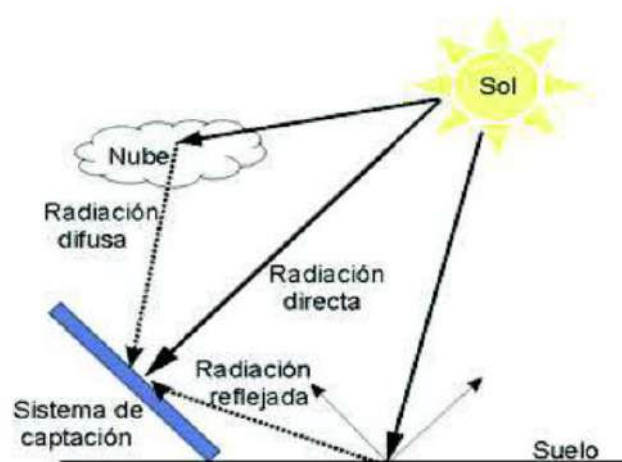
#### **1.4.1.2. Irradiación.**

También conocida como insolación, la irradiación se refiere a la energía de la radiación solar incidente por unidad de superficie durante un intervalo de tiempo, generalmente un día. Su unidad de medida es  $\text{kWh/m}^2$  por día. Matemáticamente, la irradiación es la integral de la irradiancia a lo largo de un día.

### 1.4.1.3. Insolación Global.

La insolación total que llega al plano terrestre se denomina insolación global y se divide en tres componentes: directa, difusa y reflejada.

- **Insolación Directa:** Es la radiación solar que llega directamente del sol sin desviación. Se observa como la luz solar en un cielo despejado.
- **Insolación Difusa:** Es la radiación que llega a la superficie colectora después de ser dispersada en la atmósfera. Se observa como la luz solar en un cielo nublado.
- **Insolación Reflejada (Albedo):** Es la radiación solar que llega a una superficie tras ser reflejada por objetos cercanos. [7]



*Figura 1. Radiación Global.*

La radiación solar que alcanza la superficie del Sol tiene una potencia aproximada de 60 MW/m<sup>2</sup>, disminuyendo a alrededor de 1,3 kW/m<sup>2</sup> al llegar a la parte superior de la atmósfera terrestre, conocida como constante solar (Ics). Para definir la irradiación o insolación en una superficie específica, es necesario considerar la radiación global a la que está expuesta dicha superficie, se tiene en cuenta la radiación solar global observada en una superficie horizontal (GHI) [6] [8].

Según Miguel Frutos [9], para comprender adecuadamente la radiación solar a largo plazo, es fundamental contar con información mensual y anual de variables como la GHI,

y sus componentes Directa (DNI) y Difusa (DIF), idealmente recopilada a lo largo de un período de 20 años. Sin embargo, la medición precisa de estas componentes es compleja y requiere instrumentación específica que no siempre está disponible en la mayoría de las estaciones terrestres. La única fuente de datos que puede proporcionar esta información con una resolución uniforme y series lo suficientemente extensas para análisis a largo plazo es el "Atmospheric Science Data Center" de la NASA, que recopila datos mediante mediciones satelitales realizadas a lo largo de un periodo de 20 años [10].

El Viceministerio de Minas y Energía (VMME) y la Agencia Alemana de Cooperación Técnica (GIZ) colaboraron para desarrollar un mapa de los recursos solares anuales en Paraguay, cuyos resultados se presentan en la figura 1. Además, en la figura 2 se proporciona un resumen de la variación mensual de los recursos solares en el país, evidenciando una notable disminución durante los meses de otoño e invierno. [9]

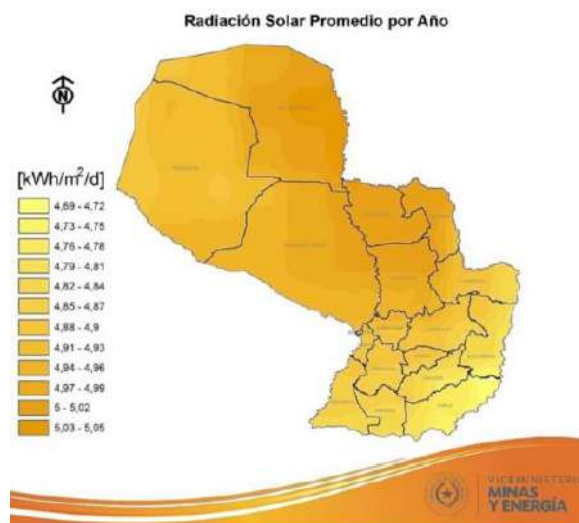


Figura 2. Mapa de la Radiación solar promedio anual del Paraguay basado en datos satelitales.

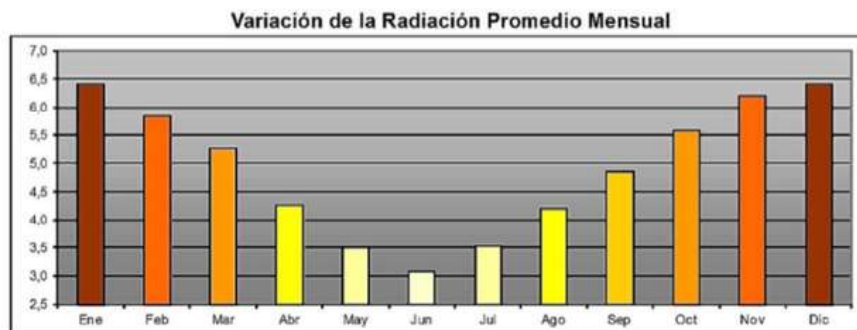


Figura 3. Variación del promedio mensual de los recursos solares en el Paraguay.

Los valores medios anuales de la radiación global horizontal varían desde 4,7 kWh/(m<sup>2</sup> día) en Itapúa hasta 5,1 kWh/(m<sup>2</sup> día) en Alto Paraguay. En el área que abarca la Ciudad de Asunción y sus alrededores, se registra un valor medio diario de 4,9 kWh/m<sup>2</sup> o un promedio anual de 1788 kWh/m<sup>2</sup>. [10]

#### 1.4.2. Los sistemas fotovoltaicos.

Los paneles fotovoltaicos, también conocidos como módulos fotovoltaicos, son dispositivos que convierten la energía de la radiación del sol en electricidad mediante el efecto fotovoltaico. Están compuestos por células solares, generalmente fabricadas de silicio, que absorben la luz solar y generan corriente eléctrica continua. Estas células están conectadas entre sí y encapsuladas en un material resistente y protector, como el vidrio y el plástico, formando así un panel o módulo fotovoltaico.

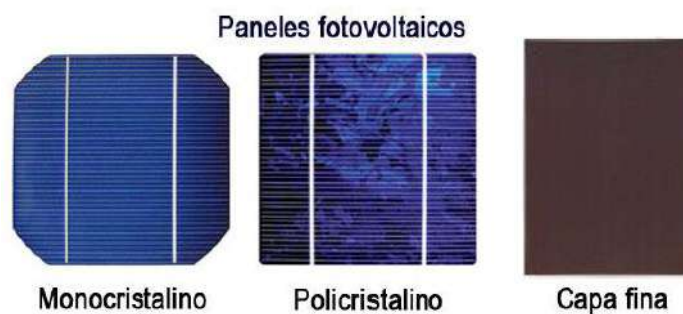


Figura 4. Tipos de paneles solares.

Como se puede observar en la figura 4, los paneles solares se dividen en Monocrystalinos, se construyen a partir de secciones de una sola pieza de silicio

perfectamente cristalizado. Estos paneles son conocidos por su alta eficiencia, que suele oscilar entre el 15 y el 21 %. Por otro lado, los paneles policristalinos se fabrican utilizando materiales similares, pero el proceso de cristalización del silicio es diferente. En este caso, el silicio se cristaliza en secciones que forman pequeños cristales de manera desordenada. Aunque son menos eficientes que los monocristalinos, con una eficiencia del orden del 16 %, tienen un costo de fabricación inferior. Por último, los paneles amorfos también se basan en el silicio, pero carecen de una estructura cristalina definida. Son los más económicos de los tres tipos, pero su eficiencia es más baja, generalmente entre el 6 y el 10 %. Además, tienden a experimentar una degradación más rápida en la potencia generada en comparación con los paneles monocristalinos y policristalinos [11]. Estos paneles se presentan en una variedad de modelos con potencias nominales que oscilan entre 5 y 300 Watio pico (Wp). Además, destacan por su larga vida útil, que puede extenderse hasta los 30 años, su bajo requerimiento de mantenimiento y la facilidad de instalación [10].

#### **1.4.3. Curva de i-v para celdas fotovoltaicas en condiciones de pruebas estandares (stc).**

La curva I-V (corriente-voltaje) para celdas fotovoltaicas en condiciones de pruebas estándar (STC, por sus siglas en inglés) es una representación gráfica fundamental que describe el comportamiento eléctrico de una celda solar bajo condiciones específicas de prueba. Esta curva es crucial para entender y evaluar el rendimiento de la celda fotovoltaica.

#### **Condiciones de Pruebas Estándar (STC).**

Las condiciones de pruebas estándar son definidas para proporcionar un entorno controlado y reproducible para la evaluación de celdas fotovoltaicas. Las STC se establecen como sigue:

Irradiancia: 1000 W/m<sup>2</sup>

Temperatura de la celda: 25°C

#### **Descripción de la Curva I-V.**

La curva I-V muestra la relación entre la corriente (I) que produce la celda solar y el voltaje (V) que se genera a través de ella bajo las condiciones de prueba estándar. A continuación, se describen las características clave de esta curva:

#### **Corriente de Cortocircuito (Isc):**

Corresponde a la máxima corriente generada por un panel solar cuando se conecta una carga de resistencia cero en sus terminales de salida. Su valor depende de la superficie del panel y de la radiación solar.

#### **Voltaje de Circuito Abierto (Voc):**

Es el punto donde la corriente es cero y se mide el voltaje máximo producido por la celda, medido en los terminales de salida cuando no hay carga conectada, es decir, a circuito abierto. El comportamiento eléctrico de los paneles se representa mediante curvas corriente vs. voltaje (curva IV) o potencia vs. voltaje (curva PV). La curva de potencia se obtiene multiplicando la corriente por el voltaje en cada punto de la curva IV. Cada modelo de panel tiene una curva IV o PV característica.

#### **Punto de Máxima Potencia (Pm):**

Es el punto en la curva donde el producto de la corriente y el voltaje ( $I \cdot V$ ) es máximo. Este punto es crucial ya que determina la potencia máxima que la celda puede entregar a una carga.

#### **Corriente y Voltaje en el Punto de Máxima Potencia (Imp y Vmp):**

Estos valores se alcanzan en el punto de máxima potencia del panel. Fuera de este punto, la potencia de salida será significativamente menor.

##### **1.4.3.1. Forma de la Curva:**

La curva típicamente comienza en Isc y se desplaza hacia Voc en una forma curva.

La región de la curva cerca de Isc es casi vertical, indicando que una pequeña variación en el voltaje produce una gran variación en la corriente.

La región cerca de Voc es casi horizontal, indicando que una pequeña variación en la corriente produce una gran variación en el voltaje.

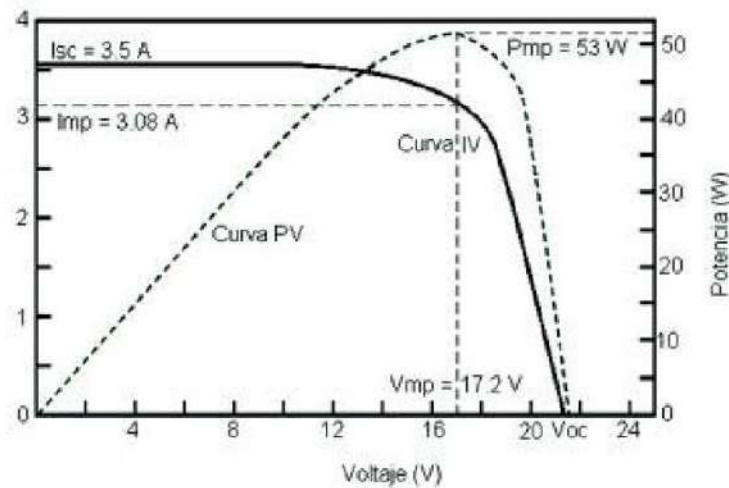


Figura 5. Curva de Voltaje-corriente de una celda fotovoltaica.

En una representación gráfica típica de la curva I-V, El eje horizontal (x) representa el voltaje (V). El eje vertical (y) representa la corriente (I).

La potencia (P) en cualquier punto de la curva se calcula como el producto de V e I ( $P = V * I$ ).

#### 1.4.3.2. Importancia de la Curva I-V

Evaluación del Rendimiento: La curva I-V permite evaluar el rendimiento de la celda fotovoltaica y es esencial para el diseño y dimensionamiento de sistemas solares.

Diagnóstico de Fallos: Anomalías en la forma de la curva pueden indicar problemas o defectos en la celda.

Comparación: Facilita la comparación de diferentes celdas solares y módulos bajo condiciones estandarizadas. [5]

Los paneles solares fotovoltaicos pueden llegar a variar su rendimiento por factores ambientales que son los siguientes:

#### **1.4.4. Efecto de la Sombra.**

Las sombras afectan notablemente el rendimiento de los paneles solares. Durante el diseño de una instalación fotovoltaica, es crucial situar los paneles en lugares libres de sombras para evitar interferencias. Este efecto es más pronunciado en instalaciones con paneles conectados en serie, ya que, si un panel está sombreado, no generará los mismos niveles de energía que los descubiertos y, en cambio, podría consumir energía en lugar de generarla.

#### **1.4.5. Efecto de la Orientación e Inclinación.**

Los paneles solares funcionan de manera óptima cuando están orientados directamente hacia el sol, es decir, cuando están perpendiculares a los rayos solares.

Instalaciones Fijas vs. Seguimiento: En instalaciones fijas, es imposible mantener esta perpendicularidad constante, por lo que el diseño debe maximizar la captación de luz solar durante los periodos de mayor radiación. Las instalaciones con sistemas de seguimiento solar reducen este problema al mantener los paneles perpendiculares al sol.

#### **1.4.6. Efecto de la Temperatura.**

La temperatura de la célula solar afecta significativamente el voltaje de circuito abierto (Voc). A medida que la temperatura aumenta, el Voc disminuye, lo que se puede observar en la curva I-V.

Impacto en el Rendimiento: Un aumento de la temperatura reduce el voltaje de circuito abierto en aproximadamente  $2.3 \text{ mV}/^\circ\text{C}$  para el silicio. Además, la eficiencia de la célula disminuye con el aumento de la temperatura, reduciéndose entre un 0.4% y 0.5% por cada grado centígrado en las células de silicio y alrededor de un 0.3% por cada grado centígrado en otras células.

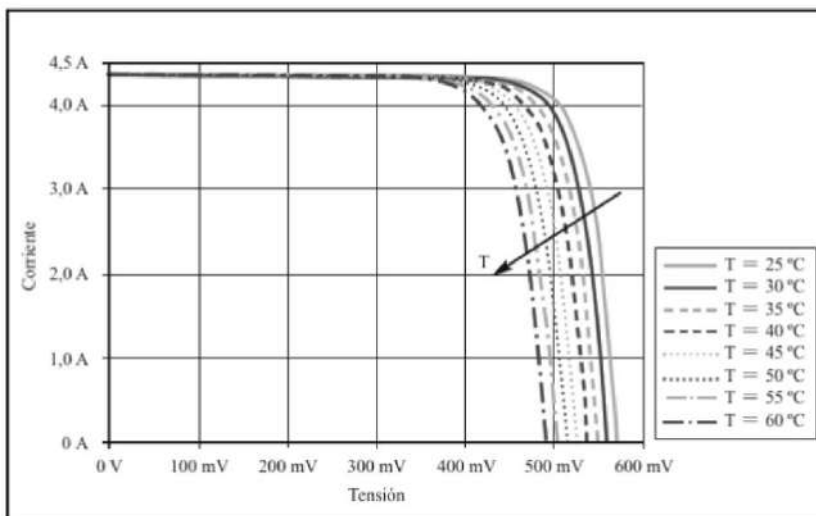


Figura 6. Gráfica de la Curva I-V y sus efectos al aumentar la temperatura.

## 2. METODOLOGÍA.

### 2.1. Descripción del trabajo

El tipo de investigación para el proyecto final de grado se clasifica de la siguiente manera: en términos de su objetivo, es una investigación aplicada, debido a que se enfoca en el diseño de un bando didáctica para pruebas y medición de rendimiento de paneles solares fotovoltaicos. Este diseño tiene un propósito específico y concreto: proporcionar una herramienta educativa que facilite la enseñanza y el aprendizaje de sistemas fotovoltaicos en el Laboratorio de Electricidad de la Facultad de Ciencias y Tecnologías de la UNCA, mejorando así la formación práctica de estudiantes y profesores.

En cuanto al tipo de datos utilizados, se llevará a cabo una investigación cualitativa y cuantitativa. La investigación cualitativa se basará en la revisión de literatura existente, entrevistas a expertos en energía solar y análisis de casos de estudio sobre bancadas didácticas. La investigación cuantitativa incluirá la recopilación y análisis de datos técnicos sobre componentes fotovoltaicos, así como simulaciones de rendimiento bajo diferentes condiciones operativas.

Las técnicas de recolección de datos que se aplicarán incluyen:

**Revisión Bibliográfica:** Se recopilarán datos bibliográficos de libros, artículos científicos y manuales técnicos sobre sistemas fotovoltaicos y bancadas didácticas. Esto permitirá obtener una base teórica sólida y conocer las normativas y estándares aplicables.

**Entrevistas a Expertos:** Se realizarán entrevistas semiestructuradas a ingenieros y técnicos especializados en energía solar fotovoltaica. Estas entrevistas proporcionarán información valiosa sobre experiencias prácticas y recomendaciones para el diseño de la bancada.

**Análisis de Componentes:** Se analizarán y dimensionarán los componentes necesarios, como paneles solares, controladores de carga, inversores y baterías, asegurando que cumplan con los requisitos educativos y técnicos del laboratorio.

La investigación también incluirá el desarrollo de una guía didáctica que contenga instrucciones detalladas de los procedimientos estándar para realizar pruebas de rendimiento de los paneles solares, y ejercicios prácticos para los estudiantes. Además, se elaborará un presupuesto detallado que incluya los costos estimados de los componentes y materiales necesarios para la construcción del banco de pruebas.





### **3. INGENIERÍA DE DISEÑO.**

#### **3.1. Componentes del banco de pruebas didáctico.**

Un banco de pruebas de paneles solares fotovoltaicos es una herramienta clave que permite a los estudiantes experimentar de manera directa con sistemas fotovoltaicos reales. Esta bancada no solo facilita la comprensión teórica de los conceptos, sino que también proporciona una plataforma práctica donde los alumnos pueden observar y analizar el comportamiento de los paneles en condiciones diversas. Más allá del entorno controlado de un laboratorio, los estudiantes tienen la oportunidad de interactuar con los elementos reales que afectan la eficiencia de un sistema fotovoltaico.









Seguidamente, se presentan los componentes necesarios para la elaboración del banco de pruebas, donde se presentan los elementos principales del sistema, componentes de la protección, tanto de corriente continua como de corriente alterna y elementos de medición necesarios para realizar todas las pruebas correspondientes. Cada uno de los elementos que compone el banco de pruebas se dimensionan en el Anexo I.

Diseño de un banco de pruebas de Paneles Solares Fotovoltaica para el Laboratorio de la Facultad de Ciencias y Tecnologías de la UNCA. Milene y Mercedes - 2024

COMPONENTES PARA EL BANCO DE PRUEBAS			
ELEMENTOS PRINCIPALES			
ITEM	COMPONENTE	CARACTERISTICAS	IMAGEN DE REFERENCIA
1	PANEL SOLAR	PANEL SOLAR MONOCRISTALINO PP:160 WP EFICIENCIA: 21,40% VMPP: 19,25V IMPP: 8,31 A	
2	BATERIA	BATERIA DE CCLO PROFUNDO AGM VOLTAJE: 12 V CORRIENTE NOMINAL: 100Ah CELDA POR BATERIA: 6	
3	REGULADOR DE CARGA	REGULADOR DE CARGA PWM VOLTAJE: 12 V CORRIENTE DE DESCARGA: 50A	
4	INVERSOR	INVERSOR DE CORRIENTE POTENCIA APARENTE: 1200 VA PICO DE POTENCIA: 2400W EFICIENCIA: 94%	

*Tabla 1. Componentes principales del banco de pruebas.*

Diseño de un banco de pruebas de Paneles Solares Fotovoltaica para el Laboratorio de la  
Facultad de Ciencias y Tecnologías de la UNCA. Milene y Mercedes - 2024

COMPONENTES PARA EL BANCO DE PRUEBAS				
SISTEMA DE PROTECCION				
ITEM	COMPONENTE	UTILIZACION	CARACTERISTICAS	IMAGEN DE REFERENCIA
1	FUSIBLES	PROTECCION DEL PANEL SOLAR AL TABLERO DE PRUEBAS	FUSIBLE CILINDRICO DE CORRIENTE DIRECTA TENSION NOMINAL: 1000 VCD CORRIENTE NOMINAL: 15A CAPACIDAD DE RUPTURA: 33KA TAMANO: 10X38 MM	
2	PORTA FUSIBLE		PORTAFUSIBLE PARA FUSIBLE CILINDRICO MONTAJE: RIEL DIN GRADO DE PROTECCION: IP20 CONEXIONADO: HASTA 10MM2	
3	INTERRUPTOR CD	DEL PANEL SOLAR AL REGULADOR DE CARGA	INTERRUPTOR DE CORRIENTE DIRECTA INTENSIDAD NOMINAL: 80A NUMERO DE POLO: 2 PODER DE CORTE: 6KA TENSION NOMINAL: 1000 VCD	
4	INTERRUPTOR CD	DEL REGULADOR DE CARGA A LA BATERIA	INTERRUPTOR DE CORRIENTE DIRECTA INTENSIDAD NOMINAL: 63A NUMERO DE POLO: 2 PODER DE CORTE: 6KA VOLTAJE NOMINAL: 1000 VCD	
5	INTERRUPTOR CD	DEL REGULADOR DE CARGA AL INVERSOR	INTERRUPTOR DE CORRIENTE DIRECTA INTENSIDAD NOMINAL: 63A NUMERO DE POLO: 2 PODER DE CORTE: 6KA TENSION NOMINAL: 1000 VCD	
6	INTERRUPTOR TERMOMAGNETICO DE CA	DEL INVERSOR A LA CARGA	INTERRUPTOR DE CORRIENTE ALTERNA INTENSIDAD NOMINAL: 10 A NUMERO DE POLO: 1 PODER DE CORTE: 6KA TENSION NOMINAL: 220 VCA	
7	DPS	PROTECCIONES ADICIONALES	DESCARGADOR DE SOBRETENSION TENSION NOMINAL: 1000 V CORRIENTE DE DESCARGA NOMINAL: 20KA CORRIENTE DE DESCARGA MAXIMA : 40 KA	
8	DISYUNTOR DIFERENCIAL		DISYUNTOR DIFERENCIAL SENSIBILIDAD: TIPO A CORRIENTE NOMINAL: 16 A POLO: 2 TENSION NOMINAL: 230 V SENSIBILIDAD DE CORRIENTE DE FUGA: 30mA	

*Tabla 2. Componentes de protección del banco de pruebas.*

Diseño de un banco de pruebas de Paneles Solares Fotovoltaica para el Laboratorio de la Facultad de Ciencias y Tecnologías de la UNCA. Milene y Mercedes - 2024

COMPONENTES PARA EL BANCO DE PRUEBAS			
SISTEMA DE MEDICION, VARIACION DE CARGA			
ITEM	COMPONENTE	CARACTERISTICAS	IMAGEN DE REFERENCIA
1	MULTIMETRO DIGITAL CD	MULTIMETRO DIGITAL DE CD TENSION DE OPERACION: 4 A 38 V AMPERAJE NOMINAL: 300 A	
2	MULTIMETRO DIGITAL CA	MULTIMETRO DIGITAL DE CA TENSION DE OPERACION: 0 A 600 V AMPERAJE NOMINAL: 10 A FRECUENCIA: 45 a 65 Hz	
3	MEDIDOR DE IRRADIACION SOLAR	MEDIDOR DE IRRADIACION SOLAR MEDICION DE LA IRRADIACION RANGO DE MEDICION: 0 a 1400 W/m2 RESOLUCION: 1 W/m2 MEDICION DE LA TEMPERATURA RANGO DE MEDICION: -30°C a 100°C MEDICION DE LA INCLINACION RANGO DE MEDICION: -90° a 90° MEDICION DE LA BRUJULA RANGO DE MEDICION: 0° a 360°	
4	REOSTATO LINEAL	REOSTATO LINEAL DE CARGA. TENSION NOMINAL: 600V POTENCIA: 160W RESISTENCIA: 10 A 100 OHM DIMENSIONES: 446x93x150 mm.	

Tabla 3. Componentes de medición y variador de resistencia del banco de pruebas.

### **3.2. Diseño del Banco de Pruebas Solar Fotovoltaico.**

El banco de pruebas solar fotovoltaico ha sido diseñado como una herramienta versátil y eficiente para la evaluación de sistemas solares en condiciones reales. Su objetivo principal es facilitar la realización de ensayos técnicos que permitan analizar el desempeño de los módulos fotovoltaicos y los componentes asociados, como reguladores de carga, bancos de baterías, inversores y cargas simuladas.

Todos los componentes están montados en un mueble, más bajo se detallan sus dimensiones. El diseño incorpora un enfoque modular, lo que permite adaptarse a diferentes configuraciones y procedimientos. Por su parte los paneles solares se recomiendan que estén montado sobre una estructura móvil que facilita su transporte y posicionamiento en distintos entornos, además que puedan ser modificados la inclinación de los paneles asegurando la versatilidad para pruebas en campo o laboratorio. Por otra parte, cuenta con un sistema de conexión seguro y organizado que minimiza riesgos eléctricos y mejora la accesibilidad durante los ensayos.

Entre los elementos principales se encuentran terminales accesibles para conexión de equipos, un reóstato lineal para simulación de cargas, instrumentos de medición precisos, y soportes ajustables para los módulos fotovoltaicos. Este diseño garantiza un manejo práctico, mediciones confiables y resultados reproducibles, siendo una solución integral para aplicaciones académicas y técnicas. A continuación, se detalla el diseño conceptual, incluyendo sus componentes y características principales.

Diseño de un banco de pruebas de Paneles Solares Fotovoltaica para el Laboratorio de la Facultad de Ciencias y Tecnologías de la UNCA. Milene y Mercedes - 2024

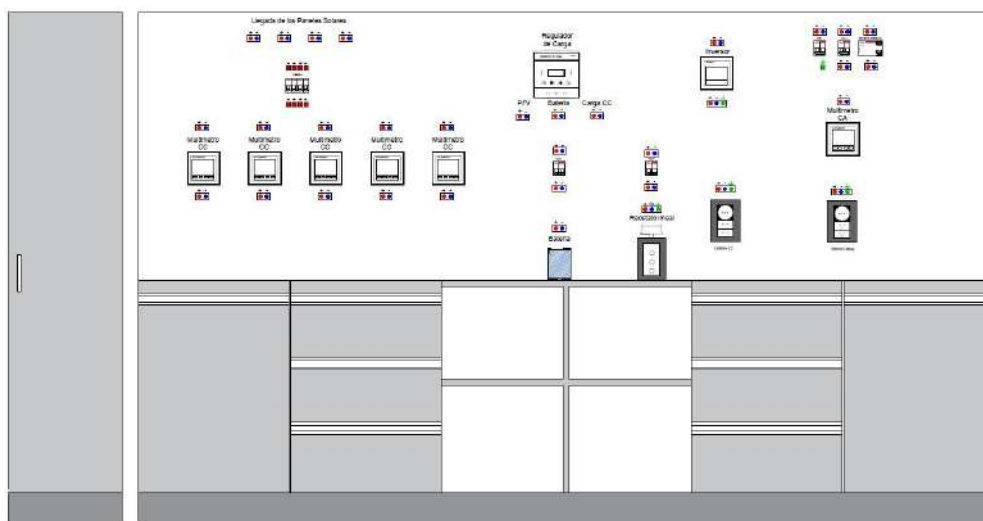


Figura 7. Vista frontal del Banco de pruebas.

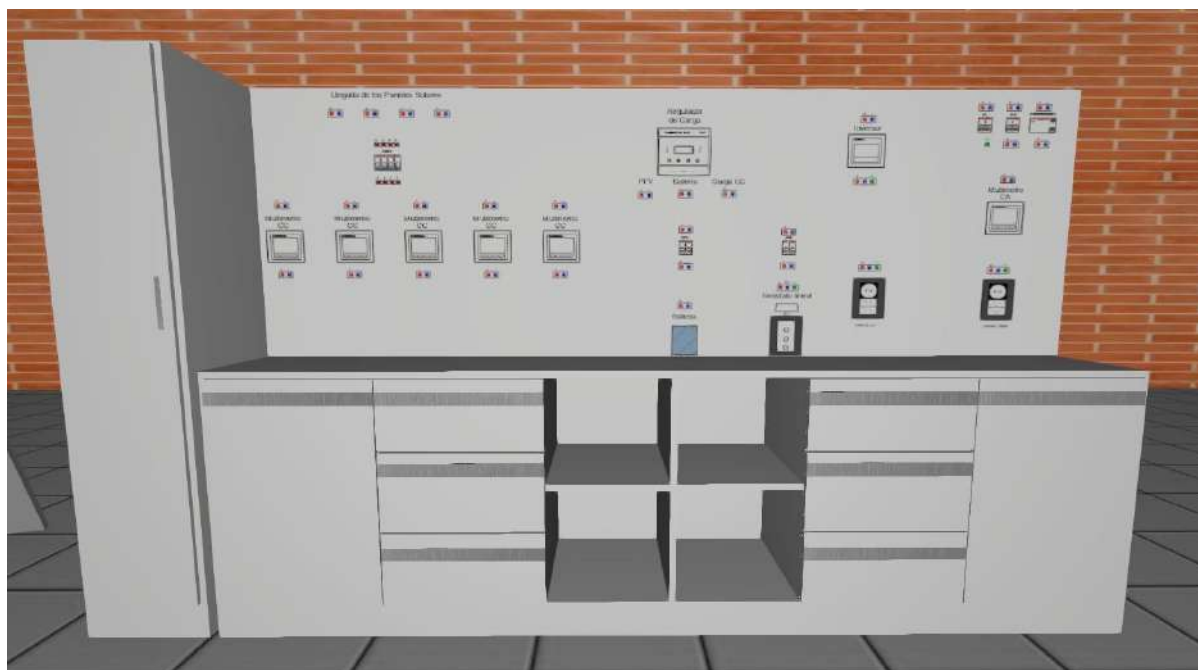


Figura 8. Vista 3D frontal del Banco de pruebas.

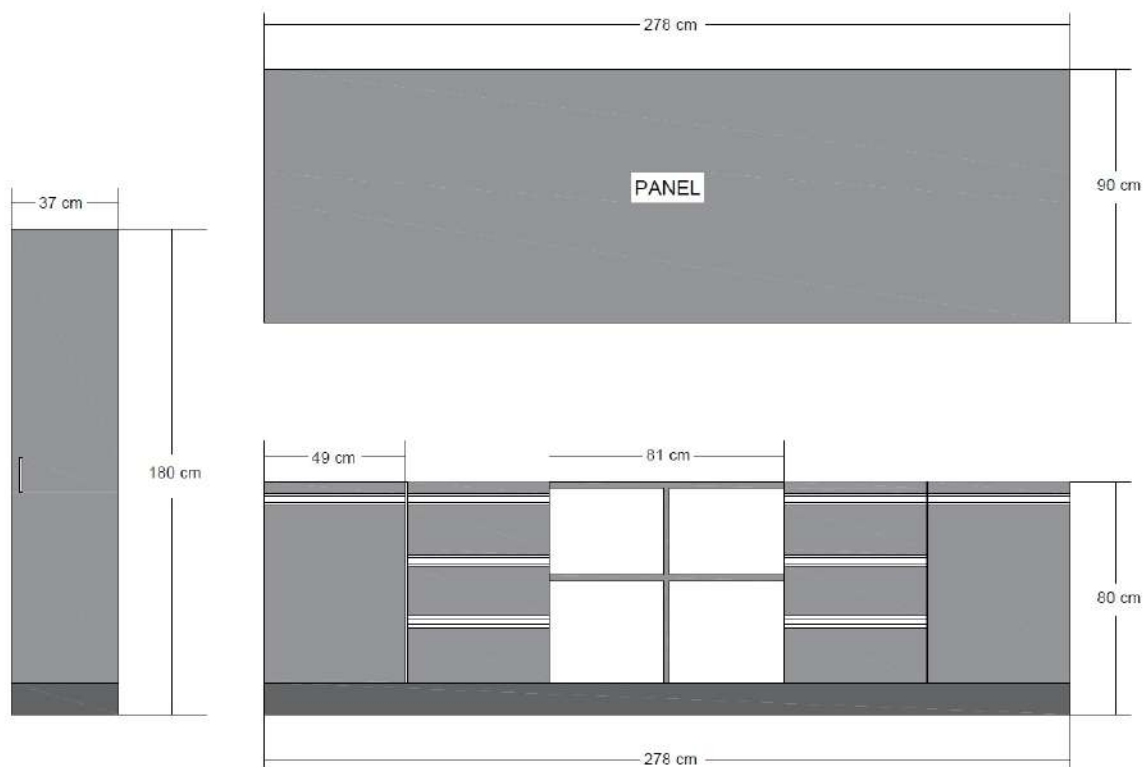


Figura 9. Dimensiones del Banco de pruebas.

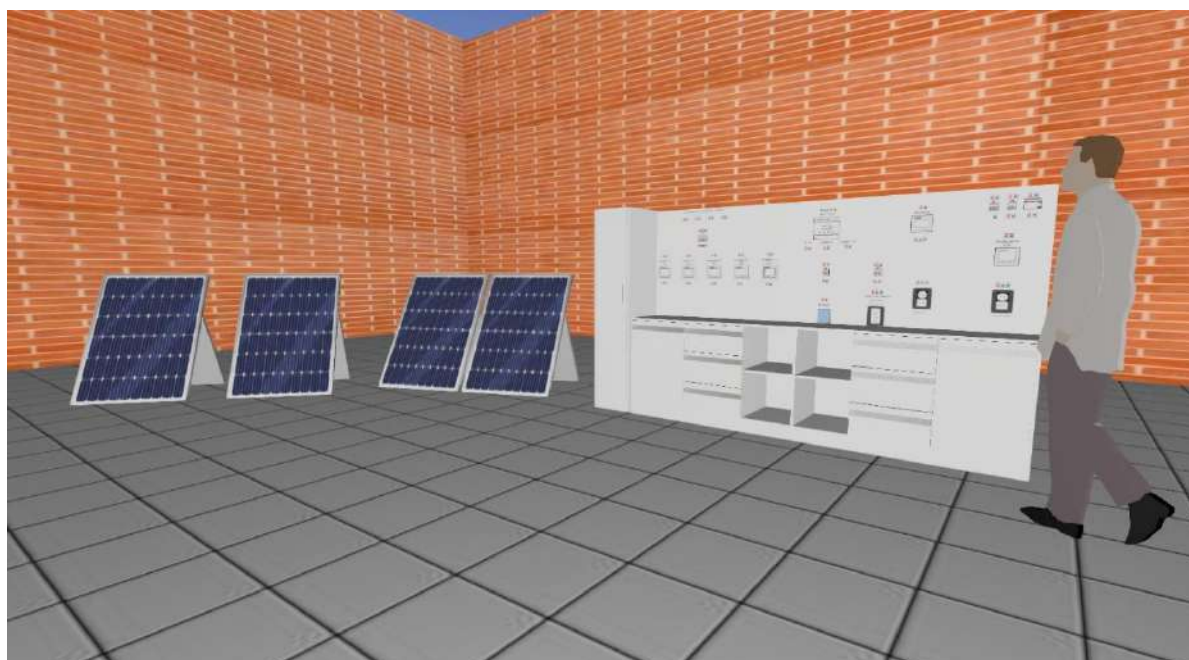
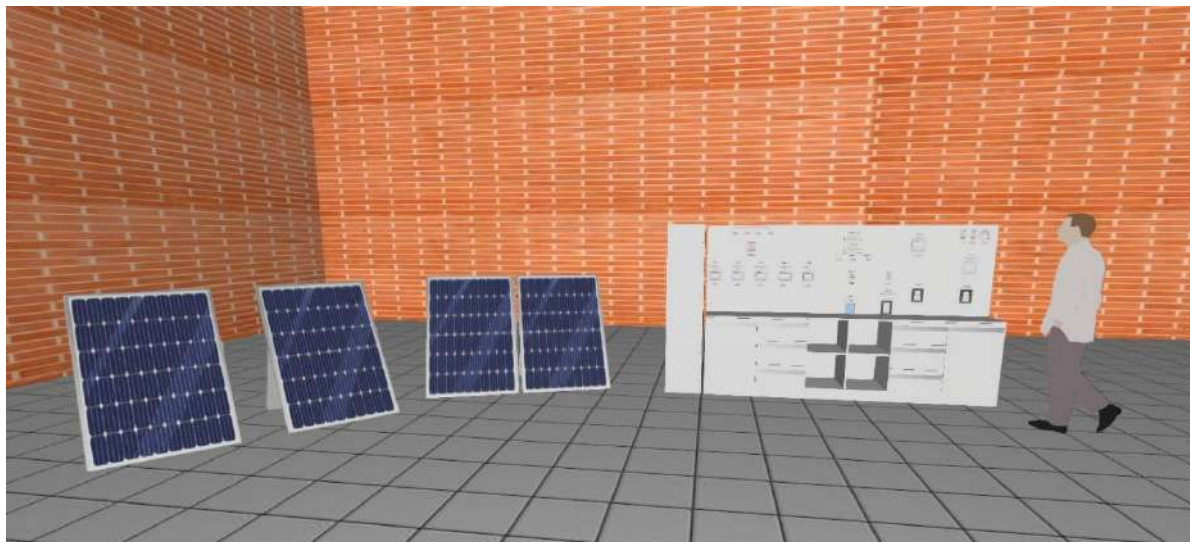
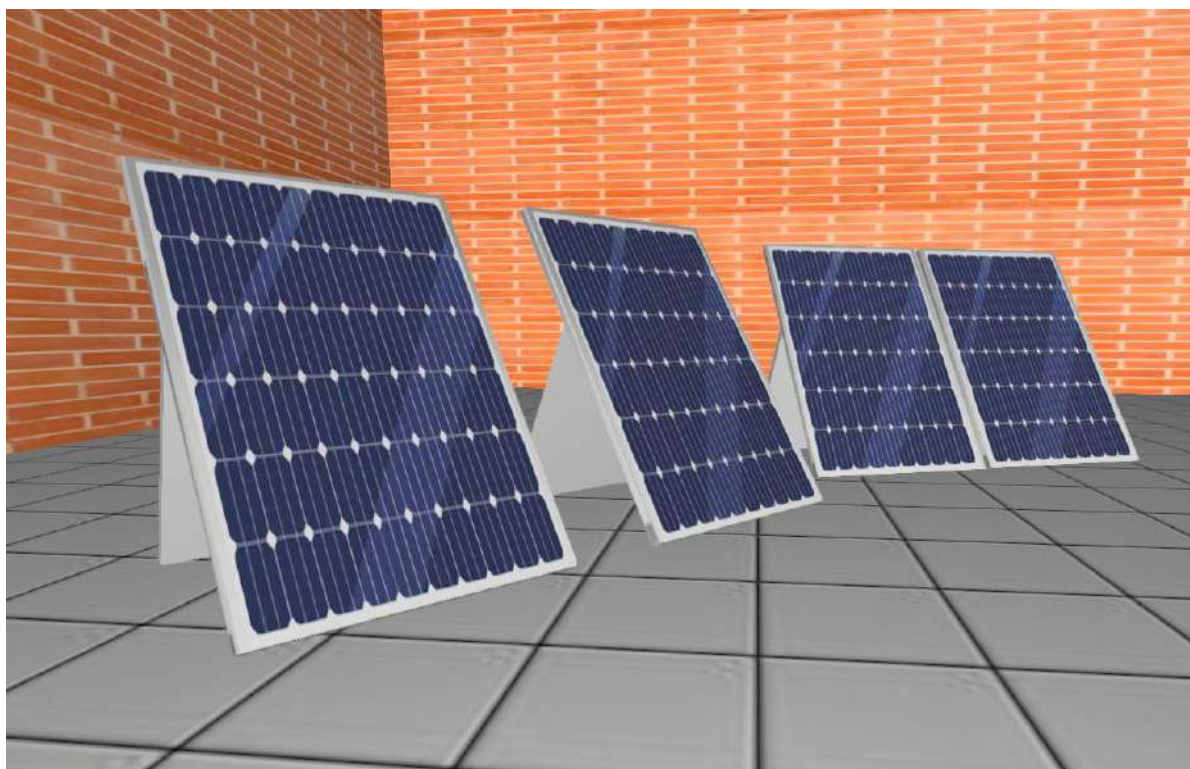


Figura 10. Vista 3D del Banco de pruebas.



*Figura 11. Vista 3D global del Banco de pruebas.*



*Figura 12. Vista 3D de los paneles solares.*

### **3.3. Procedimientos para los ensayos del banco de pruebas.**

El banco de pruebas didáctico diseñado para sistemas solares fotovoltaicos proporciona una plataforma versátil y precisa para el análisis y la caracterización de parámetros eléctricos y de rendimiento de los paneles solares bajo condiciones reales de operación. Este banco de pruebas permite realizar una variedad de ensayos que simulan condiciones operativas y ambientales típicas, con el fin de analizar, comprender y optimizar el comportamiento de los sistemas fotovoltaicos en aplicaciones autónomas o conectadas a la red.

A continuación, se describen los procedimientos que serán desarrollados, los cuales cubren aspectos fundamentales como la caracterización eléctrica, la evaluación del rendimiento, y el análisis de factores ambientales y configuraciones del sistema.

#### **3.3.1. Obtención de la Curva Característica I-V de un Sistema de Paneles Solares.**

La curva característica corriente-voltaje (I-V) describe el comportamiento eléctrico de un sistema de generación solar fotovoltaica y es clave para determinar parámetros como la corriente de cortocircuito ( $I_{sc}$ ), el voltaje en circuito abierto ( $V_{oc}$ ) y el punto de máxima potencia (MPP). Este procedimiento se centra en obtener dicha curva utilizando un banco de pruebas instalado en un mueble que estará ubicado en el laboratorio de la facultad y paneles solares móvil montados en estructuras metálicas separadas, lo que permite un manejo versátil de los componentes teniendo la posibilidad de variar el Angulo de inclinación. La prueba se realiza bajo luz solar real, utilizando instrumentos avanzados para garantizar mediciones precisas y fiables.

##### **3.3.1.1. Objetivo del Ensayo.**

Se obtendrá la curva I-V del sistema compuesto por cuatro paneles solares de 160 Wp cada uno, configurados según los requerimientos del ensayo (serie, paralelo o mixta). El procedimiento incluye la medición de corriente y voltaje en diferentes condiciones de carga, empleando un reóstato lineal y luz solar directa. Los datos obtenidos se analizarán

para evaluar el desempeño del sistema y validar su operación conforme a las especificaciones técnicas.

### 3.3.1.2. Equipos que formarán parte del ensayo.

**Paneles solares (4 x 160 Wp):** Montados en estructuras metálicas independientes, con posibilidad de ajuste en orientación e inclinación.

**Banco de pruebas:** Equipado con un reóstato lineal, medidores y terminales de conexión.

**Reóstato lineal de 160 W:** Con un rango ajustable de 10  $\Omega$  a 1000  $\Omega$ .

**Multímetro digital:** Para medición precisa de voltaje y corriente.

#### **Artefacto multifuncional:**

Sensor de irradiancia solar ( $W/m^2$ ).

Nivel digital para ajustar la inclinación de los paneles.

Brújula digital para orientación.

Termómetro para registrar temperaturas del ambiente y de los paneles.

**Soportes ajustables:** Para facilitar el posicionamiento y la estabilidad de los paneles solares.

**Sistema manual de los registros de datos:** Para la documentación y procesamiento de datos.

### 3.3.1.3. Consideraciones generales del ensayo.

**Condiciones ambientales:** Realizar las pruebas en un día despejado, garantizando una irradiancia estable (idealmente mayor a  $800 W/m^2$ ) durante las mediciones, idealmente entre las 10:00 y las 14:00 horas.

**Calibración de instrumentos:** Verificar la calibración de todos los equipos antes de iniciar las pruebas para asegurar mediciones exactas.

**Configuración inicial:** Seleccionar y configurar la conexión de los paneles según el propósito del ensayo (serie, paralelo o mixta).

**Orientación e inclinación:** Ajustar los paneles solares utilizando el nivel digital y la brújula para maximizar la incidencia directa de la radiación solar.

**Seguridad eléctrica:** Verificar las conexiones del sistema y el correcto aislamiento eléctrico antes de iniciar el ensayo.

**Documentación inicial:** Registrar las especificaciones técnicas del sistema, como la configuración de los paneles (serie, paralelo o mixta) y las condiciones iniciales de irradiancia y temperatura.

#### **3.3.1.4. Ejecución del ensayo.**

##### **3.3.1.4.1. Preparación inicial:**

Colocar los paneles solares en sus estructuras metálicas y ajustarlos en la orientación ideal donde obtendrá mayor captación de la radiación solar.

Orientar los paneles solares hacia el azimut solar ideal utilizando la brújula digital.

Ajustar la inclinación según la latitud geográfica y el ángulo solar óptimo utilizando el nivel digital.

##### **3.3.1.4.2. Monitoreo de parámetros ambientales:**

Utilizar el artefacto multifuncional para registrar la irradiancia solar en  $W/m^2$ , la temperatura ambiente y la temperatura de los paneles.

Registrar estos datos al inicio del ensayo y cada vez que se realicen cambios en el reóstato lineal.

### 3.3.1.4.3. Conexión y medición:

Conectar los terminales del reóstato al sistema fotovoltaico a través del banco de pruebas.

Iniciar con la resistencia mínima del reóstato ( $10 \Omega$ ) y ajustar progresivamente hasta alcanzar el máximo permitido ( $1000 \Omega$ ).

### 3.3.1.5. Esquema de Conexionado para la Curva Característica I-V.

El esquema de conexionado para este ensayo se detalla a continuación para garantizar la correcta medición de corriente y voltaje en diferentes condiciones de carga.



*Figura 13. Esquema de Conexionado para la Curva Característica I-V.*

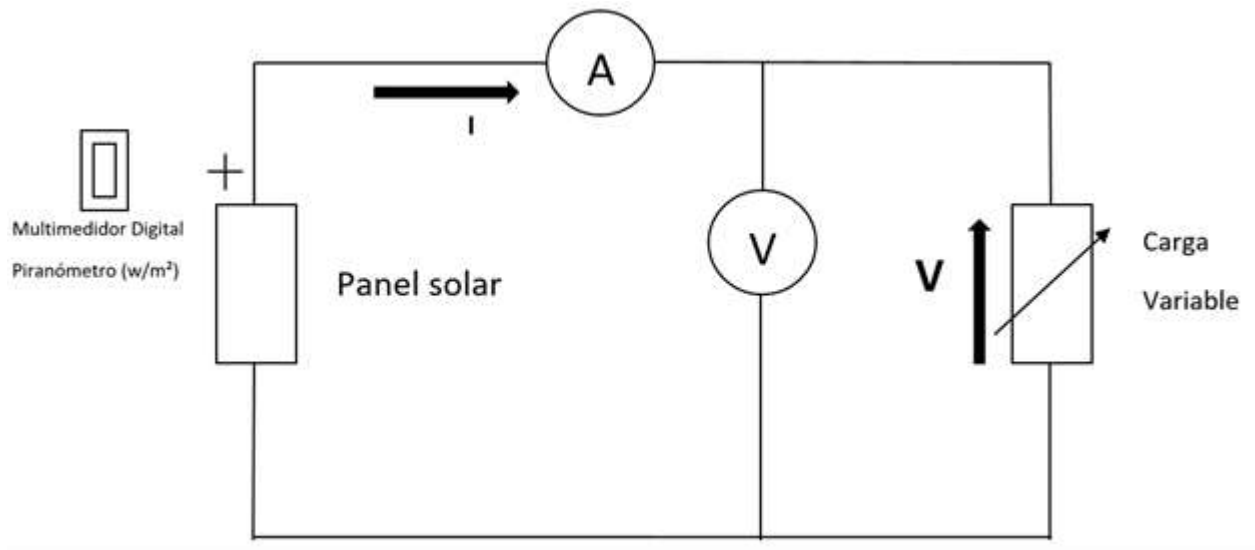


Figura 14. Diagrama de Conexión para la Curva Característica I-V.

#### 3.3.1.6. Registro de datos:

Documentar cada par de valores de corriente y voltaje, junto con las condiciones ambientales correspondientes.

Utilizar un planilla estandarizado para evitar errores en la recopilación de datos.

Desmontaje seguro:

Finalizar las mediciones y desconectar todos los equipos en el orden inverso al de su conexión.

Verificar la desconexión completa antes de movilizar el banco de pruebas.

#### 3.3.1.7. Análisis de resultados.

##### Construcción de la Curva I-V:

Graficar los valores de corriente (I) contra voltaje (V) para visualizar el comportamiento del sistema. Identificar  $V_{oc}$ ,  $I_{sc}$  y MPP a partir de la curva obtenida.

##### Comparación con especificaciones:

Evaluar la concordancia de los datos experimentales con las características técnicas de los paneles y las condiciones ambientales medidas.

### **3.3.2. Evaluación del Impacto de la Temperatura en el Rendimiento de un Sistema Fotovoltaico.**

El rendimiento de los paneles solares fotovoltaicos está influenciado directamente por su temperatura de operación. Aunque una mayor irradiancia puede aumentar la generación de corriente, el incremento de la temperatura reduce el voltaje generado, afectando negativamente la eficiencia global. Este procedimiento tiene como objetivo evaluar el impacto de la temperatura en el rendimiento de un sistema de paneles solares bajo condiciones reales, midiendo parámetros clave como corriente, voltaje y potencia a diferentes temperaturas.

#### **3.3.2.1. Objetivo del Ensayo.**

Analizar la relación entre la temperatura de operación de los módulos y su desempeño eléctrico, evaluando las variaciones en parámetros críticos como la corriente de cortocircuito ( $I_{sc}$ ), el voltaje en circuito abierto ( $V_{oc}$ ) y la potencia máxima ( $P_{mpp}$ ) y validar el comportamiento térmico del sistema bajo condiciones reales de irradiancia.

#### **3.3.2.2. Equipos e Instrumentación.**

**Módulos fotovoltaicos (4 x 160 Wp):** Montados sobre estructuras metálicas independientes, con ajuste angular.

**Banco de pruebas:** Equipado con un reóstato circular, medidores y terminales protegidos.

**Reóstato lineal de 160 W:** reóstato lineal de 160 W de potencia, requerido para simular diferentes condiciones de carga sobre el sistema solar fotovoltaico.

**Multímetro digital:** necesario para medir con precisión las corrientes (A) y voltajes (V), y medir cómo se comporta cada panel por separado como así también como un total durante las pruebas realizadas.

**Dispositivo multifuncional:** se cuenta con un dispositivo Multimedidor muy versátil para los trabajos que se deben de realizar a la hora de instalar los paneles solares que son:

Sensor de irradiancia: Para medición de radiación solar incidente ( $W/m^2$ ).

Nivel digital: Para el ajuste preciso de la inclinación de los paneles.

Brújula digital: Para la orientación precisa hacia el azimut solar óptimo.

Termómetro de superficie: Para medir la temperatura de los paneles y del ambiente.

**Registro manual:** Para registrar continuamente las mediciones de temperatura, corriente y voltaje.

### 3.3.2.3. Consideraciones Preliminares.

#### **Condiciones meteorológicas:**

Realizar el ensayo en un día despejado con irradiancia solar constante, superior a  $800 W/m^2$ .

#### **Rango térmico:**

Aprovechar las variaciones naturales de la temperatura durante el día o inducir cambios térmicos controlados con fuentes de calor o sistemas de enfriamiento.

#### **Configuración de los módulos:**

Seleccionar la conexión eléctrica de los módulos (serie, paralelo o mixta) en función del objetivo del análisis térmico.

#### **Calibración de equipos:**

Verificar la calibración del multímetro, termómetro y sensor de irradiancia antes del ensayo para garantizar datos precisos.

#### **Orientación e inclinación:**

Ajustar los módulos utilizando el nivel digital y la brújula, asegurando una captación óptima de la radiación solar.

### 3.3.2.4. Esquema de Conexionado para el Impacto de la Temperatura.

El esquema de conexionado para este ensayo se presenta a continuación para asegurar el registro adecuado de los parámetros eléctricos bajo variaciones térmicas.

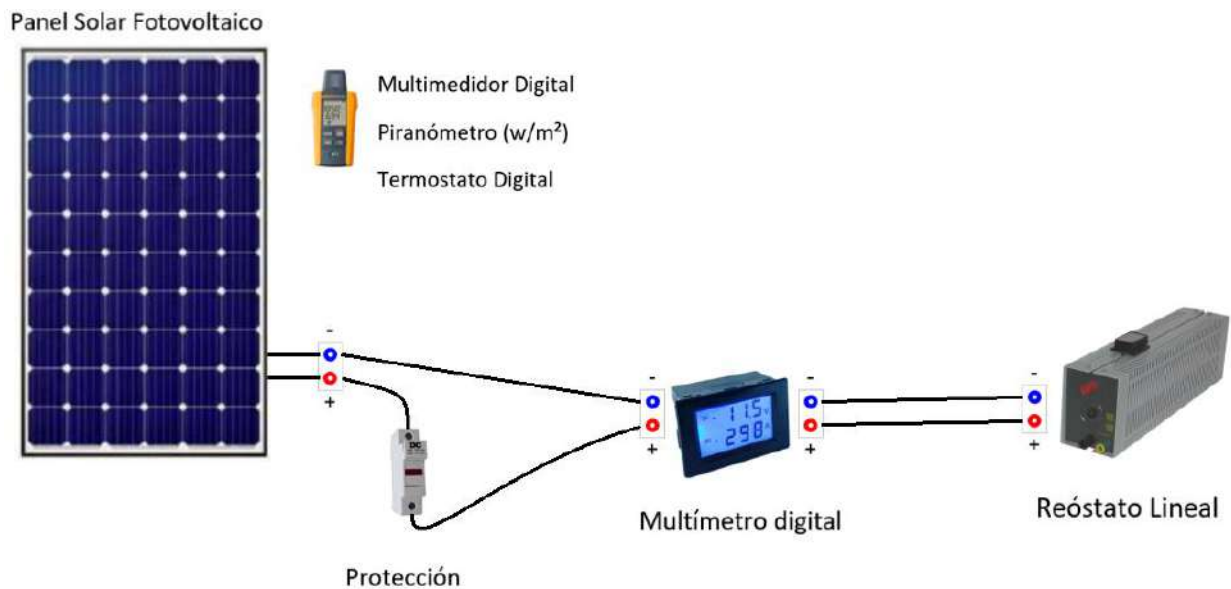


Figura 15. Esquema de Conexionado para el Impacto de la Temperatura.

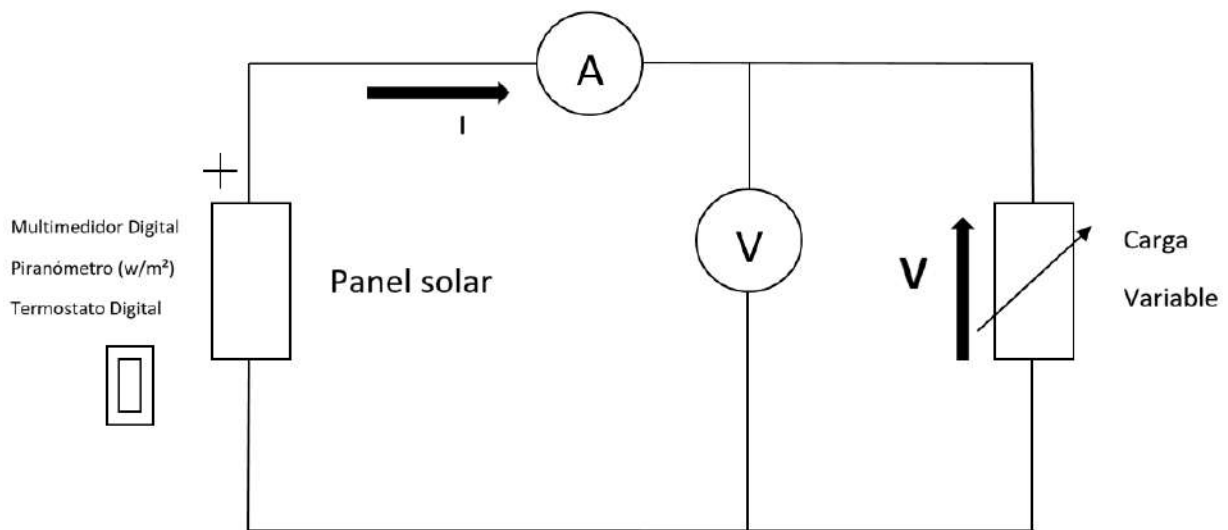


Figura 16. diagrama de conexión de para el Impacto de la Temperatura.

### **3.3.2.5. Ajuste inicial:**

Orientar los módulos hacia el azimut solar ideal utilizando la brújula digital.

Ajustar la inclinación angular según la latitud geográfica y el ángulo de incidencia óptimo utilizando el nivel digital.

### **Medición de parámetros iniciales:**

Registrar la irradiancia solar incidente ( $W/m^2$ ) y las temperaturas iniciales del ambiente y de la superficie de los módulos.

Establecer las condiciones iniciales de carga en el reóstato (resistencia mínima).

### **Variación de la temperatura:**

Permitir que los módulos alcancen diferentes temperaturas debido a la exposición solar natural o utilizando fuentes controladas de calentamiento/enfriamiento.

Registrar los valores de temperatura superficial del módulo a intervalos definidos (cada incremento de  $5\text{ }^\circ\text{C}$ , por ejemplo).

### **Toma de datos:**

Para cada temperatura, medir y registrar corriente (I), voltaje (V) y potencia máxima ( $P_{mpp}$ ).

Documentar las condiciones ambientales (irradiancia, temperatura ambiente, velocidad del viento).

### **Finalización del ensayo:**

Desconectar los equipos siguiendo las normas de seguridad.

Transferir los datos obtenidos al sistema de adquisición o registro manual.

### 3.3.2.6. Análisis de Resultados.

#### Construcción de Gráficas:

Representar gráficamente Voc, Isc y Pmpp frente a la temperatura de operación.

Identificar tendencias y determinar cómo se degrada el rendimiento con el incremento térmico.

#### Evaluación de la Eficiencia:

Analizar cómo varía la eficiencia relativa ( $\eta_{rel}$ ) del sistema con la temperatura:

$$\eta_{rel} = \frac{P_{mpp}}{P_{STC}}$$

#### Donde:

$n_{rel}$ : eficiencia relativa.

$P_{mpp}$ : Potencia máxima pico (Wp).

$P_{STC}$ : Potencia nominal a potencia estándar (W).

#### Comparación con Especificaciones:

Contrastar los resultados con los datos proporcionados por el fabricante.

### **3.3.3. Evaluación del Impacto del Sombreado en la Producción Energética de Módulos Fotovoltaicos.**

El sombreado parcial o total en los módulos fotovoltaicos afecta negativamente su desempeño, al reducir la irradiancia incidente sobre las celdas solares. Este fenómeno no solo disminuye la corriente generada, sino que también puede causar pérdidas adicionales por desbalances eléctricos en sistemas conectados en serie o paralelo. Dichos efectos son mitigados parcialmente por los diodos de bypass incorporados en los módulos, que permiten eludir las celdas sombreadas. Este ensayo se enfoca en medir cómo la variación en el porcentaje de sombra afecta parámetros clave como la corriente de cortocircuito ( $I_{sc}$ ), el voltaje en circuito abierto ( $V_{oc}$ ) y la potencia máxima ( $P_{mpp}$ ), bajo diferentes configuraciones eléctricas del sistema.

#### **3.3.3.1. Propósito del Ensayo.**

Este procedimiento busca cuantificar el impacto del sombreado en la producción de energía de un sistema compuesto por cuatro módulos fotovoltaicos de 160 Wp cada uno. Además, se evalúa cómo el área sombreada y la irradiancia reducida afectan el rendimiento eléctrico del sistema. Este análisis permitirá identificar configuraciones óptimas y estrategias de mitigación frente a condiciones de sombra.

#### **3.3.3.2. Instrumentos y Equipos Necesarios.**

##### **Módulos fotovoltaicos (4 x 160 Wp):**

Cada módulo debe estar instalado en una estructura metálica con ajuste angular. Esto permiten modificar la orientación e inclinación de los módulos según las necesidades del ensayo.

Se evaluarán configuraciones en serie, paralelo y mixta para observar cómo la conexión afecta la sensibilidad al sombreado.

##### **Reóstato lineal:**

Este reóstato, con un rango de resistencia ajustable entre 10 ohm y 1000 ohm, permitirá variar las condiciones de carga en el sistema de manera controlada. Es fundamental seleccionar una carga adecuada que permita obtener mediciones representativas de la respuesta eléctrica del sistema.

#### **Multímetro digital de alta precisión:**

Para medir corriente ( $I$ ) y voltaje ( $V$ ) en el sistema fotovoltaico. Se recomienda un dispositivo con error máximo de  $\pm 0.01\%$  para garantizar datos fiables.

#### **Artefacto multifuncional:**

Sensor de irradiancia: Medición en  $W/m^2$ , necesario para determinar la reducción de la irradiancia incidente por efecto del sombreado.

Nivel digital: Para asegurar que los módulos estén ajustados al ángulo de inclinación óptimo.

Brújula digital: Para alinear los módulos con el azimut solar óptimo.

Termómetro de superficie: Para registrar la temperatura del panel y del ambiente, ya que esta variable también afecta el rendimiento.

#### **Elementos de sombreado:**

Placas opacas o mallas de densidad controlada para simular diferentes niveles de sombra (parcial y total).

Las dimensiones y propiedades de estos elementos deben permitir cubrir áreas específicas del módulo, como celdas individuales, filas o el módulo completo.

#### **Sistema de adquisición de datos:**

Almacenamiento continuo y seguro de variables eléctricas y ambientales para su análisis posterior.

### **3.3.3.3. Pautas Generales para el Ensayo**

#### **Condiciones ambientales:**

Realizar las pruebas en días despejados, cuando la irradiancia sea constante y superior a  $800 \text{ W/m}^2$ . Estas condiciones garantizan que los cambios observados se deban al sombreado y no a fluctuaciones ambientales.

#### **Sombreado controlado:**

Utilizar patrones de sombra diseñados para cubrir diferentes porcentajes del área de los módulos (10%, 25%, 50%, 75% y 100%). Se debe controlar cuidadosamente la posición y densidad del elemento de sombreado para evitar variaciones no deseadas en la irradiancia.

#### **Configuración del sistema:**

Las pruebas deben realizarse bajo conexiones eléctricas en serie, paralelo y mixta para comparar cómo cada configuración responde al sombreado. Es importante registrar detalladamente la topología del sistema durante cada ensayo.

#### **Calibración de equipos:**

Verificar que todos los instrumentos de medición estén calibrados antes de iniciar las pruebas. Esto asegura que las mediciones sean precisas y reproducibles.

#### **Orientación e inclinación:**

Ajustar los módulos hacia el azimut solar ideal utilizando la brújula digital. Asegurar que la inclinación sea óptima para maximizar la irradiancia incidente, utilizando el nivel digital.

### 3.3.3.4. Esquema de Conexionado para el Impacto del Sombreado.

A continuación, se presenta el esquema de conexionado que permitirá evaluar el comportamiento del sistema fotovoltaico bajo condiciones de sombreado controlado.

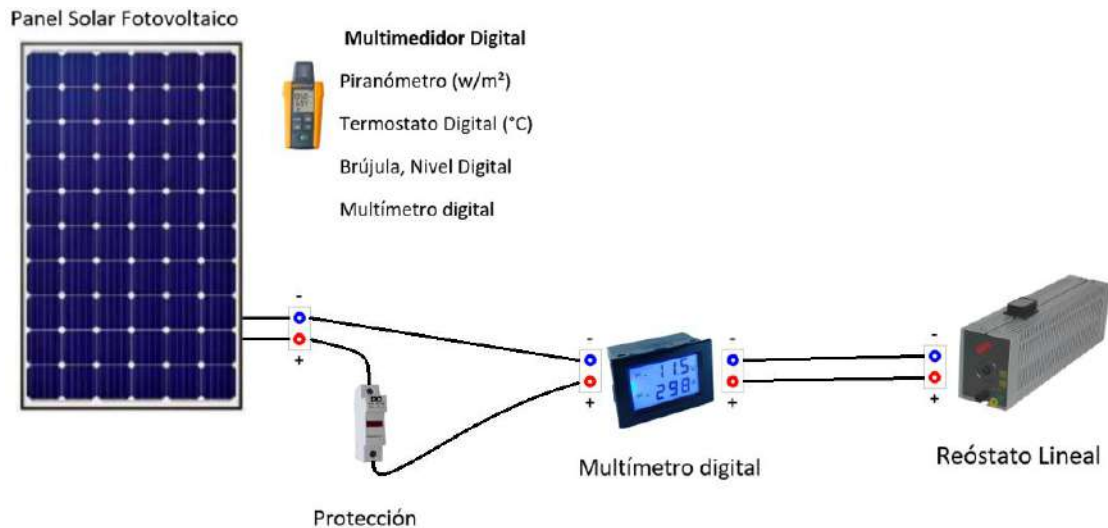


Figura 17. Esquema de Conexionado para el Impacto del Sombreado.

#### Preparación del sistema:

Montar los módulos en sus estructuras ajustables y conectarlos al banco de pruebas. Conectar el reóstato lineal y el multímetro digital a los terminales de los módulos.

#### Medición sin sombra:

Registrar la irradiancia solar incidente ( $G_0$ ) en condiciones normales.

Medir y documentar los valores de  $I_{sc}$ ,  $V_{oc}$  y  $P_{mpp}$  sin sombra.

#### Aplicación del sombreado

Colocar elementos de sombreado sobre los módulos para cubrir porcentajes incrementales del área (10%, 25%, 50%, 75% y 100%).

Simular diferentes patrones de sombra, como sombreado de celdas individuales, filas completas o el módulo completo.

**Medición con sombra:**

Registrar la irradiancia reducida ( $G_s$ ) y los parámetros eléctricos  $I_{sc}$ ,  $V_{oc}$  y  $P_{mpp}$  para cada nivel de sombreado.

Repetir el ensayo para todas las configuraciones del sistema.

**Registro de datos:**

Documentar cada medición en un formato estandarizado, incluyendo detalles sobre el porcentaje de sombra, posición del sombreado y condiciones ambientales.

**Finalización del ensayo:**

Retirar los elementos de sombreado y desconectar los equipos.

Verificar que no queden tensiones residuales antes de movilizar el banco de pruebas.

**3.3.3.5. Análisis de Resultados-**

Cálculo de la reducción en irradiancia ( $\eta_G$ ):

$$\eta_G = \frac{G_s}{G_0} \times 100$$

Este porcentaje permite cuantificar la disminución en la irradiancia disponible por efecto del sombreado.

Pérdida de potencia ( $\Delta P$ ):

$$\Delta P = \frac{P_{mpp,0} - P_{mpp,s}}{P_{mpp,0}} \times 100$$

Dónde:  $P_{mpp0}$  es la potencia sin sombra y  $P_{mpps}$  es la potencia bajo sombra.

### **Comparación entre configuraciones:**

Analizar cómo cada conexión (serie, paralelo y mixta) responde al sombreado.

Identificar configuraciones que minimicen las pérdidas por sombra.

### **Construcción de gráficos:**

Representar gráficamente  $P_{mpp}$ ,  $I_{sc}$  y  $V_{oc}$  en función del porcentaje de sombra.

### **Conclusiones operativas:**

Este procedimiento técnico ofrece un análisis detallado y sistemático del impacto del sombreado en sistemas fotovoltaicos, proporcionando herramientas esenciales para optimizar su diseño y operación en condiciones reales.

### **3.3.4. Influencia de la Inclinação del Panel Fotovoltaico en la Captación de Irradiancia Solar.**

La inclinación del panel fotovoltaico con respecto al plano horizontal es un parámetro fundamental en la ingeniería de sistemas solares, ya que determina la cantidad de radiación solar incidente directamente sobre la superficie del módulo. Un ajuste adecuado de la inclinación maximiza la irradiancia captada y, por ende, optimiza la generación de energía eléctrica.

#### **3.3.4.1. Objetivo del Ensayo**

Cuantificar el impacto de la variación del ángulo de inclinación en la captación de irradiancia solar y en el rendimiento eléctrico de un módulo fotovoltaico de 160 Wp, analizando parámetros como la de  $I_{sc}$ ,  $V_{oc}$  y  $P_{mpp}$ . Este ensayo tiene como objetivo evaluar cómo diferentes ángulos de inclinación afectan la irradiancia recibida y los parámetros eléctricos clave del panel, permitiendo identificar configuraciones óptimas, este análisis permitirá determinar el ángulo de inclinación que optimice la generación energética en un contexto de irradiancia directa y estable para diferentes condiciones geográficas y estacionales.

#### **3.3.4.2. Materiales y Equipos Requeridos.**

##### **Módulo fotovoltaico:**

Este será el objeto de estudio. Deberá estar montado en una estructura metálica que permita ajustes precisos de inclinación en un rango de  $0^\circ$  a  $90^\circ$ .

##### **Reóstato lineal:**

Este dispositivo permitirá variar la carga conectada al panel, simulando diferentes condiciones de operación. Su rango ajustable de 10 ohm a 1000 ohm es ideal para estudiar el comportamiento eléctrico en toda la curva característica I-V.

##### **3.3.4.2.1. Instrumentos de medición eléctricos:**

##### **Multímetro digital de alta resolución:**

Para medir valores precisos de corriente ( $I$ ) y voltaje ( $V$ ). Registrador de datos: Capaz de recopilar y almacenar mediciones continuas de los parámetros eléctricos y ambientales durante el ensayo.

#### **Dispositivo multifuncional:**

Medidor de irradiancia solar Medición en  $W/m^2$ : Para medir la radiación incidente en cada ángulo de inclinación.

Nivel digital: Garantizará que los ángulos de inclinación sean ajustados con precisión.

Brújula digital: Para orientar correctamente el módulo hacia el azimut solar.

Termómetro de superficie y ambiente: Para monitorear las condiciones térmicas, dado que la temperatura también puede influir en los resultados.

### **3.3.4.3. Procedimiento Operativo**

#### **Preparativos Iniciales:**

Ubicar el módulo en un entorno sin obstáculos que puedan generar sombra durante el ensayo.

Montar el panel en la estructura ajustable, asegurando su firmeza para evitar movimientos accidentales durante las pruebas.

Orientar el módulo hacia el azimut solar utilizando la brújula digital.

Condiciones Base (Inclinación Inicial de  $0^\circ$ ):

Configurar el módulo en posición horizontal.

Registrar la irradiancia incidente ( $G_0$ ), así como  $I_{sc}$ ,  $V_{oc}$  y  $P_{mpp}$ . Estas mediciones servirán como referencia para las comparaciones con otros ángulos de inclinación.

#### **Ajuste de la Inclinación:**

Incrementar la inclinación en pasos regulares (por ejemplo,  $10^\circ$ ), hasta alcanzar un ángulo de  $90^\circ$ .

Para cada ángulo, medir la irradiancia solar incidente ( $G\theta$ ) y los parámetros eléctricos del panel, asegurándose de mantener las condiciones de carga constantes mediante el reóstato lineal.

### Control de Factores Ambientales:

Registrar la temperatura del panel y del ambiente en cada inclinación para correlacionar posibles variaciones de rendimiento con las condiciones térmicas.

#### 3.3.4.4. Esquema de Conexión para la Influencia de la Inclinación.

El esquema de conexión para este ensayo se detalla a continuación para medir el efecto de la inclinación del panel sobre la captación de irradiancia y el rendimiento eléctrico.

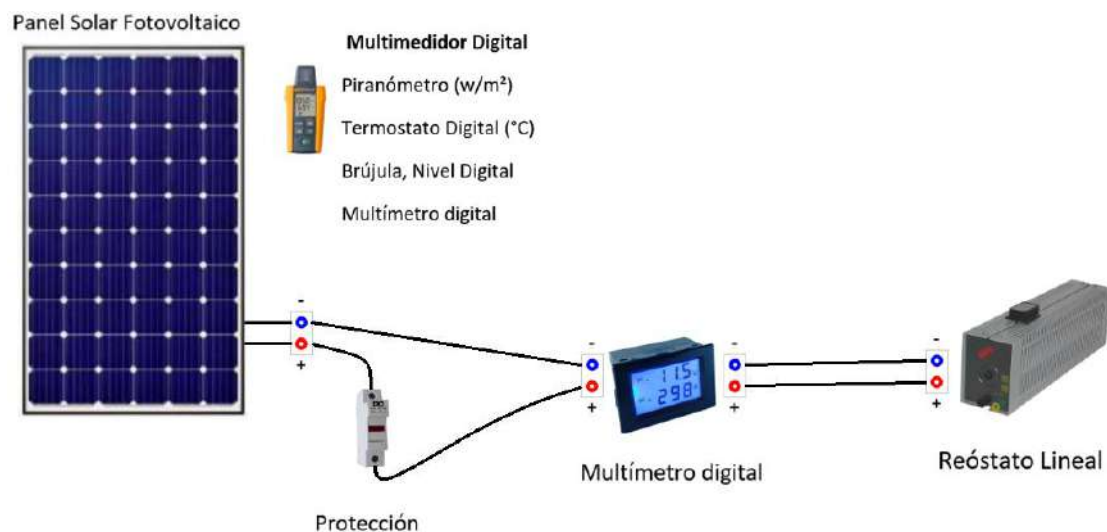


Figura 18. Esquema de Conexión para la Influencia de la Inclinación.

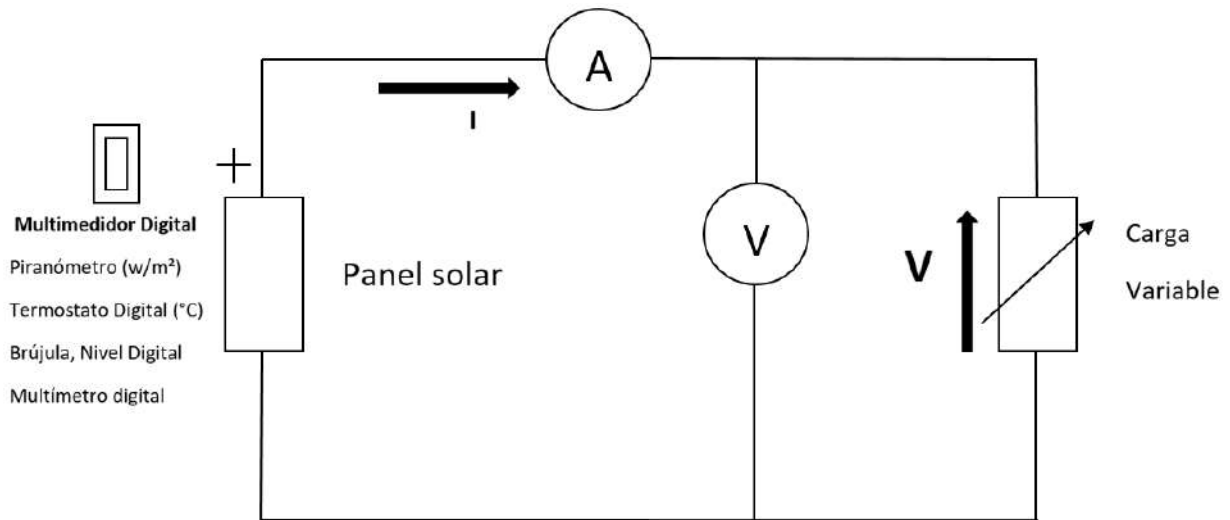


Figura 19. Diagrama de Conexión para la Influencia de la Inclinación.

### 3.3.4.5. Recolección y Almacenamiento de Datos:

Documentar todas las mediciones de manera estructurada en el manualmente en tablas de registro.

#### 3.3.4.5.1. Criterios de Análisis

##### Cálculo de la Irradiancia Relativa:

Determinar cómo varía la irradiancia captada ( $G_{\theta}$ ) en función del ángulo de inclinación, utilizando:

$$\eta_G = \frac{G_{\theta}}{G_0} \times 100$$

Donde  $\eta_G$ , es el porcentaje de irradiancia captada respecto al valor máximo.

Relación entre la Inclinación y la Potencia Máxima ( $P_{mpp}$ ):

Analizar cómo evoluciona  $P_{mpp}$  con el ángulo, identificando el ángulo óptimo que maximiza la generación energética.

### **Variación de los Parámetros Eléctricos:**

Comparar las variaciones en  $I_{sc}$  y el  $V_{oc}$  a medida que se ajusta la inclinación, determinando cómo el comportamiento del panel cambia con la captación de irradiancia.

### **Construcción de Gráficos Técnicos:**

Graficar  $G\theta$ ,  $I_{sc}$ ,  $V_{oc}$  y  $P_{mpp}$  en función del ángulo de inclinación.

Representar las tendencias y correlacionar las observaciones con las especificaciones técnicas del módulo.

### **Ángulo Óptimo de Inclinación:**

Identificar el ángulo que maximiza  $P_{mpp}$  bajo las condiciones locales específicas. Este ángulo puede variar en función de la posición geográfica y la época del año.

### **Impacto de las Condiciones Ambientales:**

Evaluar cómo las fluctuaciones de temperatura durante el ensayo pudieron influir en los resultados, proponiendo ajustes necesarios para minimizar este efecto.

### **3.3.5. Evaluación de un Sistema Solar Fotovoltaico Autónomo.**

El sistema solar fotovoltaico autónomo está diseñado para operar de manera independiente de la red eléctrica, utilizando paneles solares para generar energía que se almacena en baterías y se distribuye a través de un inversor. Este ensayo tiene como objetivo analizar el comportamiento del sistema autónomo bajo condiciones reales de irradiancia, identificando su capacidad para satisfacer demandas específicas de carga.

#### **3.3.5.1. Objetivo del Ensayo**

Evaluar el rendimiento de un sistema solar fotovoltaico autónomo compuesto por paneles solares, un regulador de carga, un banco de baterías y un inversor. El ensayo incluye la medición de la generación, almacenamiento y consumo de energía, así como el análisis de la estabilidad del sistema en diferentes condiciones de carga.

#### **3.3.5.2. Equipos que Formarán Parte del Ensayo.**

##### **Paneles solares (4 x 160 Wp):**

Dispuestos en configuraciones serie o paralelo para simular distintos niveles de voltaje y corriente en el sistema.

##### **Regulador de carga solar:**

Dispositivo que asegura un flujo controlado de energía hacia el banco de baterías y el inversor de CC/CA, protegiéndolo de sobrecargas o descargas profundas.

##### **Banco de baterías:**

Unidad de almacenamiento con capacidad adecuada para respaldar la carga conectada durante períodos sin generación solar.

##### **Inversor:**

Convierte la corriente continua (DC) almacenada en las baterías en corriente alterna (AC) para alimentar las cargas conectadas.

**Cargas simuladas:**

Reóstato lineal o dispositivos eléctricos diseñados para representar el consumo típico del sistema.

**Instrumentos de medición:**

Multímetros digitales para corriente y voltaje de corriente alterna y corriente continua.

Artefacto multifuncional para medir irradiancia solar, inclinación y temperatura.

**3.3.5.3. Consideraciones Generales del Ensayo**

**Condiciones ambientales:**

Realizar el ensayo en un día con irradiancia estable (idealmente mayor a  $800 \text{ W/m}^2$ ) para garantizar condiciones uniformes durante la prueba.

**Carga conectada:**

Simular diferentes niveles de consumo, desde cargas bajas hasta cargas cercanas a la capacidad máxima del sistema.

**Configuración inicial:**

Asegurar que el banco de baterías esté en un estado de carga adecuado antes de iniciar las mediciones.

**Seguridad eléctrica:**

Verificar el aislamiento y correcto conexionado de los componentes del sistema para prevenir riesgos.

### 3.3.5.4. Ejecución del Ensayo

#### 3.3.5.4.1. Preparación Inicial:

Configurar los paneles solares en la orientación e inclinación óptima utilizando la brújula y el nivel digital.

Conectar los paneles al regulador de carga y este al banco de baterías siguiendo el esquema del fabricante.

Integrar el inversor entre el banco de baterías y las cargas simuladas.

#### 3.3.5.5. Esquema de Conexionado de Sistema autónomo.

El esquema de conexionado para este ensayo se presenta a continuación:

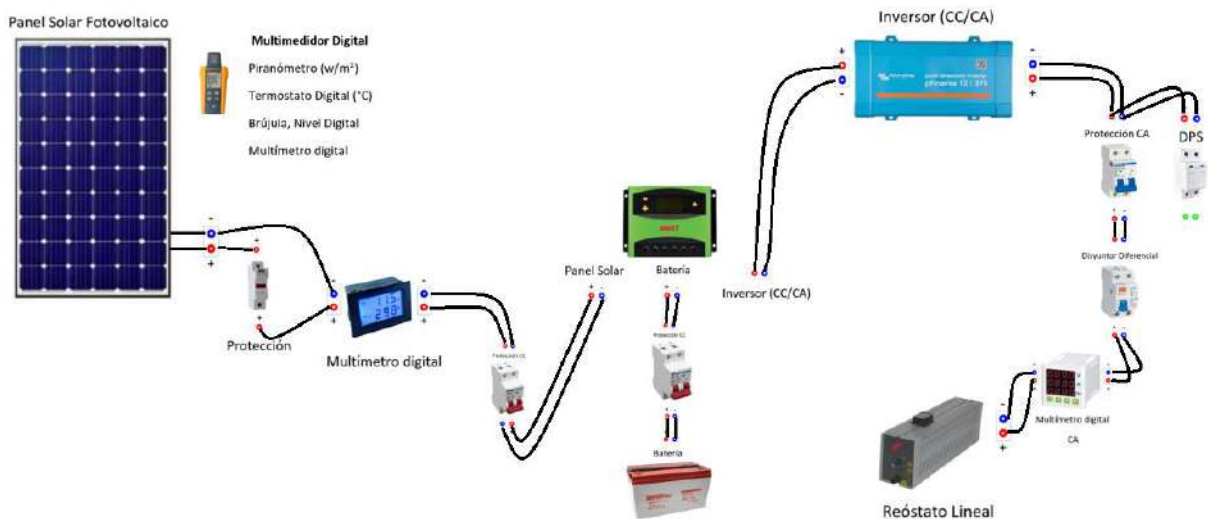


Figura 20. Esquema de Conexionado de Sistema autónomo.

#### **3.3.5.5.1. Medición de Generación:**

Registrar los valores de corriente y voltaje generados por los paneles solares, así como la irradiancia incidente.

Verificar que el regulador de carga opere dentro de los rangos establecidos.

#### **3.3.5.5.2. Prueba de Almacenamiento:**

Evaluar el tiempo requerido para cargar completamente el banco de baterías desde un nivel inicial conocido.

Registrar las variaciones de voltaje y corriente en las baterías durante la carga.

#### **3.3.5.5.3. Prueba de Consumo:**

Conectar las cargas simuladas al inversor y registrar el tiempo de respaldo proporcionado por las baterías.

Variar las cargas para analizar cómo el sistema responde a diferentes demandas energéticas.

#### **3.3.5.5.4. Registro Continuo:**

Documentar todos los datos incluyendo valores eléctricos, irradiancia y temperatura del sistema.

#### **3.3.5.5.5. Finalización:**

Desconectar los componentes del sistema en el orden inverso al de la conexión.

Verificar que no queden tensiones residuales antes de desmontar los equipos.

### **3.3.5.6. Análisis de Resultados**

#### **Evaluación de la Generación Solar:**

Graficar los valores de corriente y voltaje generados por los paneles en función de la irradiancia medida.

#### **Capacidad de Almacenamiento.**

Comparar la energía almacenada en las baterías con la energía generada por los paneles.

#### **Desempeño del Inversor:**

Analizar la eficiencia del inversor al convertir corriente continua en alterna bajo diferentes cargas.

#### **Autonomía del Sistema:**

Determinar el tiempo de respaldo proporcionado por el banco de baterías bajo diferentes niveles de consumo.

#### **Validación del Diseño:**

Comparar los resultados obtenidos con las especificaciones técnicas del sistema y los requerimientos de carga simulados.

Este procedimiento ofrece una metodología completa para evaluar el desempeño de un sistema solar fotovoltaico autónomo, asegurando que su diseño sea adecuado para cumplir con las necesidades energéticas esperadas.

## 4. ANALISIS ECONOMICO.

### 3.4. Presupuesto del banco de pruebas de paneles solares fotovoltaico.

El desarrollo de un banco de pruebas solar fotovoltaico implica una inversión planificada para asegurar la adquisición de componentes confiables y alineados con los objetivos del proyecto. Para este propósito, se elaborarán tres presupuestos que detallan opciones de adquisición, incluyendo diferentes proveedores. Cada presupuesto presentará un desglose organizado de los componentes principales, sistemas de protección y elementos de medición, junto con sus precios correspondientes, lo que permitirá evaluar alternativas y seleccionar la mejor opción en términos de calidad y costo.

El primer presupuesto presentado corresponde a distribuidores chinos disponibles en la plataforma web Alibaba. Este presupuesto incluye componentes seleccionados directamente de proveedores internacionales, destacándose por su competitividad en precios y la amplia variedad de opciones disponibles.

1 Presupuesto de los Componentes para el Banco Solar fotovoltaico.				
Item	Nombre del Componente	Precio	Cantidad	Subtotal
1	Panel Solar Policristalino 160 wp	376.000	4	1.504.000
2	Batería de Ciclo Profundo AGM 12V 100 Ah	736.000	1	736.000
3	Regulador de Carga PWM 12V 50A	280.000	1	280.000
4	Inversor de Corriente 12V 1200VA	576.000	1	576.000
5	Fusible Cilíndrico de Corriente Directa 1x15A 10X38 1000VDC	16.000	4	64.000
6	Portafusible para Fusible Cilíndrico 10X38 1000VDC	12.000	4	48.000
7	Interruptor CD 2X45A 2P 6KA 1000 VDC	80.000	1	80.000
8	Interruptor CD 2X63A 2P 6KA 1000 VDC	61.200	2	122.400
9	Interruptor Termomagnético 1X10A 220VAC 6KA	16.000	1	16.000
10	Descargador de sobre tension 40kA 385V 2P	20.000	1	20.000
11	Disyuntor Diferencial 1x25A 230V 300mA	17.440	1	17.440
12	Multímetro Digital CD	84.000	5	420.000
13	Multímetro Digital CA	76.000	1	76.000
14	Medidor de Irradiación Solar	880.000	1	880.000
15	Reóstato Lineal	1.850.000	1	1.850.000
16	Cable para paneles solares	8.000	20	160.000
<b>Total</b>				<b>6.849.840</b>

Tabla 4. . Primer Presupuesto de los componentes para el banco Solar Fotovoltaico.

Diseño de un banco de pruebas de Paneles Solares Fotovoltaica para el Laboratorio de la  
Facultad de Ciencias y Tecnologías de la UNCA. Milene y Mercedes - 2024

El segundo presupuesto presentado se compone principalmente de proveedores locales en Paraguay, como Electropar y Electrosystem, priorizando la adquisición de componentes en el mercado nacional. Para los elementos que no estuvieron disponibles en estos distribuidores, se realizaron consultas adicionales en la plataforma Amazon, asegurando así que todos los componentes necesarios fueran incluidos. Este enfoque equilibra el acceso a productos locales y la posibilidad de complementar con opciones internacionales cuando sea necesario.

2 Presupuesto de los Componentes para el Banco Solar fotovoltaico.				
Item	Nombre del Componente	Precio	Cantidad	Subtotal
1	Panel Solar Monocristalino 160 wp	960.500	4	3.842.000
2	Batería de Ciclo Profundo AGM 12V 100 Ah	1.240.000	1	1.240.000
3	Controlador de Carga MPPT 12V 60A	1.400.000	1	1.400.000
4	Inversor de Corriente 12V 1000VA	1.195.000	1	1.195.000
5	Fusible Cilíndrico de Corriente Directa 1x15A 10X38 1000VDC	104.000	4	416.000
6	Portafusible para Fusible Cilíndrico 10X38 1000VDC	72.000	4	288.000
7	Interruptor CD 2X45A 2P 6KA 1000 VDC	910.000	1	910.000
8	Interruptor CD 2X63A 2P 6KA 1000 VDC	455.000	2	910.000
9	Interruptor Termomagnético 1X10A 220VAC 6KA	12.850	1	12.850
10	Descargador de sobre tension 40kA 385V 2P	360.000	2	720.000
11	Disyuntor Diferencial 1x25A 230V 300mA	434.500	1	434.500
12	Multímetro Digital CD	160.000	5	800.000
13	Multímetro Digital CA	440.000	1	440.000
14	Medidor de Irradiación Solar	3.000.000	1	3.000.000
15	Reóstato Lineal	1.100.000	1	1.100.000
16	Cable para paneles solares	7.980	20	159.600
<b>Total</b>				<b>16.867.950</b>

*Tabla 5. Segundo presupuesto de los componentes para el banco Solar Fotovoltaico.*

El tercer presupuesto corresponde a proveedores españoles, seleccionados por su reputación y la calidad de los componentes ofrecidos. Este presupuesto incluye opciones de distribuidores reconocidos en España, lo que garantiza la confiabilidad de los productos y el cumplimiento de altos estándares técnicos.

Diseño de un banco de pruebas de Paneles Solares Fotovoltaica para el Laboratorio de la Facultad de Ciencias y Tecnologías de la UNCA. Milene y Mercedes - 2024

3 Presupuesto de los Componentes para el Banco Solar fotovoltaico.				
Item	Nombre del Componente	Precio	Cantidad	Subtotal
1	Panel Solar Monocristalino 160 wp	764.720	4	3.058.880
2	Batería de Ciclo Profundo AGM 12V 100 Ah	1.224.000	1	1.224.000
3	Controlador de Carga MPPT 12V 60A	432.000	1	432.000
4	Inversor de Corriente 12V 1000VA	2.856.000	1	2.856.000
5	Fusible Cilíndrico de Corriente Directa 1x15A 10X38 1000VDC	88.000	4	352.000
6	Portafusible para Fusible Cilíndrico 10X38 1000VDC	121.040	4	484.160
7	Interruptor CD 2X45A 2P 6KA 1000 VDC	856.000	1	856.000
8	Interruptor CD 2X63A 2P 6KA 1000 VDC	592.000	2	1.184.000
9	Interruptor Termomagnético 1X10A 220VAC 6KA	96.000	1	96.000
10	Descargador de sobre tension 40kA 385V 2P	640.000	2	1.280.000
11	Disyuntor Diferencial 1x25A 230V 300mA	656.000	1	656.000
12	Multímetro Digital CD	160.000	5	800.000
13	Multímetro Digital analizador de redes	5.600.000	1	5.600.000
14	Medidor de Irradiación Solar	3.000.000	1	3.000.000
15	Reóstato Lineal	1.100.000	1	1.100.000
16	Cable para paneles solares	23.200	20	464.000
<b>Total</b>				<b>23.443.040</b>

Tabla 6. Tercer presupuesto de los componentes para el banco Solar Fotovoltaico.

Además, se detallan los precios de todos los elementos adicionales necesarios para la implementación del banco de pruebas

Presupuesto total para el Banco de Solar fotovoltaico.				
Item	Nombre del Componente	Precio	Cantidad	Subtotal
1	Estructura para el banco de pruebas	5.650.000	1	5.650.000
2	Estructura metalica para paneles solares	250.000	4	1.000.000
3	Conectores, terminales y accesorios tipo banana	4.350.000	1	4.350.000
4	Instalación y montaje de componentes	2.500.000	1	2.500.000
<b>Total</b>				<b>13.500.000</b>

Tabla 7. Presupuesto total para la implementación del banco de pruebas.

## **5. RESULTADOS Y ANÁLISIS.**

El desarrollo de un banco de pruebas solar fotovoltaico fijo ha sido el eje central de este trabajo de fin de grado, concebido como una herramienta didáctica para la realización de pruebas técnicas que permitan analizar el comportamiento de sistemas solares bajo diferentes condiciones, este banco de pruebas representará un avance significativo para la enseñanza práctica de sistemas de energía renovable en la Facultad de Ciencias y Tecnologías de la Universidad Nacional de Caaguazú (UNCA). Este banco está diseñado para realizar ensayos como la obtención de curvas I-V, análisis de temperatura, influencia del sombreado y el efecto de la inclinación en la captación de irradiancia.

El sistema se complementa con paneles solares móviles y regulables en inclinación, lo que permite configurar múltiples escenarios experimentales. Este enfoque asegura una gran versatilidad para su uso en actividades académicas y prácticas técnicas, cumpliendo con los estándares requeridos para una formación integral en energías renovables.

Los aspectos destacados del diseño se pueden nombrar los siguientes puntos:

### **Banco de Pruebas Fijo:**

La estructura fija del banco proporciona estabilidad y seguridad para la conexión de equipos y componentes eléctricos. Incluye terminales accesibles, un reóstato lineal ajustable de 160 W, todas las protecciones necesarias tanto para los componentes como para los usuarios y conexiones organizadas para facilitar la operación.

### **Paneles Solares Móviles:**

Los paneles solares pueden ser desplazados y ajustados en su inclinación, permitiendo variar su orientación para optimizar la captación de radiación solar. Este diseño flexible amplía las posibilidades de configuración para pruebas prácticas.

### **Instrumentación de Medición:**

Se seleccionaron instrumentos de alta precisión, como multímetros digitales, sensores de irradiancia, garantizando que las mediciones sean fiables y consistentes.

### **Pruebas Simulables:**

El banco está diseñado para realizar una variedad de ensayos que analicen factores clave del desempeño solar, como la influencia de la temperatura, el sombreado y la inclinación, adaptándose a diferentes objetivos educativos y técnicos.

### **Impacto Educativo y Técnico:**

El banco de pruebas está concebido como una plataforma de aprendizaje práctica que brinda a los estudiantes la oportunidad de:

Experimentar con sistemas solares fotovoltaicos en un entorno controlado y seguro.

Analizar cómo las variables ambientales y las condiciones de operación afectan el rendimiento de los paneles solares.

Familiarizarse con la instrumentación y las técnicas de medición empleadas en el diseño y evaluación de sistemas de energía renovable.

Además, su diseño modular y su capacidad de adaptación a múltiples configuraciones experimentales aseguran que se mantenga relevante a medida que evolucionen las necesidades educativas y técnicas.

## **6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.**

### **Conclusiones**

El desarrollo del banco de pruebas solar fotovoltaico ha cumplido con los objetivos planteados, proporcionando una herramienta funcional y didáctica para evaluar el desempeño de sistemas solares. Su diseño fijo, combinado con paneles solares móviles y regulables en inclinación, permite realizar ensayos prácticos que simulan condiciones reales de operación. El banco no solo facilita la formación práctica de los estudiantes, sino que también establece una base sólida para futuras investigaciones en energías renovables, ofreciendo un recurso adaptable a nuevas necesidades experimentales.

### **Recomendaciones:**

#### **Mejoras en la Instrumentación:**

Incorporar sistemas de adquisición de datos automatizados para registrar parámetros eléctricos y ambientales de manera continua, optimizando el tiempo y la precisión de los ensayos.

#### **Ampliación de Pruebas:**

Explorar nuevas aplicaciones del banco, como pruebas de durabilidad y eficiencia en diferentes tipos de paneles solares, ampliando las capacidades experimentales.

Simular la acumulación de suciedad o polvo en los paneles solares y analizar cómo afectan la generación de energía. Realizar ensayos de que método de limpieza sería el más eficiente, el periodo de realización de la limpieza a los paneles.

#### **Capacitación y Formación:**

Organizar talleres y sesiones prácticas para estudiantes y técnicos, maximizando el uso del banco y asegurando un manejo seguro y eficiente.

## 7. BIBLIOGRAFÍA.

- [1] ABC Color, "ANDE, consumo de la energía eléctrica del país aumento el 12,4% el 2023," 11 Enero 2024. [Online]. Available: <https://www.abc.com.py/economia/2024/01/11/ande-consumo-de-energia-electrica-del-pais-aumento-124-en-el-2023/>. [Accessed 19 Marzo 2024].
  
- [2] ANDE, "Prospectiva de la demanda de Potencia y Energía Eléctrica 2050," 2006.
  
- [3] Poder Legislativo, *Ley N°6977. Regula el Fomento, generación, producción, desarrollo y la utilización de energía eléctrica a partir de fuentes de Energía Renovables no Convencionales no Hidráulicas*, Asunción, 2023.
  
- [4] F. P. Rodriguez Montaña, Diseño de Practicas, seleccion de equipos y estudio edilicio para la implemetación de un laboratorio de energia solar fotovoltaica para la Maestria en Ingenieria con énfasis en energías alternativas de la Universidad libre sede Bogotá, Bogotá , 2017.
  
- [5] I. D. Mendoza Jimenez and E. A. Torres Suarez, Construcción de un Banco de pruebas Solares Fotovoltaico para el laboratorio de Ingenieria Mecanica de la Universidad de Santo Tomas Tunja, Tunja, 2019.
  
- [6] PTY-PY, ITAIPU, "Atlas de potencial energético solar y eólico del Paraguay," Asunción, 2014.
  
- [7] K. V. Itaz Alcuacer, Estudio de factibilidad de un sistema de Generación fotovoltaico para brindar servicio al edificio sede de la Organización Ltinoamericana de Energia., Quito., 2017.
  
- [8] L. A. Buitrón Esparza and D. J. Encalada Mármol, Construcción de un Tablero didactico para la obtención de Energía alternativa fotovoltaica apropiada para realizar practicas en el laboratorio de Electricidad de la Universidad Técnica del Norte, Ibarra, 2012.

- [9] M. A. Frutos Doldán, Evaluación del Recurso Solar en Paraguay a partir de la fusión de reanálisis meteorológicos y medidas en tierra., Granada, 2015.
- [10] F. Mitjans, Pulfer and Jean-Claude, "EFECTO DEL USO DE ALUMBRADO PÚBLICO A ENERGÍA SOLAR Y DE LUMINARIAS TIPO LED A NIVEL RESIDENCIAL SOBRE EL SISTEMA INTERCONECTADO NACIONAL PARAGUAYO Y SU RENDIMIENTO," in *XVI ERIAC* , Puerto Yguasú, 2015.
- [11] J. Ruiz, D. Gonzalez, M. Benitez and D. Barrera, "Implementación del Laboratorio de Energía Solar Fotovoltaica en la Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito," *Revista de la Escuela Colombiana de Ingeniería* , no. 113, pp. 21-29, 2019.
- [12] I. J. C. Fariña, Interviewee, *Dueño de Solar Maker*. [Interview]. 27 Agosto 2024.
- [13] S. E. ORTIZ FUSTILLOS and P. C. D. ISRAEL, EVALUACIÓN TÉCNICA Y ECONÓMICA DE LA IMPLEMENTACIÓN DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS PARA LA ELECTRIFICACIÓN DE RADIO BASES REMOTAS DE CNT, Quito, 2018.
- [14] Fluke Corporation, Medidor de radiación solar Fluke IRR1-SOL, The Netherlands, 2022.
- [15] ANDE, "ANDE," 4 Agosto 2022. [Online]. Available: <https://www.ande.gov.py/interna.php?id=10223>. [Accessed 14 Marzo 2024].
- [16] ANDE, "Plan Maestro de Generación 2021-2040," 2021.
- [17] D. R. R. Silvero, "IB. Potencia Instalada/Generación estimada," 2023.
- [18] Ultima Hora, "Ultima Hora," 27 Noviembre 2022. [Online]. Available: <https://www.ultimahora.com/energia-renovable-primera-planta-solar-del-pais-funciona-limpio-n3035777>. [Accessed 15 Marzo 2024].

## 8. Anexo

### 8.1. Dimensionamiento de los componentes del banco de pruebas.

#### 8.1.1. Los Paneles Solares.

El panel solar es el componente principal de cualquier sistema fotovoltaico, este convierte la radiación solar en energía eléctrica mediante el efecto fotovoltaico. Para el presente proyecto se ha seleccionado cuatro paneles solares fotovoltaicos de tecnología monocristalina con una potencia nominal de 160 Wp. Este panel presenta un equilibrio ideal entre capacidad y practicidad en un entorno de laboratorio didáctico. Es suficientemente potente para generar resultados significativos en pruebas de rendimiento sin requerir grandes instalaciones o infraestructura adicional. Los paneles monocristalinos son conocidos por su mayor eficiencia en comparación con los policristalinos, lo que permite aprovechar mejor el espacio disponible en la bancada y obtener mejores resultados en condiciones de baja irradiancia. Además, el panel monocristalino seleccionado se caracteriza por su alta eficiencia del 21.40%, lo que lo convierte en una opción ideal para estudios detallados de rendimiento energético.

A continuación, se presenta la ficha técnica del panel solar seleccionado:

<b>FICHA TECNICA DEL PANEL SOLAR</b>	
<b>Pico de potencia (WP)</b>	160 W
<b>Voltaje a Potencia Máxima (VMPP)</b>	19,25 V
<b>Corriente a Potencia Máxima (IMPP)</b>	8,31 A
<b>Voltaje a circuito abierto (Voc)</b>	22,21 V
<b>Corriente de cortocircuito (Isc)</b>	8,81 A
<b>Eficiencia del módulo</b>	21,40%
<b>Máximo voltaje del sistema</b>	500 V
<b>Dimensiones (mm)</b>	1230x670x30
<b>Peso (Kg)</b>	8,7
<b>Clasificación máxima del fusible</b>	>=IP67
<b>Cable (mm<sup>2</sup>)</b>	4

<b>Temperatura Operacional</b>	-40°C ~ +80°C
<b>Certificaciones y Aprobaciones</b>	CE, TUV, ISO 9001/14001 IEC 61215, IEC 61730

*Tabla 8. Ficha técnica del panel solar.*

Con un voltaje en el punto de máxima potencia (VMPP) de 19.25 V y una corriente en el punto de máxima potencia (IMPP) de 8.31 A, el panel ofrece un desempeño eficiente en la generación de energía. Su voltaje de circuito abierto (Voc) es de 22.21 V y la corriente de cortocircuito (Isc) alcanza los 8.81 A, lo que permite a los estudiantes observar cómo se comporta el sistema en diferentes condiciones de carga y sombreado. Estas características son esenciales para demostrar los principios de operación de los sistemas fotovoltaicos en un entorno educativo. El panel cuenta con una clasificación de protección mayor a IP67, lo que garantiza su funcionamiento instalados en la intemperie, así como la capacidad de operar en un rango de temperatura de -40°C a +80°C, lo que permite su uso en pruebas en diversas condiciones climáticas de nuestro país. Sus dimensiones compactas de 1230 mm x 670 mm x 30 mm y un peso de 8.7 kg lo hacen adecuado para una instalación móvil y fácil de manipular en prácticas de laboratorio.

### **8.1.2. Las baterías.**

En los sistemas fotovoltaicos, se utilizan baterías especiales diseñadas para soportar ciclos profundos de carga y descarga, a diferencia de las baterías convencionales usadas en vehículos, que están destinadas principalmente al arranque de motores. Estas baterías de ciclo profundo están optimizadas para una descarga prolongada y constante, lo que las hace ideales para almacenar la energía generada por los paneles solares y liberarla durante los periodos en que no hay generación, como por la noche o en días nublados. Esto asegura un suministro continuo y confiable de energía.

Para el banco de pruebas de nuestro sistema fotovoltaico, la opción más adecuada sería el uso de baterías de ciclo profundo del tipo AGM (Absorbed Glass Mat), en lugar de las clásicas baterías de plomo-ácido con electrolito en fase líquida o gel. Las baterías AGM son una variante de las baterías de plomo-ácido, pero están diseñadas para ofrecer varias ventajas en aplicaciones solares.

Primero, las baterías AGM son de ciclo profundo, lo que les permite soportar descargas frecuentes de hasta un 80-90% de su capacidad sin comprometer significativamente su vida útil, haciéndolas perfectas para los ciclos diarios de carga y descarga de un sistema solar fotovoltaico. En segundo lugar, las baterías AGM son de bajo mantenimiento, ya que el electrolito está absorbido en una fibra de vidrio en lugar de estar en forma líquida, lo que evita derrames y la necesidad de revisiones constantes del nivel del electrolito. Esto facilita su uso en entornos educativos, donde se busca un sistema seguro y de fácil manejo. Además, estas baterías no producen gases corrosivos durante su operación normal, lo que las hace seguras para su uso en espacios cerrados o cercanos a equipos electrónicos sensibles, como los que se encuentran en laboratorios o áreas educativas. También son más resistentes a vibraciones y golpes, lo que es crucial cuando se requiere movilidad y flexibilidad en la instalación. A diferencia de las baterías de gel, las AGM tienen una menor resistencia interna, lo que les permite una mayor eficiencia en la entrega de corriente, lo que es beneficioso para aplicaciones donde se requiere un suministro constante y estable de energía.

A continuación, se presentan la ficha técnica de la batería seleccionada:

#### ESPECIFICACIONES TÉCNICAS

MODELO DE BATERÍA	Voltaje nominal		12 V	
	Capacidad nominal (100 Horas)		100 Ah	
	Celdas por batería		6	
DIMENSIONES	Longitud	Ancho	Altura	Altura total
	330 mm	172 mm	218 mm	225 mm
PESO APROXIMADO	26,1 kg ± 3%			
CAPACIDAD @ 25°C	10 horas	5 horas	3 horas	1 hora
	90 Ah	72 Ah	68 Ah	54 Ah
CORRIENTE DE DESCARGA MÁXIMA	900 A (5 seg.)			
CORRIENTE DE CARGA MÁXIMA	27 A			
RESISTENCIA INTERNA	Cargado por completo a 25°C: Aproximadamente 3,9 mΩ			
CAPACIDAD VS TEMPERATURA	40°C	25°C	0°C	-15°C
	102%	100%	85%	65%
AUTODESCARGA @ 25°C	Después de 3 meses en almacenamiento		Tras 6 meses	Tras 12 meses
	91%		82%	64%
MÉTODO DE CARGA @ 25°C	Rango de Tensión de Carga uso en Ciclos (Bulk)		Rango de Tensión de Carga uso en Flotación (Float)	
	14,3 - 14,6 V		13,6 - 13,8 V	

Tabla 9. Especificaciones técnicas de la batería AGM.

Para instalaciones fotovoltaicas menores a 1500 W pico, es común utilizar sistemas de 12 V, debido a la simplicidad y eficiencia en este tipo de configuraciones [12]. Estos sistemas son ideales para proyectos de pequeña escala, como viviendas rurales o aplicaciones donde la demanda energética es baja o moderada. En este contexto, una

batería de 12 V con una capacidad nominal de 100 Ah es una opción adecuada, se puede suministrar energía durante períodos prolongados, dependiendo del consumo. Por ejemplo, esta batería podría entregar 1 A durante 100 horas o manejar descargas de mayor intensidad por un menor período de tiempo. Esto asegura la autonomía necesaria para aplicaciones donde la generación de energía es intermitente, como durante la noche o en días nublados.

**TABLA DE DESCARGA DE BATERÍA**

EV / TIME		CORRIENTE CONSTANTE (A) Y POTENCIA CONSTANTE (W) TABLA DE DESCARGA A 25°C							
		10 min	15 min	30 min	1 hr	3 hrs	5 hrs	10hrs	20 hrs
9.60	A	190.00	153.00	103.00	54.00	23.10	14.90	9.50	5.10
	W	2028.00	1641.00	1103.00	583.00	257.40	168.80	109.10	59.30
10.20	A	171.00	144.00	98.00	51.00	22.50	14.60	9.30	5.00
	W	1913.00	1613.00	1101.00	574.00	260.60	170.00	108.90	58.10
10.50	A	153.00	126.00	92.00	49.00	22.00	14.40	9.10	5.00
	W	1744.00	1439.00	1056.00	569.00	255.90	168.80	107.60	58.50
10.80	A	144.00	117.00	85.00	48.00	21.40	14.00	9.00	4.90
	W	1666.00	1350.00	980.00	553.00	252.50	166.00	107.00	57.90
11.10	A	135.00	108.00	76.00	46.00	20.70	13.70	8.60	4.60
	W	1567.00	1259.00	885.00	540.00	245.90	163.30	103.20	55.60

*Tabla 10. Tabla de descarga de la batería.*

La tabla de descarga muestra cómo varía la corriente y la potencia que la batería puede suministrar en función del tiempo de descarga y la tensión

Este patrón continúa para las distintas tensiones, lo que permite determinar el comportamiento de la batería a diferentes niveles de descarga. Como se observa, a mayor tensión, la corriente disminuye ligeramente, pero la capacidad de la batería para suministrar potencia se mantiene dentro de rangos adecuados para un uso eficiente.



*Figura 21. Batería para SFV de carga profunda.*

### 8.1.3. Regulador de Carga.

En los sistemas fotovoltaicos, contar con un regulador de carga es esencial para gestionar adecuadamente la energía que fluye desde los paneles hacia las baterías, asegurando tanto su protección como la eficiencia del sistema. Los reguladores PWM (Modulación por Ancho de Pulso) representan una solución sencilla y económica, ideal para sistemas pequeños o didácticos. Estos dispositivos actúan como interruptores que conectan directamente los módulos fotovoltaicos a la batería, ajustando la tensión de los paneles para igualarla con la de la batería. En el caso específico de sistemas de 12V, como el que se plantea para la bancada de pruebas didáctica, los paneles cargarán la batería a la misma tensión nominal de 12V.

La elección de un regulador PWM debe basarse en su capacidad para soportar la corriente máxima de cortocircuito generada por los paneles solares empleados. Para dimensionar correctamente el regulador, se utiliza la siguiente fórmula:

$$I_e = F_s \times I_{SC} \times N_p = (\text{Amperios})$$

**Donde:**

$I_e$ : corriente de entrada

$F_s$ : Factor de seguridad.

$I_{sc}$ : Corriente de cortocircuito.

$N_p$ : Numero de paneles conectados en paralelo.

Es importante recordar que cuando se conectan paneles solares en paralelo, la corriente eléctrica aumenta proporcionalmente, por lo que este cálculo es fundamental para garantizar un funcionamiento seguro y eficaz del sistema:

PANEL SOLAR	
Corriente a Potencia Máxima (IMPP)	8,31 A
Corriente de cortocircuito (Isc)	8,81 A
Facto de seguridad	1,25
Numero de paneles en paralelo	4

Tabla 11. Datos para el cálculo del regulador de Carga.

Con estos datos definidos se pueden realizar el cálculo correspondiente:

$$I_e = FS \times ISC \times NP = 1,25 \times 8,81 \times 4 = 44,05 \text{ (A)}.$$

En este contexto, la selección de un controlador PWM de 50A resulta adecuada. Esta decisión está respaldada por la experiencia de empresas especializadas, como SolarMaker [12], que afirman que para instalaciones fotovoltaicas aisladas de pequeña escala, un regulador PWM ofrece un rendimiento estable y eficiente sin necesidad de alternativas más costosas como los reguladores MPPT.

A continuación, se presenta la ficha técnica del regulador PWM seleccionado:

Regulador de Carga	
Modelo	PC1500B-50-60, 50A 12/24V
Entrada Voltaje	FV ≤50V
Intensidad nominal	50A
Salida Voltaje sistema	12V/24V Auto
Desconexión por alto voltaje	(HVD) 16.00V x1 / x2
Intensidad descarga nominal	50A
Autoconsumo	≤14mA
Caída de tensión circuito carga	≤0.22V
Caída de tensión circuito descarga	≤0.12V
Modo de carga PWM	Multi-etapas (carga, absorción, flotación)
Voltaje Carga Flotación	13.8V (12.8V~14.2V) x1 / x2

<b>Voltaje Carga Absorción 2 horas</b>	14.4V (13.6V~15.2V) x1 / x2
<b>Protección Bajo Voltaje (LVD) 10.8V (10.5V~12V) x1 / x2</b>	(LVD) 10.8V (10.5V~12V) x1 / x2
<b>Reconexión Bajo Voltaje</b>	(LVR) 12.6V (11.5V~13V) x1 / x2
<b>Sección cableado</b>	25mm <sup>2</sup>
<b>Temperatura trabajo</b>	-20 ~ +50°C
<b>Tamaño (L x W x H)</b>	188x125x48.5mm
<b>Peso neto</b>	562g

*Tabla 12. Ficha técnica del regulador de carga.*

Una de las principales ventajas de los reguladores PWM es su simplicidad: no requieren instalaciones complejas adicionales, son ligeros, asequibles y tienen una vida útil bastante prolongada.



*Figura 22. Regulador de carga.*

#### **8.1.4. Inversor.**

En un sistema solar fotovoltaico (SSF), el inversor es un componente clave encargado de transformar la corriente continua (CC) generada por los paneles solares en corriente alterna (CA), que es el tipo de energía utilizado por la mayoría de los electrodomésticos y dispositivos en aplicaciones residenciales e industriales. En un sistema off-grid como el banco de pruebas que estamos diseñando, el inversor es fundamental para asegurar que la energía almacenada en las baterías sea utilizable por cualquier carga de corriente alterna conectada al sistema.

Los inversores modernos, como los de onda senoidal pura, garantizan una salida de energía estable y sin distorsiones, lo que es ideal para proteger los dispositivos

electrónicos sensibles. También tienen una alta eficiencia, minimizando las pérdidas durante la conversión de energía.

Para el banco de pruebas didáctico, se ha optado por uno de los modelos más grandes de inversores de la marca Phenix, con una capacidad de 1000W. Esta elección se basa en la necesidad de probar cargas de distintas potencias, asegurando que cualquier carga con una potencia menor o igual a 1000W en corriente alterna pueda ser utilizada sin problemas. Este inversor también permitirá al banco de pruebas realizar experimentos con diferentes tipos de dispositivos eléctricos, garantizando un rendimiento óptimo y seguro.

Seguidamente, se presenta la ficha técnica el Inversor.

<b>Inversor.</b>	
<b>Inversor Phoenix</b>	12/1200, 24/1200, 48/1200
<b>Potencia cont. A 25 °C</b>	1200 VA
<b>Potencia cont. a 25 °C / 40 °C</b>	1000 / 850 W
<b>Pico de potencia</b>	2400 W
<b>Tensión / frecuencia CA de salida (ajustable)</b>	230 VAC o 120 VAC +/- 3% 50Hz o 60Hz +/- 0,1%
<b>Rango de tensión de entrada</b>	9,2 - 17 / 18,4 - 34,0 / 36,8 - 62,0 VDC
<b>Desconexión por batería baja (ajustable)</b>	9,3 / 18,6 / 37,2 VDC
<b>Reinicio y alarma por batería baja (ajustable)</b>	10,9 / 21,8 / 43,6 VDC
<b>Detector de batería cargada (ajustable)</b>	14,0 / 28,0 / 56,0 VDC
<b>Eficacia máx.</b>	92 / 94 / 94 %
<b>Consumo en vacío</b>	8 / 9,5 / 10 W
<b>Consumo en vacío predeterminado en modo ECO (Intervalo de búsqueda predeterminado: 2,5 s, ajustable)</b>	1 / 1,7 / 2,7 W
<b>Ajuste de potencia de parada y arranque en modo ECO</b>	Ajustable
<b>Protección (2)</b>	a - f
<b>Rango de temperatura de trabajo</b>	-40 a +60°C (refrigerado por ventilador) (reducción de potencia del 1,25% por cada °C por encima de 40°C)
<b>Humedad (sin condensación)</b>	máx. 95%
<b>Material y color</b>	Chasis de acero y carcasa de plástico (azul RAL 5012)

<b>Conexión de la batería</b>	Bornes atornillados
<b>Sección de cable máxima</b>	35/25/25 mm <sup>2</sup> / AWG2/4/4
<b>Tomas de corriente CA estándar 230V</b>	Schuko (CEE 7/4), IEC-320 (enchufe macho incluido) UK (BS 1363), AU/NZ (AS/NZS 3112) 120V: Nema5-15R
<b>Tipo de protección</b>	IP 21
<b>Peso</b>	7,7 kg/17 lbs
<b>Dimensiones (al x an x p en mm.)</b>	117x232x327
<b>Conexión/desconexión remota</b>	Sí
<b>Conmutador de transferencia automático</b>	Filax o Multi
<b>Seguridad</b>	EN/IEC 60335-1 / EN/IEC 62109-1
<b>EMC</b>	EN 55014-1 / EN 55014-2 IEC 61000-6-1 / IEC 61000-6-3
<b>Directiva de automoción</b>	ECE R10-4 EN 50498

*Tabla 13. Ficha técnica del Inversor.*



*Figura 23. Inversor de CC/CA.*

### **Parámetros para el dimensionamiento de las Protecciones y los Conductores.**

Para garantizar el funcionamiento óptimo y seguro del banco de pruebas didáctico de paneles solares, es esencial proteger tanto los componentes del sistema como a las personas que interactúan con ellos. Dado que el equipo estará expuesto a diversas condiciones operativas durante su uso, se han definido una serie de protecciones que buscan minimizar riesgos, asegurar la integridad del sistema y prevenir posibles accidentes o fallas eléctricas. Estas medidas son fundamentales para el desarrollo seguro de las pruebas dentro de un entorno educativo y experimental.

El cálculo de las protecciones se realiza con base en las siguientes fórmulas:

### **Formula de tensión del sistema (V)**

$$TS = Vca \times (Nps) \times Fc$$

Donde:

TS: Tensión del sistema.

Vca: Voltaje de circuito abierto del panel solar.

Fc: Factor de corrección (1,20)

### **Formula de Corriente del sistema (A).**

$$Is = Isc \times Fs$$

Donde:

Is: Corriente del sistema

Isc: Corriente de cortocircuito del Panel solar

Fs: Factor de seguridad (25% más)

$$Is = Isc \times Fs$$

#### **8.1.5. Dimensionamiento de los Conductores de los paneles solares.**

En los sistemas fotovoltaicos, es fundamental que los conductores de cobre sean dimensionados de manera precisa, tomando en cuenta factores como la corriente máxima, la longitud del cableado y las condiciones del entorno. Para evitar problemas de corrosión derivados de la exposición a la intemperie, se utiliza cobre estañado, el cual proporciona una protección adicional contra la oxidación. Este tipo de conductor cuenta con un aislamiento especializado que lo hace resistente a la radiación UV, la humedad y los cambios bruscos de temperatura, asegurando su fiabilidad y rendimiento óptimo en aplicaciones exteriores, incluso en condiciones ambientales adversas.

El cálculo de sección del cable se lo realiza mediante la siguiente ecuación [13]:

$$S = 2 \times \frac{l \times I}{K \times \Delta V}$$

Dónde:

L: Longitud del cable.

I: Corriente que atravesara el conductor.

K: Conductividad del Cobre.

$\Delta V$ : Caída de Voltaje entre los extremos del cable.

De manera a poder realizar los cálculos de los tramos de los conductores se deben definir algunos valores para aplicar esta fórmula:

El valor de la constante del cobre es de 58 m/ $\Omega$ mm<sup>2</sup>.

El valor de la caída de tensión se define en la siguiente tabla [13]:

RECOMENDACIONES PARA CAIDA DE TENSION POR TRAMOS		
TRAMO	VOLTAJE [V]	% $\Delta V$
Arreglo FV-Regulador	12 V	1.5
Regulador Baterías	12 V	0,5
Regulador- Inversor	12 V	0,5
Inversor a la carga	220 V	1

*Tabla 14. Recomendaciones para la caída de tensión por tramos.*

A continuación, se presenta la ficha técnica del conductor seleccionado a ser utilizado en el banco de pruebas:

<b>CONDUCTOR ELECTRICO DE CORRIENTE CONTINUA</b>	
<b>Conductor</b>	Hilos de cobre estañado, temple blando. Trenzado clase 5 - IEC 60228.
<b>Aislamiento</b>	Compuesto no halogenado termoestable 90°C.
<b>Cubierta</b>	Compuesto no halogenado termoestable 90°C, antillama.
<b>Colores</b>	Rojo y negro.
<b>Norma</b>	EN 50618 y NBR 16612.
<b>Temperatura ambiente máxima permitida en uso continuo</b>	-15 a 90°C. Los ensayos de envejecimiento garantizan una durabilidad mayor a 25 años en condiciones normales de uso.
<b>Máxima temperatura de operación permisible del conductor</b>	+120°C durante un máximo de 20.000 horas con ambiente a 90°C.
<b>Temperatura en cortocircuito</b>	200°C en el conductor durante un máximo de 5 segundos.
<b>Resistente a la humedad y el calor</b>	conforme a EN 60068, 1.000 horas a 90°C y 85% de humedad.
<b>Tensión de aislamiento</b>	0,9/1,8 kV.
<b>Resistencia eléctrica</b>	conforme a IEC 60228.
<b>Tensión de ensayo</b>	6,5 kV (5 minutos).
<b>Mecánicas</b>	Contracción máxima de 2% en aislamiento y cubierta.
	Resistente a la presión en alta temperatura.
	Resistente a la penetración dinámica.
<b>Químicas</b>	Resistente a ácidos y álcalis.
	Resistente a la intemperie y a rayos UV.

*Tabla 15. Conductor eléctrico especial para sistemas solares fotovoltaicos.*



*Figura 24. Cable especial para sistemas solares.*

#### **8.1.6. Dimensionamiento de protección y los conductores desde los Paneles Solares al tablero didáctico.**

Para garantizar el funcionamiento óptimo y seguro del banco de pruebas didáctico de paneles solares, es esencial proteger tanto los componentes del sistema como a las personas que interactúan con ellos. Dado que el equipo estará expuesto a diversas condiciones operativas durante su uso, se han definido una serie de protecciones que buscan minimizar riesgos, asegurar la integridad del sistema y prevenir posibles accidentes o fallas eléctricas. Estas medidas son fundamentales para el desarrollo seguro de las pruebas dentro de un entorno educativo y experimental.

##### **Dimensionamiento de los fusibles.**

En instalaciones fotovoltaicas, los fusibles desempeñan un papel crucial para la protección de los componentes del sistema, especialmente en la salida de los paneles solares. Su función principal es proteger los conductores y equipos frente a sobrecorrientes, evitando daños en caso de cortocircuitos o sobrecargas. En sistemas fotovoltaicos, los fusibles suelen instalarse en la fase (positivo en sistemas DC), ya que es la corriente en este conductor la que se controla. No es común instalar fusibles en el neutro o en el negativo, puesto que la interrupción de la corriente en el conductor de fase es suficiente para proteger el sistema

Para el dimensionamiento adecuado de los fusibles en la salida de los paneles, se debe calcular tanto la corriente como la tensión máxima que puede circular por el circuito. En este caso, dado que los paneles solares del banco de pruebas son idénticos, se calculará el valor del fusible para un panel y se aplicará el mismo cálculo para los demás.

El cálculo de los fusibles se realiza con base en las siguientes fórmulas:

### **Tensión del sistema.**

$$TS = V_{ca} \times (N_{ps}) \times F_c$$

$$TS = 22,21 \times 4 \times 1,20 = 106,608 \text{ V.}$$

### **Corriente del Sistema.**

$$I_s = I_{sc} \times F_s$$

$$I_s = 8,81 \times 1,25 = 11,0125 \text{ A.}$$

Luego de realizar los cálculos correspondientes, se obtuvieron los siguientes resultados para cada panel solar: una tensión de 106,61 V y una corriente de 11.01 A. Con base en estos valores y aplicando los factores de seguridad necesarios, se ha seleccionado un fusible adecuado con las siguientes especificaciones: 1000 VDC y 15 A. Este fusible garantiza una protección óptima para el sistema, permitiendo que los paneles operen de manera segura. A continuación, se presenta la ficha técnica del fusible seleccionado.

<b>FUSIBLE DE CORRIENTE DIRECTA</b>	
<b>Tamaño (mm)</b>	10x38
<b>Tensión Nominal (V)</b>	1000 Vcd
<b>Corriente nominal (A)</b>	15 A
<b>Capacidad de Ruptura Nominal</b>	33 KA
<b>Clase de operación</b>	gPV
<b>Temperatura de operación</b>	- 50 a 105 °C
<b>Peso</b>	10 g
<b>Estandar</b>	IEC 60269.6
<b>Cuerpo</b>	Oxido de aluminio

---

<b>Elemento Fusible</b>	Plata
<b>Agente extintor</b>	Silicio

*Tabla 16. Ficha técnica del Fusible de corriente Continua.*



*Figura 25. Fusible de corriente Directa.*

De manera a complementar el dimensionamiento de los fusibles cilíndricos para los paneles solares del banco de pruebas, es crucial seleccionar un portafusibles adecuados que ofrezcan una instalación segura y eficiente. Los Portafusibles permiten una conexión firme y accesible del fusible, garantizando tanto la protección del sistema como la facilidad de reemplazo en caso de fallo.

A continuación, se presenta la ficha técnica del portafusibles recomendado para este tipo de instalaciones fotovoltaicas:

Portafusibles	
<b>Tipo</b>	Portafusibles cilíndrico para sistemas de corriente continua (DC)
<b>Tensión nominal</b>	1000 V DC
<b>Corriente nominal</b>	15 A
<b>Compatibilidad del fusible</b>	Fusibles cilíndricos de 10x38 mm
<b>Montaje</b>	Carril DIN
<b>Grado de protección</b>	IP20 (protección contra contacto con los dedos y objetos pequeños)
<b>Material</b>	Termoplástico resistente a altas temperaturas
<b>Conexiones</b>	Tornillo con terminales de hasta 10 mm <sup>2</sup>
<b>Certificaciones</b>	IEC 60269-2 y EN 60947-3

*Tabla 17. Ficha técnica del Portafusibles.*

Este portafusible está diseñado para funcionar en sistemas fotovoltaicos de hasta 1000 V DC, y es ideal para instalaciones off-grid como el banco de pruebas. Su fácil instalación en carriles DIN y su alta resistencia térmica garantizan una operación segura y duradera, incluso en entornos exigentes.



*Figura 26. Portafusibles de corriente directa.*

Para el dimensionamiento de los conductores, este representa el tramo más largo de toda la instalación. El banco de pruebas se diseñará de manera que los paneles solares estén instalados por separado del tablero de pruebas, lo que permitirá ubicar los paneles en el lugar óptimo dentro del patio de la institución para realizar las pruebas correspondientes. Cada panel solar contará con un conductor de 20 metros de longitud libre, por lo que se calculará la sección del conductor considerando esta distancia y las características eléctricas de cada panel, asegurando así un rendimiento eficiente y seguro en toda la instalación.

$$S = 2 \times \frac{L \times I}{K \times \Delta V}$$

$$S = 2 \times \frac{20 \times 11,0125}{58 \times 1,5} = 5,06 \text{ mm}^2$$

Teniendo en cuenta que no se encuentra disponible en el mercado un conductor de sección  $5,06 \text{ mm}^2$ , se elegirá la sección más próxima superior según el catálogo de INPACO - Tabla N° 5 tipo "F3" Cables unipolares sostenido por soporte para cables.. Se utilizarán cables de cobre estañado con aislamiento de XLPE. La sección más próxima es de  $6 \text{ mm}^2$ , con una corriente admisible de 59 A para dos conductores.

Con este punto definido se puede realizar la comparación para verificar si los conductores y los fusibles son compatibles entre sí. De esta manera, aseguramos que se cumplan los criterios de corriente establecidos.

$$I_c < I_p < I_{adm}$$

$$11,0125 < 15 < 59 \text{ (A)}$$

Con la verificación realizada, se pudo comprobar que se cumple la desigualdad requerida para la protección y los conductores seleccionados.

### **8.1.7. Dimensionamiento de la llave termomagnética del tramo entre los Paneles Solares y el regulador de carga.**

El interruptor termomagnético es fundamental para garantizar la protección y el correcto funcionamiento del banco de pruebas de paneles solares. Este tipo de interruptor es especialmente diseñado para proteger los circuitos eléctricos contra sobrecargas y cortocircuitos, cortando el suministro de corriente cuando se exceden los límites establecidos. En el caso de nuestro sistema, compuesto por cuatro paneles solares, es necesario prever las diferentes configuraciones de conexión (serie o paralelo) para dimensionar correctamente los interruptores termomagnéticos. Para esto, primero se calculará la tensión del sistema asumiendo que los paneles están conectados en serie, lo cual provoca un aumento en la tensión total del sistema. El cálculo de la tensión máxima se realiza con la siguiente fórmula:

$$TS = Vca \times (Nps) \times Fc$$

$$TS = 22,21 \times 4 \times 1,20 = 106,61 \text{ V.}$$

Para el cálculo de la corriente que deberá soportar el interruptor, se asume el escenario más desfavorable, que es la conexión de los paneles en paralelo, lo que incrementa la corriente total del sistema. La corriente máxima de cortocircuito se calcula de la siguiente manera:

$$Is = Isc \times Fs \times \text{Paneles en paralelo}$$

$$Is = 8,81 \times 1,25 \times 4 = 44,05 \text{ A.}$$

Tras realizar los cálculos pertinentes, se ha seleccionado una protección adecuada para soportar una tensión superior a 107 V. Por ello, se ha optado por un interruptor de corriente continua con una capacidad de 1000 VDC, lo que garantiza un margen de seguridad adecuado para la instalación. En cuanto a la corriente, se ha elegido un interruptor con una capacidad de 45 A, considerando que es la opción inmediata superior al valor calculado para la corriente del sistema.

Seguidamente, se presenta la ficha técnica de la protección seleccionada:

Interruptor Termomagnético.	
Intensidad nominal	50 A
Número de polos	2
Apto para	instalaciones de energía solar
Poder de corte	6kA
Voltios	1000Vcd
Vida mecánica	>1500 operaciones
Normativa	IEC60947-2

Tabla 18. Ficha técnica del Interruptor termomagnético de Corriente Continua.



Figura 27. Interruptor termomagnético de Corriente Continua.

El trayecto del conductor desde el punto de conexión en el tablero de pruebas hasta el regulador de carga es relativamente corto, con ambos componentes ubicados cerca uno del otro. Sin embargo, para prevenir cualquier eventualidad o posibles ajustes en la instalación, se ha previsto un recorrido de 1,5 metros para el conductor. Esta distancia adicional ofrece un margen de seguridad y flexibilidad en la instalación. Con esta longitud

en mente, se procederá al cálculo de la sección del conductor, asegurando que sea capaz de soportar la corriente requerida de manera eficiente y segura.

$$S = 2 \times \frac{L \times I}{K \times \Delta V}$$

$$S = 2 \times \frac{1,5 \times 44,05}{58 \times 0,5} = 4,56 \text{ mm}^2$$

Considerando que no se dispone de conductores con una sección de 4,56 mm<sup>2</sup> en el mercado, se seleccionará la sección superior más cercana, según el catálogo de INPACO - Tabla N° 5 tipo "F3" para cables unipolares con soporte. Se utilizarán cables de cobre estañado con aislamiento de XLPE, y la sección más adecuada es de 6 mm<sup>2</sup>, la cual soporta una corriente máxima admisible de 59 A.

Este ajuste permitirá realizar una evaluación completa para verificar que tanto los conductores como las protecciones estén correctamente dimensionados y que se cumplan los criterios de corriente exigidos por el sistema.

$$I_c < I_p < I_{adm}$$

$$44,05 < 50 < 59 \text{ (A)}$$

Con la verificación realizada, se pudo comprobar que se cumple la desigualdad requerida para la protección y los conductores seleccionados.

#### **8.1.8. Dimensionamiento de la llave termomagnética y conductores del tramo entre el regulador de carga y el inversor/ batería.**

Para dimensionar adecuadamente las protecciones en corriente continua que estarán conectadas a la salida del regulador de carga, es fundamental realizar un cálculo preciso de la corriente máxima que circulará por el sistema. Este cálculo considera tanto la potencia total generada como la tensión de salida del regulador, factores que determinan las exigencias de corriente que el sistema deberá soportar. A partir de estos valores, se

puede definir una protección que garantice la seguridad de los componentes, evitando sobrecargas o posibles fallos en condiciones de operación pico.

La fórmula utilizada para calcular la corriente requerida es la siguiente:

$$I = \frac{P}{V}$$

Donde:

P: Potencia del sistema.

V: tensión de salida del Inversor.

I: Corriente del Sistema.

En este caso, considerando una potencia total del sistema de 640 W y una tensión de salida de 12 V, se obtiene:

$$I = \frac{640}{12} = 53,33 \text{ A}$$

Con este valor de corriente, es crucial elegir una protección que soporte de forma segura la corriente máxima esperada. Por esta razón, se ha seleccionado un dispositivo de protección con una capacidad nominal de 63 A, que ofrece el margen de seguridad necesario para evitar activaciones prematuras en condiciones normales de operación, al tiempo que asegura la desconexión del circuito en caso de sobrecarga o cortocircuito. Seguidamente, se presenta la ficha técnica del dispositivo de protección seleccionado.

<b>Interruptor Termomagnético.</b>	
<b>Intensidad nominal</b>	63A
<b>Número de polos</b>	2
<b>Apto para</b>	instalaciones de energía solar
<b>Poder de corte</b>	6kA
<b>Voltios</b>	1000Vcd
<b>Vida mecánica</b>	>1500 operaciones
<b>Normativa</b>	IEC60947-2

*Tabla 19. Ficha técnica del Interruptor termomagnético de Corriente Continua.*

Para este sistema, es clave definir la corriente máxima que el regulador de carga puede entregar y la distancia entre el regulador y la batería, así como entre el regulador y el inversor. El regulador seleccionado tiene una capacidad de 50 A, y la longitud del cable para ambos tramos será de 1.5 metros. Considerando que la corriente, distancia y caída de tensión son iguales para ambos tramos, se unificará el cálculo de la sección del conductor, optimizando así el proceso de dimensionamiento.

$$S = 2 \times \frac{L \times I}{K \times \Delta V}$$

$$S = 2 \times \frac{1,5 \times 50}{58 \times 0,5} = 5,17 \text{ mm}^2$$

Dado que no se dispone de un conductor con una sección de 5,17 mm<sup>2</sup> en el mercado, se optará por la siguiente sección superior más cercana, según el catálogo de INPACO - Tabla N° 5 tipo "F3" para cables unipolares en soporte. Los cables seleccionados serán de cobre estañado con aislamiento XLPE, cuya sección más próxima es de 10 mm<sup>2</sup>, con una capacidad de corriente admisible de 82 A para dos conductores.

Con esta especificación, se procederá a verificar si los conductores y protecciones cumplen con los criterios de dimensionamiento necesarios, asegurando así que se respeten los requisitos de corriente establecidos para el sistema.

$$I_c < I_p < I_{adm}$$

$$50 < 63 < 82 \text{ (A)}$$

Con la verificación realizada, se pudo comprobar que se cumple la desigualdad requerida para la protección y los conductores seleccionados.

### **8.1.9. Dimensionamiento de las protecciones y los conductores en corriente alterna desde el inversor a la carga.**

En un sistema solar fotovoltaico, el correcto dimensionamiento de las protecciones y conductores en corriente alterna es esencial para asegurar la seguridad y la funcionalidad del sistema. La potencia máxima que el inversor puede proporcionar al sistema es el factor determinante en la selección de las protecciones adecuadas. Este dimensionamiento no solo protege los equipos, sino que también previene situaciones de riesgo. El procedimiento de cálculo se basa en la siguiente fórmula:

$$I = \frac{P}{V \times FP}$$

Donde:

P: Potencia del sistema.

V: tensión de salida del Inversor.

I: Corriente del Sistema.

FP: Factor de potencia.

Al aplicar la formula se obtiene el siguiente resultado:

$$I = \frac{1000}{220 \times 0,85} = 5,35 \text{ A}$$

A través de la aplicación de la fórmula indicada, se obtuvo un valor de 5,35 amperios, que representa la corriente máxima que podría generar el sistema en condiciones de operación pico. Con el fin de establecer un margen de seguridad y asegurar que las protecciones sean adecuadas para enfrentar situaciones de sobrecarga o picos inesperados, se ha optado por seleccionar una protección con capacidad de 10 A. A

continuación, se presenta la tabla de la ficha técnica correspondiente a la protección seleccionada.

Interrupor termomagnético	
Estándares	IEC60898-1
Corriente nominal (A)	10
Tensión nominal (V ~)	240
Frecuencia nominal (Hz)	50
Número de polos	1P
Vida mecánica (ciclos)	20000
Vida eléctrica (ciclos)	20000
Poder nominal de corte en cortocircuito Icn (A)	6000
Tensión nominal soportada al impulso (1.2/50) (kV)	4
Temperatura ambiente (°C)	-5 ~ +40
Tipo de disparo Electromagnético	Tipo C (5In ~ 10In)
Grado de protección montaje directo	IP20

Tabla 20. Ficha técnica de Interruptor termomagnético Chint.



Figura 28. Interruptor termomagnético Chint.

Para llevar a cabo el cálculo de la sección del conductor, se utilizará la siguiente fórmula, la cual tiene en cuenta diversos factores clave como la corriente nominal, la longitud del conductor y la caída de tensión permisible. Estos elementos son esenciales para garantizar que el sistema funcione de manera segura y eficiente. A continuación, se presenta la fórmula a emplear:

$$S = \frac{k \times p \times l}{\rho \times v^2 \times e}$$

**Donde:**

K: es el valor de la constante para circuitos monofásicos (200)

P: potencia máxima que puede entregar el inversor.

L: es la longitud del cable

$\rho$ : constante del cobre.

V: Voltaje del sistema (220 V)

e: caída de tensión del sistema.

El inversor seleccionado para el sistema tiene la capacidad de entregar una potencia máxima de 1000 W, lo que lo convierte en una opción adecuada para las necesidades energéticas del proyecto. Dado que la longitud aproximada del cable que conectará el inversor con la carga es de 1.5 metros, se puede proceder a realizar el cálculo de la sección del conductor. Este cálculo es fundamental para asegurar que el conductor seleccionado pueda manejar de manera eficiente la potencia requerida sin sufrir pérdidas significativas por caída de tensión o sobrecalentamiento.

$$S = \frac{k \times p \times l}{\rho \times v^2 \times e} = \frac{200 \times 1000 \times 1,5}{58 \times 220^2 \times 1\%} = 0,11 \text{ mm}^2$$

Dado que no se encuentra en el mercado un conductor de sección 0.11 mm<sup>2</sup>, se optará por la sección más cercana y superior, conforme a lo especificado en el catálogo de INPACO, en la Tabla N° 5, que corresponde a los cables unipolares sostenidos por soporte. En este caso, se emplearán cables de cobre estañado, conocidos por su resistencia a la corrosión, y se utilizará aislamiento de XLPE, que proporciona una excelente protección contra el calor y el desgaste.

La sección más cercana disponible es de 2,5 mm<sup>2</sup>, la cual tiene una capacidad de corriente admisible de 29 A para dos conductores. Con esta elección fundamentada, podemos proceder a realizar una comparación entre los conductores seleccionados y las protecciones para verificar que ambas estén debidamente dimensionadas. Este análisis es esencial para asegurar que se cumplan los criterios de corriente establecidos, contribuyendo así a un funcionamiento seguro y eficiente del sistema eléctrico.

$$I_c < I_p < I_{adm}$$

$$5,35 < 10 < 29 \text{ (A)}$$

Tras llevar a cabo la verificación correspondiente, se ha confirmado que se cumple la desigualdad requerida para los conductores y las protecciones seleccionadas.

### **8.1.10. Dimensionamiento de protecciones adicionales para la instalación.**

#### **8.1.10.1. Dimensionamiento del descargador de sobre tensión.**

El Dispositivo de Protección de Sobretensiones eléctricas (DPS) es esencial en la protección de sistemas eléctricos, diseñado para salvaguardar equipos y circuitos de condiciones de sobretensiones producidas por descargas atmosféricas. Su selección adecuada depende de la tensión máxima que el sistema puede manejar, la cual se ha determinado previamente en la sección correspondiente a la llave termomagnética, que es de 1000 Vcd. Este ajuste asegura que el DPS se adapte a la tensión del sistema, proporcionando una protección eficaz y confiable.

Se presenta la ficha técnica del DPS.

DPS Corriente Continua	
Máx. tensión continua de funcionamiento	1000V
Corriente de descarga normal	20KA
Máx. corriente de descarga normal	40KA
Nivel de protección de tensión	3.0kV
Tiempo de respuesta-ejército de reserva	100ns
Rango de temperatura de funcionamiento MA	-40°C-80°C
Indicación de estado de funcionamiento/fallo	Verde - Rojo
Montaje	Riel DIN 35mm
Grado de protección	IP20

Tabla 21. Ficha técnica del DPS de corriente continua.



Figura 29. DPS de corriente continua.

#### 8.1.10.2. Disyuntor diferencial.

El uso de un disyuntor diferencial es esencial para garantizar la seguridad tanto de las personas como de las instalaciones eléctricas. Su función principal es detectar fugas de corriente, brindando protección frente a contactos indirectos, y actuando como una barrera adicional ante contactos directos. Además, previene incendios derivados de

fallos de aislamiento, lo que lo convierte en un dispositivo crítico para evitar accidentes eléctricos.

Este tipo de disyuntores es común en todo tipo de entornos, desde viviendas hasta sectores industriales y comerciales, donde la seguridad es una prioridad. Para el banco de pruebas, y dado que la corriente del sistema se calculó en 3,42 A, se ha optado por un disyuntor diferencial con una capacidad de 25 A, que proporciona un margen adecuado de seguridad y cumple con los requisitos de protección del sistema.

Posteriormente, se detalla la ficha técnica del disyuntor seleccionado.

<b>Disyuntor Diferencial</b>	
<b>Normativas de cumplimiento</b>	IEC/EN 61008-1
<b>Forma de onda a las que es sensible</b>	Tipo A
<b>Corriente nominal In</b>	25 A
<b>Polos</b>	2P
<b>Tensión nominal Ue</b>	230 V
<b>Sensibilidad de corriente de fuga In</b>	30mA
<b>Tensión de aislamiento Ui</b>	500 V
<b>Corriente máxima de cortocircuito</b>	6.000A
<b>Fusible de protección SCPD</b>	10.000A
<b>Tiempo de apertura en In</b>	s $\leq 0.1$ (tipo instantáneo) $\leq 0.3$ (tipo instantáneo)
<b>Frecuencia nominal</b>	50/60 Hz
<b>Impulso de tensión máxima (1.2/50) Uimp</b>	6.000 V
<b>Vida eléctrica</b>	2.000
<b>Vida mecánica</b>	2.000
<b>Indicador de fallo</b>	Si
<b>Grado de protección</b>	IP20
<b>Temperatura ambiente °C</b>	-25...+40
<b>Montaje En carril</b>	(35mm) mediante fijaciones tipo clip ajustables.

*Tabla 22. Ficha técnica del Disyuntor Diferencial.*



*Figura 30. Disyuntor diferencial.*

#### **8.1.11. Multímetro Digital de Corriente Continua.**

Un multímetro digital de corriente continua es un instrumento electrónico de medición que permite medir voltaje y corriente (DC). Es ideal para trabajos en instalaciones solares, ya que facilita verificar y ajustar parámetros críticos de los paneles solares. Su diseño incluye una pantalla digital que muestra los valores de las mediciones con alta precisión y permite una fácil interpretación. Para una instalación de paneles solares de 4 unidades, el multímetro digital se utilizará en cada cableado individual de los paneles para asegurar que cada conexión funcione correctamente y esté en el rango de voltaje y corriente adecuado. Además, al realizar configuraciones de conexión en serie, paralelo o mixta, se deberá medir la salida total antes de la protección del sistema. Esto permite verificar que la salida conjunta cumpla con las especificaciones de diseño y detectar posibles problemas antes de conectar la protección. Seguidamente, se presenta la ficha técnica del multímetro.

Multímetro Digital Vcd.	
Modelo	ACM200C
Fuente de alimentación	Batería, CC
Estilo	Digital
Color	Azul
Mín. Voltaje operativo	4 a 38 Voltios (CC)
Tipo de medición	Mutimetro
UPC	754610749094
Fabricante	AiLi
Número de pieza	N9-3MXM-2I6A
Número de modelo del producto	D002-G20300
Tamaño	70mm*41mm*40mm
Capacidad de amperaje	300 Amperios
Estilo de pantalla	lcd

Tabla 23. Ficha técnica del multímetro Digital de Corriente Continua.



Figura 31. Multímetro digital de corriente continua.

### 8.1.12. Multímetro Digital de Corriente Alterna.

En el banco de pruebas solar fotovoltaico, el multímetro de corriente alterna se utilizará en la salida del inversor. Esto permitirá verificar que la conversión de corriente continua (DC) a corriente alterna (AC) cumpla con los parámetros de voltaje y frecuencia requeridos para una correcta alimentación de cargas o conexión a la red y permite la verificación de variaciones en tiempo real, asegurando que el sistema funcione dentro de los valores de diseño y que el rendimiento sea el óptimo.

<b>Multimedidor monofásico de CA</b>	
<b>Parámetro</b>	<b>Rango o Valor</b>
<b>Medición de Voltaje</b>	
<b>Directo</b>	0 ~ 600 VAC
<b>Usando TP</b>	0 ~ 9999 kV AC (PT */ 100V)
<b>Medición de Corriente</b>	
<b>Directo</b>	0 ~ 10 A AC
<b>Usando TC</b>	0 ~ 9999 A AC (CT */ 5A)
<b>Frecuencia</b>	45 ~ 65 Hz
<b>Velocidad de Muestreo</b>	1 muestra/segundo
<b>Resolución de Display</b>	0.001 A, 0.1 V, 0.01 Hz
<b>Dimensiones</b>	48 x 48 mm
<b>Voltaje de Alimentación</b>	170 - 275 VAC, 50/60 Hz(-+10%)
<b>Peso</b>	125 gr

*Tabla 24. Ficha técnica del Multimedidor monofásico de CA.*



*Figura 32. Multímetro digital de Corriente Alterna.*

#### **8.1.13. Instrumento de Medición Portátil. Medidor de irradiancia solar.**

El medidor de irradiancia solar permite realizar mediciones esenciales para la instalación del banco de pruebas didáctico, el cual ayudará a los estudiantes a realizar la verificación, medición, mantenimiento y documentación de como los factores externos afectan al rendimiento de los sistemas fotovoltaicos, esto en una sola herramienta portátil y de fácil uso. Diseñado específicamente para simplificar la configuración y resolución de problemas de paneles solares, este instrumento mide irradiancia, la temperatura tanto del ambiente como la del panel solar mediante su sonda externa con soporte por ventosa, puede medir la inclinación y orientación de los paneles, cumpliendo con los requisitos normativos IEC 62446-1. Su diseño robusto, con pantalla de alto contraste y accesorios de protección, permite su utilización en condiciones de alta luminosidad y en diversas instalaciones, desde montajes en tejados hasta plantas solares a gran escala. [14].

En la siguiente tabla se presenta la ficha técnica del medidor:

<b>MEDIDOR DE IRRADIANCIA SOLAR</b>	
<b>Parámetro</b>	<b>Detalles</b>
<b>Rango de medida</b>	0 a 1400 W/m <sup>2</sup>
<b>Resolución</b>	1 W/m <sup>2</sup>
<b>Exactitud de medida</b>	± (5% + 5 dígitos)
<b>Medida de Temperatura</b>	Tiempo de respuesta: ~30 s
<b>Intervalo de medida (°C)</b>	-30 °C a 100 °C (-22 °F a 212 °F)
<b>Resolución</b>	0,1 °C (0,2 °F / 1 °F a >100 °F)
<b>Rango de medida</b>	-90° a +90°
<b>Resolución</b>	0,1°
<b>Exactitud de medida</b>	±1,5° de -50° a +50°, ±2,5° de -85° a -50° y de +50° a +85°, ±3,5° de -90° a -85° y de +85° a +90°
<b>Rango de medida brújula</b>	0° a 360°
<b>Resolución</b>	1°
<b>Exactitud de medida</b>	± 7°
<b>Temperatura de funcionamiento IRR1-SOL</b>	-20 °C a 50 °C (humedad <80%), sin condensación
<b>Temperatura de funcionamiento 80PR-IRR</b>	-30 °C a 100 °C
<b>Temperatura de almacenamiento</b>	-30 °C a 60 °C (humedad <80%)
<b>Altitud</b>	0 m a 2000 m máx.
<b>Internacional</b>	IEC 61326-1: Entorno electromagnético portátil
<b>Clase</b>	CISPR 11: Grupo 1, clase A
<b>EE.UU. (FCC)</b>	47 CFR 15 apartado B (exento según 15.103)
<b>Protección IP</b>	IP40
<b>Pilas</b>	4 pilas alcalinas AA
<b>Autonomía de la batería</b>	50 h (>9000 lecturas)
<b>Desconexión automática</b>	30 minutos
<b>L x An x Al</b>	150 x 80 x 35 mm (5,90 x 3,14 x 1,37")
<b>Peso</b>	231 g (0,5 lb)

*Tabla 25. Medidor de la Irradiancia solar.*



*Figura 33. Medidor de Irradiancia solar.*

### **8.1.1. Reóstato Lineal.**

Un reóstato lineal es un dispositivo que permite variar de manera continua la resistencia eléctrica en un circuito, ajustando la corriente que fluye a través de él. En un banco de pruebas fotovoltaico, su principal función es simular diferentes condiciones de carga para evaluar el rendimiento de los paneles solares. Se utiliza para obtener curvas características I-V, analizar la eficiencia bajo distintas condiciones (temperatura, inclinación, sombreado) y comprobar la compatibilidad del sistema con otros componentes como inversores y reguladores. Su diseño robusto y ajustable lo convierte en una herramienta clave para pruebas precisas y por sobre todo controladas.

Reóstato Lineal.	
Parámetro	Rango o Valor
Resistencia	10 – 1000 $\Omega$
Tolerancia	$\pm 10\%$
Tipo de montaje	Montaje Independiente
Dimensiones	446x93x150 mm
Máxima tensión Nominal	600 VCD - VCA
Corriente Nominal	1.8 A
Tipo de actuador	Deslizante
Curva de variación de Resistencia	Lineal

Tabla 26. Ficha técnica del reóstato lineal.

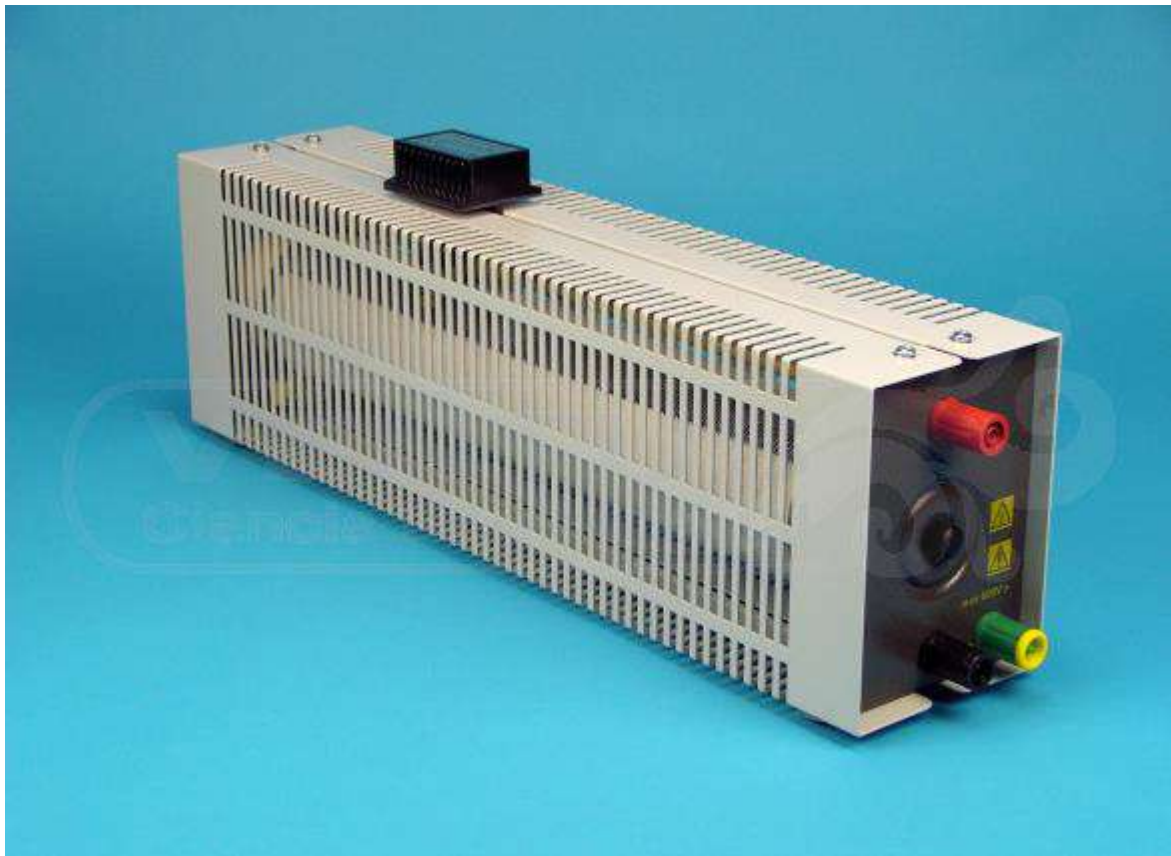


Figura 34. Reóstato lineal.