

**IMPLEMENTACIÓN DE UN MÓDULO DE SIMULACIÓN DE SISTEMAS SERIE  
PARALELO DE PANELES SOLARES FOTOVOLTAICOS Y BATERÍAS PARA EL  
CÁLCULO Y ANÁLISIS DE VARIABLES ELÉCTRICAS**

**SANTIAGO ARENAS GÓMEZ  
ALEJANDRO MONCADA MESA**

**INSTITUCIÓN UNIVERSITARIA PASCUAL BRAVO  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
TECNOLOGÍA ELÉCTRICA  
MEDELLÍN  
2024**

**IMPLEMENTACIÓN DE UN MÓDULO DE SIMULACIÓN DE SISTEMAS  
SERIE PARALELO DE PANELES SOLARES FOTOVOLTAICOS Y BATERÍAS PARA  
EL CÁLCULO Y ANÁLISIS DE VARIABLES ELÉCTRICAS**

**SANTIAGO ARENAS GÓMEZ  
ALEJANDRO MONCADA MESA**

**Asesor técnico  
Marco Antonio Monsalve  
Cadavid  
Magister en ingeniería eléctrica**

**Asesor metodológico  
Rosalba Ríos Galvis  
Doctora en estudios organizacionales**

**INSTITUCIÓN UNIVERSITARIA PASCUAL BRAVO  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
TECNOLOGÍA ELÉCTRICA  
MEDELLÍN  
2024**

## Contenido

1. Planteamiento del problema	7
1.1 Descripción	7
1.2 Justificación	9
3. Objetivos	12
3.1 Objetivo general.	12
4. Referentes teóricos	13
5. Descripción técnica del proyecto	34
6. Resultados de la propuesta	35
7. Metodología	55
7.1 Tipo de proyecto	55
7.2 Método	55
7.3 Instrumentos de recolección de información.	56
8. Recursos	57
8.1 Humanos	57
8.2 Técnicos	57
8.3 Presupuesto	57
9. Cronograma de actividades	59
10. Referencias bibliográficas	60

## **Tabla de ilustraciones**

Ilustración 1. ENERGÍAS ALTERNATIVAS RENOVABLES	14
Ilustración 2. ENERGÍA SOLAR	19
Ilustración 3. RADIACIÓN SOLAR	21
Ilustración 4. SISTEMA FOTOVOLTAICO	27
Ilustración 5. EFECTO FOTOVOLTAICO	34
Ilustración 6. CONEXIONES PLACAS SOLARES EN SERIE	36
Ilustración 7. CONEXIÓN PLACAS SOLARES EN PARALELO	37
Ilustración 8. CONEXIÓN SERIE-PARALELO	38
Ilustración 9. ESQUEMA COMPONENTES DEL MÓDULO	40
Ilustración 10. IMAGEN PANEL SOLAR	50
Ilustración 11. IMAGEN REGULADOR DE CARGA	52
Ilustración 12. IMAGEN DE LA BATERÍA	53
Ilustración 13. DISEÑO 1 DEL MÓDULO	54
Ilustración 14. DISEÑO 2 DEL MÓDULO	55
Ilustración 15. DISEÑO 3 DEL MÓDULO	55
Ilustración 16. DISEÑO 4 DEL MÓDULO	56
Ilustración 17. DISEÑO 5 DEL MÓDULO	56
Ilustración 18. DISEÑO ESTRUCTURA DEL MÓDULO	57
Ilustración 19. DISEÑO ESTRUCTURA DEL MÓDULO	58
Ilustración 20. DISEÑO ACRÍLICO	59
Ilustración 21. SOPORTE PANELES SOLARES	59
Ilustración 22. SOPORTE BATERIAS	60
Ilustración 23. DISEÑO Y ESTRUCTURA FINAL DEL MÓDULO	61
Ilustración 24. PRUEBAS DEL FUNCIONAMIENTO DEL MÓDULO	62

## **Listado de tablas**

Tabla 1. CUADRO DE CARGAS	44
Tabla 2. ELEMENTOS PARA LA CONSTRUCCIÓN DEL MÓDULO	49
Tabla 3. CARACTERÍSTICAS PANEL SOLAR	51
Tabla 4. CARACTERÍSTICAS REGULADOR DE CARGA	52
Tabla 5. CARACTERÍSTICAS DE LA BATERÍA	53
Tabla 6. RECURSOS HUMANOS	66
Tabla 7. PRESUPUESTO PROYECTO	67
Tabla 8. CRONOGRAMA ACTIVIDADES TRABAJO DE GRADO	68

## **Resumen**

# **IMPLEMENTACIÓN DE UN MÓDULO DE SIMULACIÓN DE SISTEMAS SERIE PARALELO DE PANELES SOLARES FOTOVOLTAICOS Y BATERÍAS PARA EL CÁLCULO Y ANÁLISIS DE VARIABLES ELÉCTRICAS**

**SANTIAGO ARENAS GÓMEZ**  
**ALEJANDRO MONCADA MESA**

El trabajo de grado tiene como objetivo obtener el título de tecnólogo en electricidad y se enfoca en la implementación de un módulo de simulación de sistemas serie-paralelo de paneles solares fotovoltaicos y baterías. Este módulo permite a los estudiantes realizar diferentes conexiones y variar el ángulo de inclinación de los paneles solares para el análisis de variables eléctricas. Se busca facilitar el estudio de estas variables y ayudar a los estudiantes a identificar la configuración más adecuada. El trabajo se estructura en una revisión teórica sobre energías renovables y sistemas solares, seguida del desarrollo del módulo de simulación. Aunque presenta limitaciones en la precisión de las simulaciones bajo condiciones extremas y no aborda otros factores relevantes como el envejecimiento de los paneles y las variaciones climáticas, representa un avance significativo para el análisis de sistemas fotovoltaicos.

Palabras claves: paneles solares fotovoltaicos, sistemas serie-paralelo, simulación, variables eléctricas.

The objective of the degree work is to obtain the title of electrical technologist and focuses on the implementation of a simulation module for series-parallel systems of photovoltaic solar panels and batteries. This module allows students to make different connections and vary the angle of inclination of the solar panels for the analysis of electrical variables. The aim is to facilitate the study of these variables and help students identify the most appropriate configuration. The work is structured in a theoretical review on renewable energies and solar systems, followed by the development of the simulation module. Although it presents limitations in the accuracy of simulations under extreme conditions and does not address other relevant factors such as panel aging and climatic variations, it represents a significant advance for the analysis of photovoltaic systems.

The key words : electrical technologist, photovoltaic solar panels, series-parallel systems, simulation, electrical variables

## Glosario

### **Energías alternativas y renovables**

La RAE define la energía alternativa como energía procedente de fuentes distintas a las habituales como el carbón, el petróleo o el gas; p. ej., la energía eólica (RAE, 2022, 1); y define “renovable” dicho de la energía: Que procede de un recurso presente en la naturaleza de manera prácticamente inagotable (RAE, 2022, 2)

### **Sistema solar fotovoltaico**

De acuerdo con (Perpiñán Lamigueiro, 2013); El principal componente de este sistema es el módulo fotovoltaico, a su vez compuesto por células capaces de transformar la energía luminosa incidente en energía eléctrica de corriente continua

**Energía eólica.** La energía eólica se deriva del movimiento del aire, es decir, del viento.

La energía eólica se obtiene mediante la captación de la energía cinética del aire en movimiento, utilizando turbinas eólicas de gran tamaño que se instalan en tierra firme.

La energía eólica se ha usado durante milenios, pero las tecnologías, tanto terrestres como sobre el agua, han evolucionado en las últimas décadas hasta convertirse en una potente forma de producir electricidad gracias a turbinas más altas y a unos rotores que poseen diámetros de mayores proporciones.(¿*Qué Son Las Energías Renovables?* / Naciones Unidas, n.d.)

**Energía geotérmica.** Esta energía se aprovecha del calor disponible en el interior de la Tierra, obteniéndose de depósitos geotérmicos mediante pozos u otras técnicas de extracción.



Los depósitos con estas temperaturas lo suficientemente elevadas y permeables de forma natural se denominan depósitos hidrotermales, mientras que los depósitos que cuentan con el suficiente calor, pero que utilizan medios de estimulación hidráulica, se llaman sistemas geotérmicos mejorados. (*¿Qué Son Las Energías Renovables?* / Naciones Unidas, n.d.)

**Energía Hidroeléctrica.** Esta energía aprovecha la energía generada por el movimiento del agua, aprovechando su fuerza.. Las centrales hidroeléctricas pueden ser por medio de embalses que aprovechan el agua almacenada, mientras que las centrales hidroeléctricas fluviales utilizan la fuerza del flujo de agua en un río.

La energía hidroeléctrica supone en la actualidad la mayor fuente de energía renovable dentro del sector de la electricidad. Se basa en patrones generalmente estables de pluviosidad y puede verse negativamente afectada por sequías causadas por el cambio climático, o incluso por los cambios en los ecosistemas, que también produce este problema y que llega a afectar en estos patrones de precipitaciones. (*¿Qué Son Las Energías Renovables?* / Naciones Unidas, n.d.)

**Energía marina.** La energía oceánica se obtiene a través de tecnologías que aprovechan el movimiento de las olas del mar así como el calor del agua del mar, con el fin de generar electricidad o calor.

Los sistemas de energía oceánica se encuentran todavía en una etapa inicial de desarrollo y con una variedad de dispositivos de conversión del oleaje y las corrientes de las mareas en fase experimental. El potencial teórico de la energía oceánica supera cualquier necesidad energética actual en los seres humanos. (*¿Qué Son Las Energías Renovables?* / Naciones Unidas, n.d.)

**Energía de la biomasa.** Esta energía es generada a partir de una amplia gama de materiales orgánicos, conocidos como biomasa, que incluyen carbón, madera, estiércol y otros tipos de abonos utilizados para producir calor y electricidad.

La energía creada a partir de la quema de biomasa forma emisiones de gases con efecto invernadero, aunque a niveles más bajos que la combustión de los carburantes fósiles, como pueden ser el carbón, el petróleo o el gas. (*¿Qué Son Las Energías Renovables? / Naciones Unidas*, n.d.)

**Colectores solares planos o planos.** Este tipo de panel solar captura la radiación solar que recibe la superficie para calentar el fluido. El efecto invernadero se suele utilizar para capturar calor.

**Colectores solares para captación de radiación solar.** Este tipo de colector captura la radiación recibida en una superficie relativamente grande y la concentra en la superficie más pequeña a través de un espejo.

**Colector solar con tubo de vacío.** Este colector solar consta de un conjunto de tubos cilíndricos, formados por absorbentes selectivos, ubicados en el asentamiento del reflector y rodeados por un cilindro de vidrio transparente. Los colectores solares se utilizan principalmente para suministrar agua caliente sanitaria y calefacción o generar electricidad (Portillo, 2023).

### **Baterías o acumuladores**

“Almacenan la energía eléctrica producida por el generador fotovoltaico para que pueda ser utilizada en periodos en los que la demanda exceda la capacidad de producción del generador fotovoltaico.” (ECA, Instituto de Tecnología y Formación et al., 2007, p. 38).

## Introducción

El presente trabajo de grado tiene como principal objetivo obtener el título de tecnólogo en electricidad por la institución universitaria Pascual Bravo. El trabajo se centra en la implementación de un módulo de simulación de sistemas serie-paralelo de paneles solares fotovoltaicos y baterías para el cálculo y análisis de variables eléctricas. Este módulo permite a los estudiantes realizar diferentes tipos de conexiones entre los paneles solares y las baterías, y variar el ángulo de inclinación de los paneles solares. Esto facilita la obtención de mediciones y el análisis de los resultados, brindando la posibilidad de experimentar con los componentes del sistema, que incluyen los paneles solares, las baterías y el regulador.

Teniendo como base la pregunta: ¿Cómo facilitar el estudio de variables eléctricas asociadas a las conexiones en serie y paralelo de paneles solares fotovoltaicos que permita a los estudiantes identificar las diferencias entre las opciones de conexión y determinar la combinación más adecuada?, es importante que los estudiantes sean capaces de identificar y evaluar las diferencias entre estas configuraciones. Sin embargo, las conexiones y el comportamiento de las variables eléctricas pueden presentar desafíos significativos en el aprendizaje. Por lo tanto, es necesario desarrollar métodos didácticos y herramientas que faciliten la comprensión y el análisis de estas variables, como una serie de guías paso a paso para el desarrollo en el módulo.

El trabajo está estructurado en varias fases, comenzando con una revisión teórica que incluye temas relacionados con las energías, tales como: las energías renovables, los componentes principales de un sistema solar, las conexiones en serie y paralelo, y su impacto en las variables eléctricas. A continuación, se desarrolla el módulo de simulación, que permite a los estudiantes realizar diferentes configuraciones y observar los resultados en tiempo real. Este método combina

la teoría con la práctica, facilitando una comprensión integral del comportamiento de los sistemas fotovoltaicos.

No obstante, el trabajo presenta ciertas limitaciones, principalmente relacionadas con la precisión de las simulaciones bajo condiciones extremas. Además, la herramienta se centra en aspectos eléctricos, por lo que no aborda de manera integral otros factores relevantes, como el envejecimiento de los paneles y baterías o las variaciones climáticas. A pesar de estas limitaciones, el módulo de simulación representa un avance significativo para el análisis de sistemas fotovoltaicos, proporcionando una base sólida para el aprendizaje.

## **1. Planteamiento del problema**

### **1.1 Descripción**

La Institución Universitaria Pascual Bravo se encuentra en Medellín, Colombia, ofreciendo educación superior. Establecida en 1936, inicialmente conocida como la Escuela de Artes y Oficios Pascual Bravo, su objetivo era proporcionar educación técnica y tecnológica para impulsar el desarrollo industrial y tecnológico de la región. (*Historia*, n.d.)

El presente proyecto se desarrolla en la Institución Universidad Pascual Bravo, la cual es de carácter público y, conforme a su misión, está comprometida con la formación e investigación tecnológica. Su enfoque está orientado hacia la excelencia académica y promueve el desarrollo integral, ético y creativo de las personas, con pertinencia social. La universidad tiene una tradición y una estrecha relación con el sector empresarial. Es una organización que aprende y asume retos permanentes para la transformación de vidas y territorios desde el conocimiento, contribuyendo al desarrollo sostenible y manteniendo relaciones tanto a nivel nacional como internacional. Además, busca construir una sociedad con inclusión y equidad. (*Misión Y Visión*, n.d.)

Dentro de las estrategias que se desarrollan en pro de concientizar las personas del uso racional de la energía eléctrica, es importante profundizar en el conocimiento de las energías renovables y es por eso por lo que las instituciones universitarias también son partícipes en el proceso al transferir el conocimiento y motivar a los estudiantes para desarrollar productos innovadores y alternativos que impacten en ese objetivo.

Una de las estrategias desarrolladas por la I.U. Pascual Bravo es el de realizar investigación a través de los grupos de investigación, como es el grupo GIIEN , que trabaja en las áreas de materiales y procesos de ingeniería , gestión y mantenimiento y gestión energética ,dando una especial atención al manejo de otro tipo de energías, que sean amigables con el medio ambiente. Las energías alternativas se han convertido en una de las principales salidas a la problemática ambiental del calentamiento global y la industria energética viene respondiendo a esta necesidad con nuevas tecnologías e innovación. La energía fotovoltaica es una tecnología que permite aprovechar la luz solar de manera sostenible, limpia y amigable con el entorno.

Actualmente, la institución universitaria Pascual Bravo cuenta con un banco de pruebas solares fotovoltaico de gran tamaño y varios años de uso. Surge la necesidad de implementar un banco de pruebas que contribuya al desarrollo cognitivo de los estudiantes. La Facultad de Ingeniería Eléctrica de la universidad está comprometida con la asignatura de Energías Alternativas, buscando proporcionar conocimientos sobre estas energías. Sin embargo, actualmente las prácticas en energía solar se llevan a cabo con un módulo solar de gran tamaño y antigüedad, lo que a menudo dificulta una práctica efectiva debido a las limitaciones de transporte por el tamaño del módulo.

Se ha identificado que el módulo actual de paneles solares, en posesión de la institución universitaria Pascual Bravo, requiere mejoras significativas, especialmente en términos de su tamaño. Esta limitación plantea una serie de desafíos y restricciones que afectan tanto la realización de prácticas como su transporte a diversas áreas de estudio. Para abordar esta situación, es imperativo buscar alternativas que permitan reducir su tamaño y peso, lo que facilita enormemente su transporte y maniobrabilidad. Se propone la adopción de equipos más ligeros y modernos que se adapten mejor a las necesidades del entorno universitario.

El tamaño considerable de estos módulos no solo dificulta su transporte, sino que también presenta desafíos significativos en términos de mantenimiento y optimización del espacio

disponible en el campus universitario. La falta de un espacio adecuado para almacenar y mantener estos módulos puede impactar negativamente su rendimiento y eficiencia a largo plazo, lo que destaca la urgencia de encontrar soluciones prácticas y efectivas.

Por lo anterior expuesto se hace necesario encontrar soluciones innovadoras que mejoren la eficiencia y funcionalidad de las instalaciones solares en el entorno universitario.

## **1.2 Formulación**

Con este proyecto se pretende llevar a los estudiantes de la Institución Universitaria Pascual Bravo, a una experiencia didáctica en un módulo de aprendizaje para comprender el comportamiento de las principales variables de los sistemas solares fotovoltaicos, realizar cálculos de rendimiento y producción energética en el tiempo. En consecuencia, de lo anterior se planteó como pregunta problema:

¿Cómo facilitar el estudio de variables eléctricas asociadas a la conexiones en serie y paralelo de paneles solares fotovoltaicos que permita a los estudiantes identificar las diferencias entre las opciones de conexión y determinar la combinación más adecuada?

## 2. Justificación

Ante los desafíos globales actuales relacionados con el calentamiento global y el cambio climático, causados por el uso excesivo de combustibles fósiles, la energía solar fotovoltaica emerge como una destacada alternativa para el suministro energético. Su adopción debería basarse en consideraciones más allá de las económicas. El avance tecnológico en el sector solar la posiciona actualmente como una de las principales fuentes de energía renovable y generación eléctrica disponibles.

Considerando los desafíos previamente mencionados, las instituciones educativas y los centros de investigación asumen un papel fundamental en la formación de profesionales con conciencia ambiental. Su responsabilidad incluye fomentar la enseñanza de conocimientos que generen soluciones innovadoras para abordar los problemas ambientales asociados con la generación de energía convencional. Por ejemplo, la Institución Universidad Pascual Bravo ofrece una línea de profundización en energías alternativas. Se imparte la parte teórica, se identifica que se debe mejorar el módulo solar actual, por lo tanto, surge la necesidad de desarrollar y poner en funcionamiento un banco de pruebas que complemente la formación de los estudiantes, permitiéndoles afianzar los conceptos de manera práctica y preparándose para enfrentar situaciones reales en su futuro profesional.

La necesidad de mejorar el actual módulo de paneles solares en la universidad se fundamenta en una serie de desafíos y limitaciones identificados. El tamaño del módulo representa un obstáculo significativo que afecta tanto la realización de prácticas como su transporte a diferentes áreas de estudio. Esta limitación no solo dificulta la movilidad del equipo, sino que también genera problemas logísticos y de espacio en el campus universitario.



La reducción de tamaño y peso no solo mejora la movilidad del módulo, sino que también facilita su almacenamiento y mantenimiento en el campus.

La realización de un proyecto de paneles fotovoltaicos de carácter académico en la Institución Universitaria supone una propuesta muy valiosa para un proyecto de investigación por diversos motivos estratégicos, educativos, medioambientales y sociales.

Este proyecto de grado se enmarca dentro del ámbito de la tecnología eléctrica y constituye un requisito indispensable para la obtención del grado académico.

El proyecto se implementa en la Facultad de Ingeniería Eléctrica con el propósito de permitir a los estudiantes realizar prácticas de laboratorio cuando sea necesario para su desarrollo académico. Se presenta un sistema solar fotovoltaico autónomo aislado, utilizando los siguientes componentes necesarios para su implementación: paneles solares, regulador y baterías. Las prácticas se llevarán a cabo en el banco de pruebas, utilizando las guías que proporcionan instrucciones paso a paso sobre cómo realizar las diferentes conexiones, ya sea en serie o en paralelo.

Se busca innovar con el diseño del módulo de simulación en sí mismo. Se desarrolla un módulo que no solo permita la simulación de sistemas serie-paralelo, sino que también integre herramientas de análisis de datos y visualización. La innovación también radica en la forma en que se enseña y se aprende. Al construir una serie de guías de fácil elaboración y comprensión para los estudiantes, se pretende ofrecer una experiencia de aprendizaje inmersiva que les permita aplicar directamente los conceptos teóricos aprendidos en el aula. Esto permite la creación de un entorno de laboratorio donde los estudiantes pueden experimentar con diferentes configuraciones de sistemas serie-paralelo. En resumen, la innovación en este proyecto se manifiesta en múltiples aspectos: desde el análisis detallado de las conexiones serie-paralelo hasta el diseño del módulo

de simulación, pasando por el desarrollo de un entorno de aprendizaje práctico y el desarrollo de las guías de práctica. Esto no solo beneficiará a los estudiantes al ofrecerles una experiencia de aprendizaje más enriquecedora, sino que también contribuirá al avance del conocimiento en el campo de la energía solar fotovoltaica.

### **3 Objetivos**

#### **3.1 Objetivo general.**

Implementar un módulo de simulación para sistemas serie-paralelo de paneles solares fotovoltaicos y baterías, identificando el comportamiento de las variables eléctricas con las diferentes conexiones que se logran.

#### **3.2 Objetivos específicos**

1- Analizar las características y componentes necesarios para el desarrollo del módulo de simulación destinado a sistemas serie-paralelo de paneles solares fotovoltaicos y baterías.

2- Diseñar un módulo de simulación que permita la identificación y el análisis del comportamiento de las variables eléctricas en sistemas serie-paralelo que integren paneles solares fotovoltaicos y baterías.

3- Construir el módulo de pruebas que facilite la realización de prácticas y aplicación de las guías y los conceptos referentes a energía solar fotovoltaica.

4- Realizar las pruebas con las guías diseñadas para la práctica en el módulo, que incluya conexiones en serie y paralelo de paneles solares fotovoltaicos y baterías.

## **4. Referentes teóricos**

Durante el desarrollo del proceso fue necesario realizar diferentes consultas bibliográficas para comprender conceptos fundamentales relacionados con los sistemas solares fotovoltaicos y el uso de baterías, es por esto por lo que se resalta como referentes teóricos los siguientes saberes:

### **4.1 Energías alternativas y renovables**

La RAE define la energía alternativa como energía procedente de fuentes distintas a las habituales como el carbón, el petróleo o el gas; p. ej., la energía eólica (RAE, 2022, 1); y define “renovable” dicho de la energía: Que procede de un recurso presente en la naturaleza de manera prácticamente inagotable (RAE, 2022, 2).

**Ilustración 1**

*ENERGÍAS ALTERNATIVAS RENOVABLES*



Fuente. figura tomada de Energía Estratégica, 2020

Teniendo en cuenta la definición anterior y tomando como referencia diferentes fuentes bibliográficas, se encontraron varios aportes que son referentes en el desarrollo de este trabajo, de acuerdo con (Enel Green Power); Las energías renovables son fuentes de energía que se regeneran naturalmente con el tiempo y no se agotan. Son la parte más importante de la transición hacia un sistema energético que abandone los combustibles fósiles, contrarrestando así el calentamiento global. Estas energías también son llamadas energías verdes o energías limpias ya que protegen la salud humana y el medioambiente. Las principales fuentes de energía renovable son:

- Energía solar;
- Energía eólica;
- Energía Hidroeléctrica;
- Energía geotérmica;

- Energía de la biomasa;
- Energía marina.

**Energía eólica.** La energía eólica se deriva del movimiento del aire, es decir, del viento.

La energía eólica se obtiene mediante la captación de la energía cinética del aire en movimiento, utilizando turbinas eólicas de gran tamaño que se instalan en tierra firme.

La energía eólica se ha usado durante milenios, pero las tecnologías, tanto terrestres como sobre el agua, han evolucionado en las últimas décadas hasta convertirse en una potente forma de producir electricidad gracias a turbinas más altas y a unos rotores que poseen diámetros de mayores proporciones. (*¿Qué Son Las Energías Renovables? / Naciones Unidas, n.d.*)

**Energía geotérmica.** Esta energía se aprovecha del calor disponible en el interior de la Tierra, obteniéndose de depósitos geotérmicos mediante pozos u otras técnicas de extracción.

Los depósitos con estas temperaturas lo suficientemente elevadas y permeables de forma natural se denominan depósitos hidrotermales, mientras que los depósitos que cuentan con el suficiente calor, pero que utilizan medios de estimulación hidráulica, se llaman sistemas geotérmicos mejorados. (*¿Qué Son Las Energías Renovables? / Naciones Unidas, n.d.*)

**Energía Hidroeléctrica.** Esta energía aprovecha la energía generada por el movimiento del agua, aprovechando su fuerza.. Las centrales hidroeléctricas pueden ser por medio de embalses que aprovechan el agua almacenada, mientras que las centrales hidroeléctricas fluviales utilizan la fuerza del flujo de agua en un río.

La energía hidroeléctrica supone en la actualidad la mayor fuente de energía renovable dentro del sector de la electricidad. Se basa en patrones generalmente estables de pluviosidad y puede

verse negativamente afectada por sequías causadas por el cambio climático, o incluso por los cambios en los ecosistemas, que también produce este problema y que llega a afectar en estos patrones de precipitaciones. (*¿Qué Son Las Energías Renovables?* / Naciones Unidas, n.d.)

**Energía marina.** La energía oceánica se obtiene a través de tecnologías que aprovechan el movimiento de las olas del mar así como el calor del agua del mar, con el fin de generar electricidad o calor.

Los sistemas de energía oceánica se encuentran todavía en una etapa inicial de desarrollo y con una variedad de dispositivos de conversión del oleaje y las corrientes de las mareas en fase experimental. El potencial teórico de la energía oceánica supera cualquier necesidad energética actual en los seres humanos. (*¿Qué Son Las Energías Renovables?* / Naciones Unidas, n.d.)

**Energía de la biomasa.** Esta energía es generada a partir de una amplia gama de materiales orgánicos, conocidos como biomasa, que incluyen carbón, madera, estiércol y otros tipos de abonos utilizados para producir calor y electricidad.

La energía creada a partir de la quema de biomasa forma emisiones de gases con efecto invernadero, aunque a niveles más bajos que la combustión de los carburantes fósiles, como pueden ser el carbón, el petróleo o el gas. (*¿Qué Son Las Energías Renovables?* / Naciones Unidas, n.d.)

Las energías renovables ofrecen la oportunidad de lograr independencia energética, ya sea a nivel doméstico o incluso a gran escala. En muchos casos, estas fuentes pueden permitir que un hogar genere su propia electricidad, incluso en áreas remotas. Estos sistemas son conocidos como "off-grid", ya que no están vinculados a las redes convencionales de distribución eléctrica.

Además, pueden contribuir a reducir o incluso eliminar la dependencia de la importación de combustibles fósiles en países que carecen de sus propias reservas de petróleo o gas.

Para alcanzar la independencia energética, países y organizaciones internacionales de las diferentes regiones del mundo han adoptado y fomentado políticas dentro de sus planes de gobierno referentes a alternativas sostenibles para la generación de energía, con foco en las energías renovables. (*Transición Energética: Un Legado Para El Presente Y El Futuro De Colombia*, 2021)

Teniendo en cuenta que cada país está desarrollando diversas estrategias, que les permita lograr no solo independencia energética, sino también, disminuir las emisiones generadas por las empresas y ciudadanía en general como contribución al mejoramiento ambiental del planeta, Se encuentra que “Un colombiano promedio puede emitir al año 1,6 toneladas de CO<sub>2</sub> (información del Banco Mundial, 2018)”, lo que representa un gran reto para Colombia y que de acuerdo con comunicado de noticia, la (ANLA, 2023) informa que:

La transición energética justa es una de las grandes apuestas, no solo a nivel mundial, sino también para Colombia que apunta a la descarbonización, reducción y dependencia de los combustibles fósiles, en aras de contribuir con un 51% de sus emisiones a 2030, a la meta global de reducir los gases efecto invernadero. En este gobierno, se ha planteado la meta de generación de 6 gigavatios, para lo cual se necesitan definir las acciones para impulsar la transición energética del país desde el sector ambiente, para incidir en el aumento de la capacidad instalada de fuentes no convencionales de energía renovable-FNCER.

**4.2** Es en ese sentido, que se ha trazado la hoja de ruta para los próximos años para suplir la creciente demanda energética, que se estima en un 27% al año (UPME), lo que pondría un gran reto al sistema energético colombiano. Aún hay un largo camino que recorrer hacia

una transformación sostenible y justa y depender menos de los combustibles fósiles. (ANLA, 2023). **Energía solar**

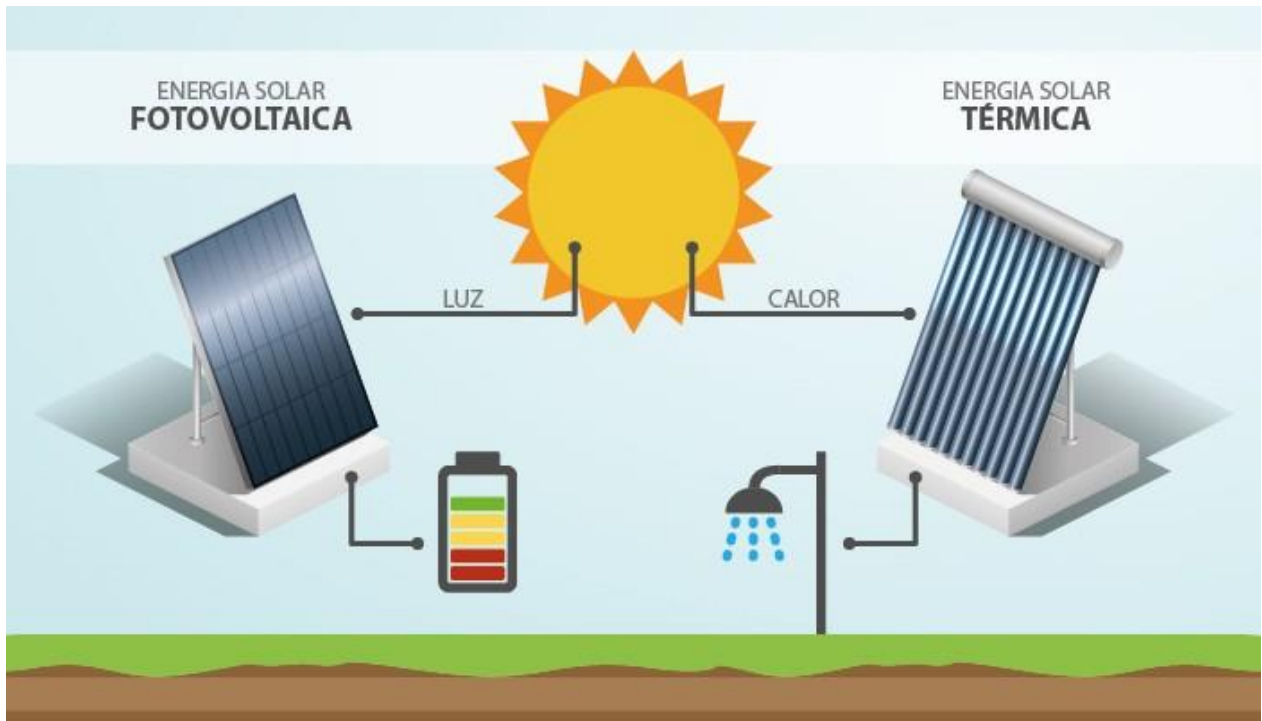
La energía solar ha impactado en gran parte los avances tecnológicos que han aportado al desarrollo de la humanidad y hoy más que nunca se destaca su importancia, por lo que se encuentra de gran relevancia lo enunciado por (Enel Green Power, 2020):

La energía solar es la energía madre de la Tierra. Gracias a la radiación solar, por ejemplo, las plantas realizan la fotosíntesis de la clorofila y ponen en marcha el proceso que permite la supervivencia de los seres vivos que habitan el planeta. La radiación solar también es el origen de los vientos, las mareas y los combustibles fósiles: el Sol es el motor principal de casi todas las formas de energía del planeta tierra. Con la llegada del progreso tecnológico de finales del siglo XIX fue posible transformar la fuerza del sol en energía eléctrica gracias a la invención de la célula solar, el dispositivo que convierte la radiación del sol en energía eléctrica, gracias al aprovechamiento del fenómeno físico conocido como efecto fotovoltaico. En la actualidad, casi 150 años después de la fabricación de la primera célula fotovoltaica, la energía solar es el tipo de energía renovable que más crece proporcionalmente (+24 % al año según el informe IRENA 2019) en consonancia con el desarrollo tecnológico, que permite la construcción de parques solares cada vez más eficientes

**Ilustración 2**

***ENERGÍA SOLAR***





Fuente. figura tomada de [Byvietkidsiq.edu.vn](http://Byvietkidsiq.edu.vn) September 2, 2023

Con el fin de adquirir mayor comprensión en el proceso de la energía solar, otra fuente de información consultada en el desarrollo del proyecto y que se consideró aportante para la comprensión del proceso de la energía solar es (Acciona, 2020), la cual define que:

La energía solar es la producida por la luz (energía fotovoltaica) o el calor del sol (termo solar) para la generación de electricidad o la producción de calor y se obtiene por medio de paneles y espejos.

Las células solares fotovoltaicas convierten la luz del sol directamente en electricidad por el llamado efecto fotoeléctrico, por el cual determinados materiales son capaces de absorber fotones (partículas lumínicas) y liberar electrones, generando una corriente eléctrica. Por otro lado, los colectores solares térmicos usan paneles o espejos para absorber y concentrar el calor solar, **11** transferirlo a un fluido y conducirlo por tuberías para su aprovechamiento en edificios e instalaciones o también para la producción de electricidad (solar termoeléctrica) (Acciona, 2020).

Adicionalmente en cuanto información complementaria sobre los colectores, se encuentra en la página web de Renovables Verdes que (Portillo, 2023) los define de la siguiente manera: Los colectores solares térmicos, también conocidos como colectores solares térmicos, son una parte integral de las instalaciones solares térmicas. Un colector solar es un tipo de panel solar que se encarga de captar la radiación solar y convertirla en energía térmica. Por tanto, este tipo de energía renovable se denomina energía solar térmica.

Actualmente, en el mercado solar, podemos distinguir los siguientes tipos de colectores solares:

**Colectores solares planos o planos.** Este tipo de panel solar captura la radiación solar que recibe la superficie para calentar el fluido. El efecto invernadero se suele utilizar para capturar calor.

**Colectores solares para captación de radiación solar.** Este tipo de colector captura la radiación recibida en una superficie relativamente grande y la concentra en la superficie más pequeña a través de un espejo.

**Colector solar con tubo de vacío.** Este colector solar consta de un conjunto de tubos cilíndricos, formados por absorbentes selectivos, ubicados en el asentamiento del reflector y rodeados por un cilindro de vidrio transparente. Los colectores solares se utilizan principalmente para suministrar agua caliente sanitaria y calefacción o generar electricidad (Portillo, 2023).

#### **4.2.1. Radiación solar.**

De acuerdo con (Méndez Muñiz & Cuervo García, 2007). El Sol es una estrella que se encuentra a una temperatura media de 5.500 °C, en cuyo interior tienen lugar una serie de reacciones que producen una pérdida de masa que se transforma en energía. Esta energía liberada

del Sol se transmite al exterior mediante la denominada radiación solar (ECA, Instituto de Tecnología y Formación et al., 2007, página 29).

### Ilustración 3

#### RADIACIÓN SOLAR



Fuente: Imagen tomada de Sunfield Europe, 2022

**Directa:** Es la recibida desde el sol sin que se desvíe en su paso por la atmósfera.

**Difusa:** Es la que sufre cambios en su dirección principalmente debido a la reflexión y difusión en la atmósfera.

**Albedo:** Es la radiación directa y difusa que se recibe por reflexión en el suelo u otras superficies próximas. En lo profundo del centro del sol, la intensa actividad nuclear genera enormes cantidades de radiación, a su vez, esta radiación genera energía lumínica emitida por pequeñas partículas llamadas fotones. Estos fotones no tienen masa física, pero tienen enormes cantidades de energía y momento; generando diferentes longitudes de onda de la luz. Algunos

fotones formarán luz no visible (infrarroja y ultravioleta) y otra luz visible (blanca) (ECA, Instituto de Tecnología y Formación et al., 2007, páginas 30-31).

#### **4.2.2. Eventos históricos de la energía solar asociados a la electricidad**

Los siguientes acontecimientos históricos fueron tomados de la página web de (Enel Green Power, 2020)

En 1839, el físico francés Edmond Becquerel observa que algunas barras de platino a las que les da la luz del sol producen una pequeña cantidad de electricidad. Se trata del efecto fotoeléctrico, un fenómeno que en la actualidad sigue siendo la base del funcionamiento de las células fotovoltaicas. En 1873, aparece la revolución del selenio, cuando el electricista inglés Willoughby Smith descubre que el selenio, cuando se expone a la luz, mejora su conductividad eléctrica.

En 1879, Charles Fritts crea en Estados Unidos las primeras células solares con una capa de selenio y otra de oro. Consiguen transformar en electricidad únicamente el 1 % de la energía solar que reciben, pero sientan las bases para la aplicación práctica de los descubrimientos realizados hasta ese momento. En 1884, se instala el primer panel solar en un tejado de Nueva York. Un rendimiento demasiado bajo obliga al abandono de la producción.

En 1921, Albert Einstein recibe el Premio Nobel de Física por la formulación de la ley del efecto fotoeléctrico, en la que explica cómo interactúa la luz con la electricidad. El científico demuestra que la luz contiene fotones dotados de energía, que ponen en movimiento los electrones dentro de ciertos materiales como el selenio.

En 1954, Chapin, Filler y Pearson desarrollan una célula solar fotovoltaica con base en silicio que convierte la energía solar en electricidad y es capaz de proporcionar energía a ciertos dispositivos de uso diario. El New York Times lo presentó como «el comienzo de una nueva era

que permitirá aprovechar la energía ilimitada del sol en su totalidad en beneficio de todos los usos de la civilización». En 1958, se colocaron células de silicio en el satélite Vanguard I, el primer satélite alimentado con energía solar. La energía solar se convierte en parte integral de todos los proyectos espaciales, proporcionando a los satélites la energía necesaria para transmitir noticias, películas, información meteorológica y mucho más. Entre 1963 y 1970, comienza la comercialización de las células fotovoltaicas. Su precio es prohibitivo hasta que Elliot Berman diseña una célula solar con un coste de producción más bajo, capaz de alimentar las luces de emergencia, los faros y los pasos a nivel.

En 1980, Markus Real crea unas instalaciones de 3 kW en 333 tejados de Zúrich, demostrando así la eficiencia del nuevo modelo energético y poniendo en marcha el mercado fotovoltaico en el sector residencial. Suiza promueve las instalaciones fotovoltaicas con incentivos económicos.

En 2004, La potencia fotovoltaica instalada en Europa supera 1 GWp (gigavatio pico), un crecimiento del 69 % respecto al año anterior, gracias a las fuertes inversiones (el caso de Alemania) o a la difusión de instrumentos de desgravación fiscal ad hoc (el «Conto Energia» en Italia).

En 2016, en China se construyó el parque solar del desierto de Tengger, con una producción máxima de 1.547 MegaWatts, siendo para ese entonces, la central fotovoltaica más grande del mundo.

En 2018, 3SUN, la fábrica de Enel Green Power inaugurada en Catania en 2011, produce los innovadores paneles bifaciales con tecnología HJT, que garantizan un alto rendimiento en términos de eficiencia y una baja degradación de los módulos con el paso del tiempo. (Enel Green Power, 2020)

### **4.3 Sistema solar fotovoltaico**

De acuerdo con (Perpiñán Lamigueiro, 2013); El principal componente de este sistema es el módulo fotovoltaico, a su vez compuesto por células capaces de transformar la energía luminosa incidente en energía eléctrica de corriente continua. El resto de los equipos incluidos en un sistema solar fotovoltaico depende en gran medida de la aplicación a la que está destinado. Las características eléctricas de una célula no son suficientes para alimentar las cargas convencionales. Es necesario realizar agrupaciones en serie y paralelo para entregar tensión y corriente adecuadas. Un módulo fotovoltaico es una asociación de células a las que protege físicamente de la intemperie y aísla eléctricamente del exterior, dando rigidez mecánica al conjunto.

Existen multitud de módulos diferentes, tanto por su configuración eléctrica como por sus características estructurales y estéticas. Una configuración eléctrica muy común hasta hace unos años empleaba 36 células en serie para obtener módulos con potencias comprendidas en el rango de entre 50 vatios pico (Wp) y 100 vatios pico (Wp) con tensiones en el punto de máxima potencia, o por sus siglas en inglés MPP, que significa “Maximum Power Point” cercanas a los 15V en funcionamiento. Estos módulos eran particularmente adecuados para su acoplamiento con baterías de tensión nominal 12V en los sistemas de electrificación rural. (Perpiñán Lamigueiro, 2013, capítulo 1, 5).

Un sistema fotovoltaico es el conjunto de componentes mecánicos, eléctricos y electrónicos que concurren para captar la energía solar disponible y transformarla en utilizable como energía eléctrica. Los sistemas solares fotovoltaicos independientemente de su utilización y del tamaño de potencia, se pueden clasificar en Sistemas aislados (con batería y sin batería), Sistemas

conectados a red y Sistemas híbridos. (ECA, Instituto de Tecnología y Formación et al., 2007, p. 37).

#### **4.3.1 Sistemas Aislados**

Definición tomada de (Méndez Muñiz & Cuervo García, 2007)

Tiene como objeto satisfacer parcial o totalmente la demanda de energía eléctrica de aquellos lugares donde no existe red eléctrica de distribución o ésta es de difícil acceso.

Los sistemas aislados normalmente están equipados con sistemas de acumulación de energía, ya que solo pueden proporcionar energía durante el día y la demanda se produce a lo largo del día y la noche.

Esto implica que el campo fotovoltaico ha de estar dimensionado de forma que permita, durante las horas de insolación, la alimentación de la carga y la recarga de las baterías de acumulación.

También hay aplicaciones aisladas que no requieren la utilización de acumuladores y por tanto funcionan siempre que haya sol, como es el caso de los sistemas de bombeo de agua.

Los principales componentes en un sistema aislado son: Módulos fotovoltaicos, regulador de carga, sistema de acumulación, inversor y elementos de protección del circuito (ECA, Instituto de Tecnología y Formación et al., 2007, p. 39-40).

#### **4.3.2 Sistema de conexión a red**

Definición tomada de (Méndez Muñiz & Cuervo García, 2007)

Los sistemas conectados a la red no tienen sistemas de acumulación, ya que la energía producida durante las horas de insolación es canalizada a la red eléctrica. Estas instalaciones cuentan con sistemas de seguimiento del estado de la tensión de la red de distribución, de manera

que se garantice el correcto funcionamiento de estas en lo referente a la forma de entregar la energía, tanto en modo cómo en tiempo evitando situaciones peligrosas. Una ventaja del sistema de conexión a red es la eliminación de las baterías que son la parte más cara y compleja de la instalación (ciclos de carga, vida útil, mantenimiento, etc.).

Los principales componentes en un sistema de conexión a red son: Módulos fotovoltaicos, inversor para la conexión a red, elementos de protección del circuito y contador de energía (ECA, Instituto de Tecnología y Formación et al., 2007, p. 40-41).

### **4.3.3 Sistemas híbridos**

Definición tomada de (Méndez Muñiz & Cuervo García, 2007)

En algunos casos el sistema solar fotovoltaico aislado se puede complementar con otro, a fin de tener mayores garantías de disponer de la electricidad. Cuando un sistema solar fotovoltaico además del generador incorpora otro generador de energía se denomina sistema híbrido. Estas combinaciones normalmente se dan para aprovechar algún recurso energético localizado cerca a la instalación o para tener mayor fiabilidad en el suministro de energía. Normalmente la generación fotovoltaica es compatible con cualquier otro tipo de generación eléctrica.

La configuración de los sistemas híbridos puede ser variable y dependen del tipo de equipos que se empleen para adaptar la potencia necesaria. (ECA, Instituto de Tecnología y Formación et al., 2007, p. 41-42).

### **4.3.4 Componentes principales de un sistema solar fotovoltaico**

En la (figura 4) se podrá identificar los componentes esenciales para construir un sistema solar fotovoltaico.

**Ilustración 4**



## SISTEMA FOTOVOLTAICO



Fuente: Imagen tomada de Sunfield Europa, Alonso, 2022

Hay diferentes opciones para construir un sistema solar fotovoltaico, pero esencialmente hay los siguientes componentes:

### 4.3.4.1 Generador fotovoltaico

“Encargado de captar y convertir la radiación solar en corriente eléctrica mediante módulos fotovoltaicos” (ECA, Instituto de Tecnología y Formación et al., 2007, p. 38).

“Un módulo fotovoltaico es una asociación de células a las que protege físicamente de la intemperie y aísla eléctricamente del exterior, dando rigidez mecánica al conjunto” (Perpiñán Lamigueiro, 2013, p. 53).

Un generador fotovoltaico es una asociación eléctrica de módulos fotovoltaicos para adaptarse a las condiciones de funcionamiento de una aplicación determinada. Se compone de un total de  $N_p \cdot N_s$  módulos, siendo  $N_p$  el número de ramas y  $N_s$  el número de módulos en cada serie. El número de ramas define la corriente total del generador,  $I_g = N_p \cdot I_m$ , y el número de módulos por serie define la tensión del generador,  $V_g = N_s \cdot V_m$ . (Perpiñán Lamigueiro, 2013, p. 59)

#### 4.3.4.2 Baterías o acumuladores

“Almacenan la energía eléctrica producida por el generador fotovoltaico para que pueda ser utilizada en periodos en los que la demanda exceda la capacidad de producción del generador fotovoltaico.” (ECA, Instituto de Tecnología y Formación et al., 2007, p. 38).

Un acumulador electroquímico es una batería secundaria o recargable, capaz de almacenar energía eléctrica mediante una transformación en energía electroquímica. Es capaz de dar autonomía al sistema solar fotovoltaico al satisfacer los requerimientos de consumo en cualquier momento, independientemente de la generación. También contribuye al buen funcionamiento del sistema al aportar picos de intensidad superiores a los que proporciona el generador FV y al estabilizar el voltaje del sistema, evitando fluctuaciones dañinas en los equipos de consumo.

La variada gama de acumuladores que se emplean en los SFA (sistemas fotovoltaicos autónomos) se basa, casi en su totalidad, en la tecnología de ácido-plomo. (Perpiñán Lamigueiro, 2013, p. 94).

**Baterías plomo-ácido.** Es un tipo de batería química muy común que utiliza la reacción química entre el plomo y el óxido de plomo para almacenar energía eléctrica. Se encuentran 2 grupos principales de baterías plomo-ácido:

De electrolito inundado o ventiladas (VLA) donde los electrodos se encuentran sumergidos en exceso de electrolito líquido (Bardo). (Padron Jabib, 2013)

Selladas o reguladas por válvula (VRLA), donde el electrolito se encuentra inmovilizado en un separador absorbente o en un gel (Bardo). (Padron Jabib, 2013)

**Baterías de plomo-cristal.** Esta batería consta de placas de plomo y un electrolito líquido de SiO<sub>2</sub> en lugar del ácido sulfúrico típico de las baterías de plomo-ácido convencionales. Durante las primeras cargas, el electrolito reacciona con las placas de plomo para formar una estructura cristalina y compacta, lo que le da su nombre. Se utilizan principalmente en aplicaciones estacionarias, como en sistemas de ciclo.

**Baterías de plomo-carbono.** Estas baterías aprovechan la combinación de placas de plomo con carbono avanzado, que se agrega a los electrodos negativos para incrementar la potencia y disminuir la sulfatación, lo que resulta en una mayor durabilidad de la batería. Se emplean especialmente para reducir el efecto del estado de carga parcial en baterías de ciclo profundo, utilizadas en aplicaciones como placas solares y equipos de telecomunicaciones.

**Baterías de calcio.** En este caso, las placas de plomo también están aisladas entre sí por unas rejillas de una aleación de calcio-plata, sumergidas en el electrolito de agua-ácido.

**Baterías presurizadas o VRLA.** Pueden ser de dos tipos:

**Gel,** en las que el electrolito se inmoviliza mediante la adición de pirólisis de sílice, que espesará el electrolito en una sustancia gelificada. Las baterías de gel se producen con placas planas, o con placas tubulares.

**AGM,** en las que las placas positivas y negativas son de una aleación de calcio, separadas por esteras de fibra de vidrio microporosas, en el que el electrolito es absorbido por acción capilar. La técnica se llama Material Vidrio Absorbente (siglas en inglés AGM).

#### **4.3.4.3 Regulador de Carga o Controlador de Carga**

“Encargado de proteger y garantizar el correcto mantenimiento de la carga de la batería y evitar sobretensiones que puedan destruirla” (ECA, Instituto de Tecnología y Formación et al., 2007, p. 38). “Un regulador de carga es un equipo electrónico capaz de evitar la sobrecarga y la descarga excesiva de un acumulador cuando se alcanzan determinados umbrales, generalmente determinados por la tensión en bornes de la batería” (Perpiñán Lamigueiro, 2013, p. 101).

De acuerdo con (Auto Solar, 2020), se mencionan lo siguiente sobre los reguladores de carga:

El regulador es un dispositivo electrónico, que controla tanto el flujo de la corriente de carga proveniente de los módulos hacia la batería, como el flujo de la corriente de descarga que va desde la batería hacia las cargas y demás aparatos que utilizan electricidad. Si la batería ya está cargada, el regulador interrumpe el paso de corriente de los módulos hacia ésta y si ella ha alcanzado su nivel máximo de descarga, el regulador interrumpe el paso de corriente desde la batería hacia las cargas.

#### **4.3.4.4 Inversor o acondicionador de la energía eléctrica**

“Encargado de transformar la corriente continua producida por el generador fotovoltaico en corriente alterna, necesaria para alimentar algunas cargas o para inyectar la energía producida en la red de distribución eléctrica” (ECA, Instituto de Tecnología y Formación et al., 2007, p. 38).

La señal de potencia suministrada por un generador fotovoltaico iluminado es en tensión continua, que debe ser acondicionada para permitir el correcto acoplamiento a la red eléctrica. El equipo de acondicionamiento de potencia, denominado inversor DC/AC, realiza la conversión de continua a alterna cumpliendo con determinados requisitos de tensión eficaz, frecuencia,

distorsión armónica de las ondas de tensión y corriente, eficiencia y rendimiento, seguridad eléctrica, etc. (Perpiñán Lamigueiro, 2013, p. 66).

Cuando se diseña un sistema con paneles solares fotovoltaicos, de acuerdo con las características de la instalación se debe considerar el tipo de inversor a utilizar. Existen 3 tipos de inversores fotovoltaicos que son: de red, híbridos y aislados.

El inversor de conexión a red (on grid) convierte la energía CC de los módulos fotovoltaicos en CA para que esta pueda ser utilizada tanto para alimentar los consumos de las viviendas como para verter la energía excedente a la red. Puesto que tienen la capacidad de verter a la red, estos dispositivos deben estar conectados a ella para funcionar. En estos sistemas no es posible almacenar la energía y debe ser consumida al instante. (Auto Solar, s.f.).

Los inversores aislados (off-grid) son aquellos que se usan en sistemas de generación autónomos, los cuales son recomendados en regiones donde conectarse a la red eléctrica es muy difícil y costoso. Los inversores off-grid recuperan la energía directamente de las baterías para su conversión en CA. Además, los inversores off-grid no están diseñados para sincronizarse con la red eléctrica. (Solarama, 2023).

Dentro de los inversores fotovoltaicos de conexión aislada hay que hacer una distinción entre los diferentes voltajes. Entre los diferentes tipos de inversores fotovoltaicos de conexión aislada encontramos inversores que trabajan con diferentes voltajes (12V, 24V, 48V). (Auto Solar, s.f.)

24 En los Inversores híbridos, se tienen todas las funcionalidades de los inversores de conexión a red, pero, además, podremos contar con baterías para almacenar los excedentes de producción y poder usarlos en otro momento. (Auto Solar, s.f.).

Los inversores también se diferencian por el tipo de onda, estas son: onda cuadrada, onda sinusoidal pura y onda sinusoidal modificada.

De acuerdo con (Electricity & Magnetism), define el inversor de onda sinusoidal pura y el inversor de onda sinusoidal modificada como:

Un Inversor de Onda Sinusoidal Pura es un dispositivo electrónico que convierte la corriente continua (DC) en corriente alterna (AC) con una forma de onda sinusoidal. Esta onda sinusoidal pura es esencialmente la misma calidad de energía eléctrica que recibimos de la red eléctrica. Las ondas sinusoidales son ideales porque la mayoría de los dispositivos eléctricos están diseñados para operar con este tipo de corriente. Estos inversores garantizan una operación eficiente y segura de los equipos. (Electricity & Magnetism,s,f).

Un inversor de onda sinusoidal modificada convierte la corriente continua (CC) en corriente alterna (CA) utilizando una forma de onda que es una aproximación de la onda sinusoidal pura. A diferencia de la onda sinusoidal pura, la onda modificada tiene una forma escalonada y presenta cambios abruptos en la tensión. Esto hace que el inversor sea más económico y simple en comparación con su contraparte de onda sinusoidal pura.(Electricity & Magnetism,s,f).

Los inversores de onda cuadrada son los más simples y menos costosos, pero la corriente alterna que producen no es tan suave como la de los inversores de onda senoidal pura. Por lo tanto, no son adecuados para dispositivos sensibles. (Electricity & Magnetism,s,f).

#### **4.3.4.5 Elementos de protección del circuito**

“Los elementos de protección como interruptores de desconexión, diodos de bloqueo, etc., dispuestos entre diferentes elementos del sistema, se encargan de proteger la descarga y derivación de elementos en caso de falla o situaciones de sobrecarga”. (ECA, Instituto de Tecnología y Formación et al., 2007, p. 38).

En sistemas solares fotovoltaicos además de los equipos antes mencionados, es muy importante el uso de protecciones eléctricas para lo cual la página de (Solorama, 2023) menciona 7 protecciones para sistemas fotovoltaicos que se pueden considerar.

**Fusibles de protección fotovoltaica:** Se usan en instalaciones fotovoltaicas con más de 4 series de paneles conectados en paralelo para proteger el cableado en caso de sobretensiones y suprimir cortocircuitos. Además, los fusibles pueden aislar una serie defectuosa, permitiendo que el resto del sistema siga generando energía. En estos casos, se deben instalar un fusible en cada polo de la serie.

**Interruptor termomagnético:** Diseñado para proteger el circuito en contra de sobrecorrientes generadas en los circuitos de CD entre los paneles solares y los inversores de interconexión. Al mismo tiempo, los interruptores termomagnéticos permiten también seccionar el polo positivo y negativo del sistema.

**Cajas combinadoras:** Una caja combinadora es un dispositivo que permite unir dos o más cadenas de paneles fotovoltaicos, permitiendo simplificar el cableado y así mejorar las operaciones de mantenimiento y la confiabilidad de la instalación. Las cajas combinadoras incluyen un interruptor desconector de CD, fusibles diseñados para aplicaciones fotovoltaicas y protección contra picos de sobretensión. Por lo tanto, si se desea instalar una caja combinadora, no será necesario instalar componentes adicionales que ya vienen incluidos.

**Supresores de picos:** Tipo de dispositivos que protegen a los componentes eléctricos de un sistema eléctrico en contra de perturbaciones o variaciones de voltaje. En especial, los supresores de picos están diseñados para operar con el impacto de un rayo durante una tormenta eléctrica o en escenarios comunes en una red eléctrica.

**Puesta a tierra:** Un tipo de conexión entre los componentes eléctricos del sistema con un punto no energizado de la tierra. Las puestas a tierra redirigen altos flujos de voltaje impuestos al sistema y sus componentes por una sobretensión generada por descargas atmosféricas o por permutaciones en la red. **Interruptores automáticos:** Se encargan de proteger las instalaciones de distribución de energía de la red eléctrica de daños generados por cortocircuitos y sobrecargas. Se puede usar para aislar al sistema fotovoltaico en caso de ser necesario.

**Interruptores de falla por arco:** Este es un tipo especial de interruptor el cual está diseñado para lidiar con la formación de arcos eléctricos no deseados. Los arcos eléctricos se forman cuando se ioniza el gas, en este caso, el aire entre dos electrodos, lo cual permite la formación de un arco de plasma. Estos equipos también están equipados con un sistema de campo magnético, el cual extingue los arcos magnéticos que se puedan formar en los conductores del sistema fotovoltaico. (Solorama, 2023).

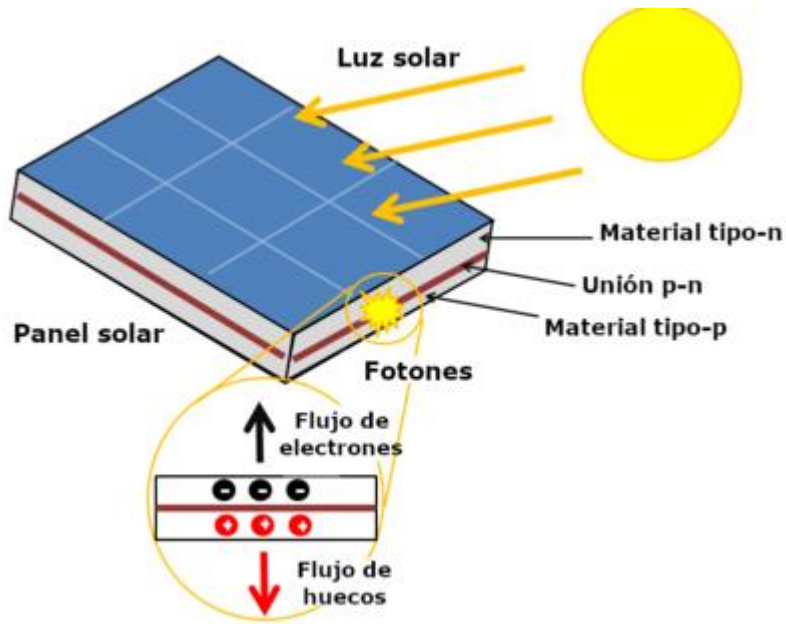
Independiente de la fuente de generación que se esté utilizando, como en este caso los sistemas solares fotovoltaicos "On Grid" y "Off Grid", es necesario cumplir con la normatividad vigente en nuestro País, como Retie, Código Eléctrico Colombiano, CREG (Comisión de Regulación de Energía y Gas), Norma Técnica Colombiana NTC 2050 (Sección 690 y 240) y demás normas expedidas por los organismos competentes.

#### **4.4 Efecto fotovoltaico**

*Ilustración 5*

*EFECTO FOTOVOLTAICO*





Fuente: figura tomada de Electricity & Magnetism, s.f.,

### Conexión Serie de Placas Solares

Se conectan placas solares en serie para sumar tensiones. La corriente se mantiene igual.

**V<sub>mp</sub>** es el voltaje de trabajo a máxima potencia de una placa solar. Se utiliza para calcular el voltaje de trabajo de las placas solares.

**I<sub>mp</sub>** es la corriente de trabajo a máxima potencia de una placa solar. Se utiliza para calcular la corriente de carga de las placas solares.

**V<sub>oc</sub>** es el voltaje de circuito abierto. Se utiliza para calcular el máximo voltaje que puede alcanzar una placa solar.

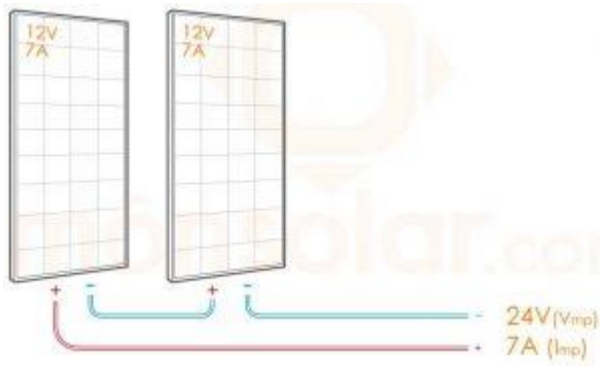
**I<sub>sc</sub>** es la corriente de cortocircuito. Es la máxima corriente que puede alcanzar una placa solar.

Para conectar 2 placas solares en serie se debe:

- Llevar el cable + de la placa 1 al terminal + del regulador solar
- Conectar el cable – de la placa 1 con el cable + de la placa 2
- Llevar el cable – de la placa 2 al terminal – del regulador solar

## Ilustración 6

### CONEXIONES PLACAS SOLARES EN SERIE



Fuente: Figura tomada de(Insa, 2017)

Si las placas se conectan en serie: (se suman las tensiones y la corriente se mantiene), un claro ejemplo es el siguiente:

**V<sub>mpp</sub>**:  $18,50V \times 2 = 37V$

**I<sub>mpp</sub>**: 1,08A

**Potencia total**:  $V_{mpp}: 37V \times I_{mpp}: 1,08A = 39,96Wp$

### Conexión Paralelo de Placas Solares

Se conectan placas solares en paralelo para aumentar la corriente del conjunto. El voltaje se mantiene igual.

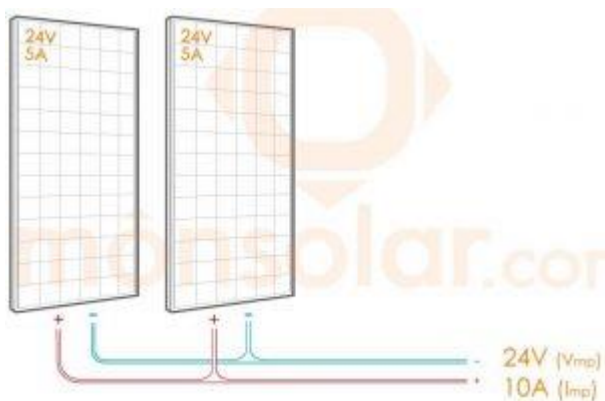
**Voltaje** = Tensión. Se mide en Voltios (V)

**Corriente** = Intensidad. Se mide en Amperios (A)

Para conectar 2 placas solares en paralelo

Ilustración 7

*CONEXIÓN PLACAS SOLARES EN PARALELO*



Fuente. Figura tomada de (Insa, 2017)

- Se conecta el cable + de la placa 1 con el cable + de la placa 2. Y la unión va al terminal + del regulador solar.
- Se conecta el cable – de la placa 1 con el cable – de la placa 2. La unión se lleva al terminal – del regulador o controlador de carga.

Si las placas se conectan en paralelo: (se suman las corrientes y la tensión se mantiene), un claro ejemplo es el siguiente.

**I<sub>mpp</sub>**:  $1,08A \times 2 = 2,16A$

**V<sub>mpp</sub>**: 18,50V

**Potencia total**:  $V_{mpp}: 18,50V \times I_{mpp}: 2,16A = 39,96Wp$

**Conexión Serie-Paralelo de Placas Solares**

La conexión serie-paralelo de placas solares es la más habitual en instalaciones de media-alta potencia con utilización de reguladores solares MPPT.

Lo primero que se debe saber es que:

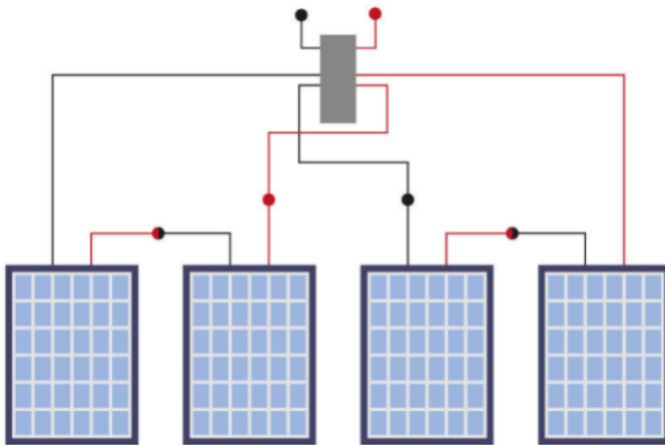
Se conectan placas solares en serie-paralelo para aumentar tanto la corriente como el voltaje del conjunto.

Para conectar 4 placas solares en 2 serie y 2 paralelo

- Conectar el grupo 1 de placas solares en serie Conectar el cable – de la placa 1 con el cable + de la placa 2
- Conectar el grupo 2 de placas solares en serie Conectar el cable – de la placa 3 con el cable + de la placa 4
- Conectar el grupo 1 y grupo 2 en paralelo

Ilustración 8

*CONEXIÓN SERIE-PARALELO*



Nota: Figura tomada de (ECOsistemas, s.f.)

La corriente del conjunto es la suma de la corriente  $I_{mp}$  de cada placa conectada en paralelo:

$$1,08A + 1,08A = 2,16A$$

El voltaje del conjunto será la suma del voltaje  $V_{mp}$  de cada placa solar conectada en serie:

$$18,50V + 18,50V = 37V$$

## 5. Descripción técnica del proyecto

En este proyecto se presenta un prototipo que logra los objetivos planteados, mediante la construcción de un módulo de simulación de paneles fotovoltaicos, que permita comprender el comportamiento de las principales variables eléctricas como corriente, voltaje, potencia, así mismo, analizar las características de variables mecánicas y realizar cálculos de rendimiento y producción energética en un sistema solar fotovoltaico con sus sistemas de conexión.

Como parte del análisis realizado del sistema solar fotovoltaico, se toma referencia de la información presentada por (Auto Solar, s.f.).

Se pueden realizar las siguientes tipos de conexiones :

**Conexión entre paneles solares:** Esta conexión es obligatoria como en cualesquiera otros sistemas solares fotovoltaicos y se deben de respetar las potencias y calcular el número con base en los consumos realizados. (Auto Solar, s.f.).

**Conexión en serie de baterías:** La conexión en serie de las baterías se realiza uniendo el polo positivo de un elemento con el negativo del siguiente. De esta forma, aumentaremos el voltaje del sistema mientras que los amperios se mantendrán iguales.(Auto Solar, s.f.).

**Conexión serie de paneles solares:** La conexión en serie de paneles solares se realiza de la misma forma que la conexión en serie de las baterías. Se debe unir el polo positivo del panel con el polo negativo del otro panel, de esta forma, duplicaremos el voltaje y mantenemos el amperaje.(Auto Solar, s.f.).

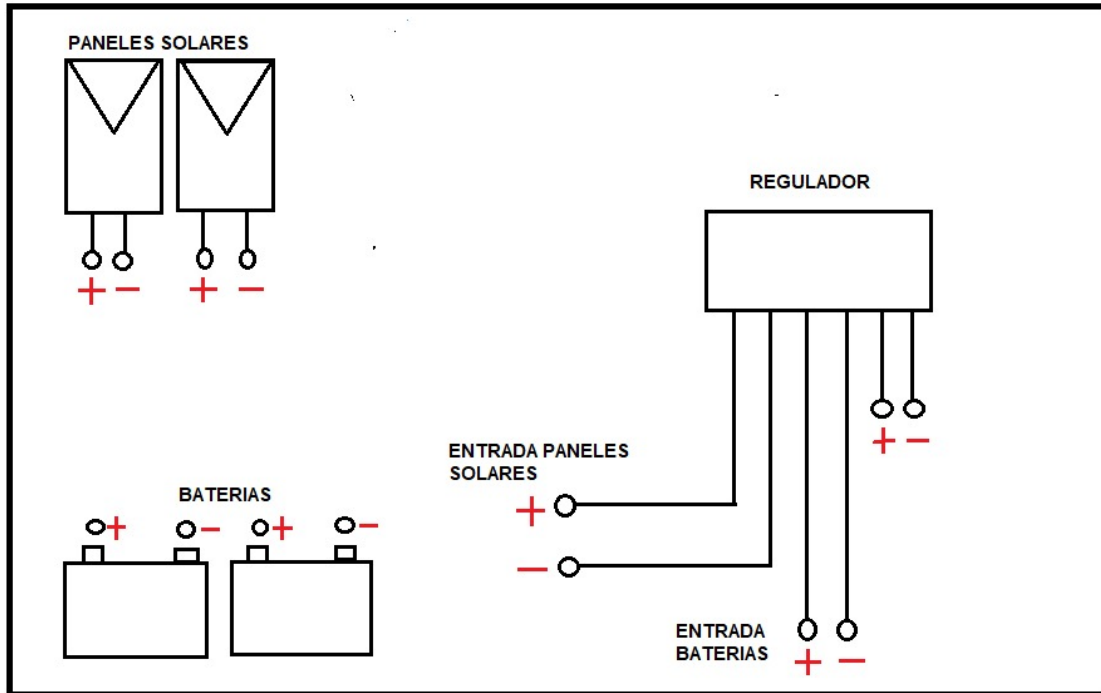
**Conexión en paralelo de paneles solares:** Para la conexión en paralelo tomaremos los cables positivos de todos los paneles y los conectaremos en una barra del embarrado que designemos a los polos positivos. Conectando paneles en paralelo mantendremos la tensión (V) de un solo panel para todo el conjunto y sumaremos la intensidad(A) de cada panel para obtener la del grupo de paneles.(Auto Solar, s.f.).

**Conexión en paralelo de baterías:** La conexión de baterías en paralelo se hace uniendo todos los positivos por un lado y todos los negativos por otro, de esta manera se mantiene la tensión y se incrementa la intensidad, es decir, equivale a incrementar la capacidad o la energía acumulada.(Auto Solar, s.f.).

A continuación se muestra un diagrama con el esquema de cómo se entregaría el módulo junto con todos sus componentes, tales como el regulador, los paneles solares y las baterías. En el esquema se muestra la ubicación de los paneles y las baterías, donde se podrán realizar las conexiones en serie-paralelo y conectar al regulador, el cual controla la intensidad y el voltaje que recibe, con el objetivo de que la recarga sea en condiciones óptimas y no dañe las baterías. Todas las conexiones se realizarán por medio de cables con conectores tipo banana utilizando unas guías ya planteadas, con el paso a paso de cómo se realizará y conectarán los cables.

#### **Ilustración 9**

#### ***ESQUEMA COMPONENTES DEL MÓDULO***



Fuente: elaboración propia

## 6. Resultados de la propuesta

El resultado de este proyecto de trabajo de grado es implementar un módulo de simulación de sistemas serie-paralelo de paneles fotovoltaicos para el cálculo de variables eléctricas, mediante la construcción de un banco de pruebas y prácticas. Así mismo, se entrega una guías prácticas que sirvan de orientación tanto a estudiantes como docentes al interactuar en el módulo.

Con la construcción del sistema solar fotovoltaico y la incorporación al módulo de simulación de aprendizaje, el estudiante puede las pruebas considerando las diferentes configuraciones de conexión serie, paralelo y mixta; además de permitir identificar y comprender las diferencias del funcionamiento del sistema solar fotovoltaico aislado con autoconsumo o con batería. De igual

manera, el módulo debe ser capaz de calcular las variables eléctricas de la potencia, el voltaje, la corriente, la eficiencia, entre otros

Las guías prácticas propuestas para la interacción de los estudiantes con el módulo están basadas en los resultados obtenidos. El conocimiento adquirido en medio de la investigación realizada para el desarrollo del proyecto permite tener mejor criterio de análisis de los resultados recopilados. Teniendo en cuenta esto, se entregan las guías claras y concisas donde se estructuran todos los pasos necesarios para realizar la conexión de manera segura y eficiente de acuerdo con la funcionalidad esperada del módulo, los tipos de conexión serie, paralelo y serie-paralelo.

El principal resultado esperado es ,es aportar en la la formación de los estudiantes de de la Institución Universitaria Pascual Bravo en el área de las energías renovables y generar interés de la comunidad académica de la Institución motiven a participar y conocer de las energías renovables y apostar por el crecimiento y competitividad de la institución al incluir dentro de sus formación las energías renovables como programa base y no como una opción de elección.

## **6.1 Diseño y cálculo del módulo de simulación fotovoltaico**

### **6.1.1 Cálculo paneles solares**

Es importante tener en cuenta que este sistema se utilizará para llevar a cabo prácticas en las asignaturas de ingeniería eléctrica, con especial énfasis en la rama de energías renovables. El objetivo es que los usuarios puedan identificar los componentes del banco en un entorno controlado. Por lo tanto, se han seleccionado unos paneles con una potencia de 10W, considerada suficiente para demostrar el funcionamiento de estas instalaciones fotovoltaicas de manera segura



y para que los usuarios puedan adquirir conocimientos experimentales sobre este sistema de generación de energía.

### 6.1.2 Cálculo del regulador.

Tabajas (2020) define cómo se utiliza el regulador en los sistemas solares fotovoltaicos de la siguiente manera:

El cálculo del regulador a utilizar en un sistema solar fotovoltaico dependerá del número de módulos solares y del tamaño de las baterías, normalmente los fabricantes proporcionan unos datos y unas prestaciones, partiendo de ellas se debe calcular el regulador o reguladores necesarios para que la instalación tenga el resultado esperado. El relé que interrumpe o permite el paso de corriente de los módulos a la batería deberá soportar la siguiente intensidad:

Ecuación 1, Corriente regulador  $I_{regulador}$  (Trabajos, 2020, 21)

$$I_{regulador} = N^{\circ}módulos\ paralelo * Intensidad\ módulo$$

$$I_{regulador} = 2 * 0,55 A = 1,1A$$

$$V_{regulador} = N^{\circ}módulos\ paralelo * tensión\ módulo$$

$$V_{regulador} = 2 * 12V = 24V$$

El regulador deberá manejar una corriente mínima de 1,1 A si se encuentra conectado en serie y regular una tensión de 24V si se encuentra conectado en paralelo. Siempre es recomendable instalar un dispositivo que pueda manejar una corriente más alta, como uno de 10A en este caso específico, esto se hace por razones de seguridad operativa.

### 6.1.3 Cálculo de las baterías del sistema fotovoltaico.

Para poder calcular el tipo de baterías que debe de llevar el módulo solar se empieza realizando el cuadro de cargas, el cual es el resumen de potencias y cantidades de los elementos a utilizar. A continuación se presenta el cuadro de cargas.

Tabla 1

*CUADRO DE CARGAS*

<b>ELEMENTOS</b>	<b>CANTIDAD</b>	<b>CONSUMO(W)</b>	<b>HORAS DIARIAS</b>	<b>CONSUMO DIARIO (Wh)</b>
BOMBILLA LED	4	10	3	40

Fuente: Elaboración propia

Para el cálculo de las baterías se debe tener en cuenta las siguientes ecuaciones:

La cantidad de pérdidas en la batería, su valor se obtiene de la siguiente ecuación:

Ecuación 2, Rendimiento global ( $R_G$ ) (Tabojas, 2020, 61 )

$$R_G = (1 - K_b - K_c - K_v) * 1\left(\frac{K_a * N}{P_d}\right)$$

donde,

$K_b$  = Coeficiente de pérdidas por rendimiento en el acumulador. Este coeficiente de pérdida es debido al rendimiento de la batería y su valor está comprendido entre 5 y 10%, esta variación es proporcional a la antigüedad de la batería. (Taboñas, 2020, 61)

$K_c$  = Coeficiente de pérdidas supuestas al convertidor. si todo el sistema va conectado al convertidor tendrá un valor si no lo tiene será igual a 0. ( Taboñas, 2020, 61)

$K_v$  = Coeficiente que agrupa todas las pérdidas por el efecto joule. Este coeficiente agrupa cualquier pérdida que haya en el circuito eléctrico y que no se haya contabilizado anteriormente, como son cables, conexiones, suele ser del 10%. ( Taboñas, 2020, 21)

$N$  = Dias de autonomia

$P_d$  = Profundidad de descarga admisible

A continuación, se establecen los valores requeridos para los coeficientes para la ecuación 2.

donde:

$$K_a = 2 \cdot 10^{-3} / \text{dia} = 0,002 / \text{dia}$$

$$K_b = 5\% = 0,05$$

$$K_c = 0, \text{ No hay inversor}$$

$$K_v = 10\% = 0,10$$

$$N = 2, \text{ Se consideró con 2 dias de autonomia}$$

$$P_d = 50\% = 0,5$$

$$R_G = (1 - 0,05 - 0 - 0,10) * (1 - \frac{0,002 * 2}{0,5}) = 0,8432$$

Ecuación 3. Energía necesaria (E) (Taboñas, 2020, 62)

$$E = \frac{CT}{V}$$

donde,

CT = Consumo máximo

V = Tensión de funcionamiento

El consumo máximo (CT) es de 40 Wh/día. La tensión de funcionamiento será de 12V.

$$E = \frac{CT}{V} = \frac{40}{12} = 3,33Ah/dia$$

Ecuación 4, Energía total ( $E_T$ ) (Taboñas, 2020, 62)

$$E_T = \frac{E}{R_G}$$

donde,

E = Energía necesaria

$R_G$  = Rendimiento global

$$E_T = \frac{E}{R_G} = \frac{3,33Ah/dia}{0,8432} = 3,94 Ah/dia$$

La energía que se va a necesitar a lo largo del día teniendo en cuenta las pérdidas que existen en la instalación cuantificada en el rendimiento global ( $R_G$ )

Ecuación 5, Capacidad de batería (C) (Taboñas, 2020, 61)

$$C = \frac{E_T}{R_G}$$

donde,

$E_T$  = Energía total

$R_G$  = Rendimiento global

$$C = \frac{E_T}{R_G} = \frac{3,94Ah/dia}{0.8432} = 4,67 Ah/dia$$

La capacidad, en Ah/día, que es preciso producir diariamente multiplicada por el numero de días de autonomia (N)

Ecuación 6, Capacidad útil de la batería ( $C_u$ ) (Tabojas, 2020, 61)

$$C_u = C * N$$

donde,

N = Días de autonomía

C = Capacidad de batería

$$C_u = C * N = 4,67 * 2 = 9,34 Ah$$

La capacidad que nos ofrece el fabricante en sus características, y es igual al cociente de la capacidad útil ( $C_u$ ) y la profundidad máxima de descarga ( $P_d$ )

Ecuación 7, Capacidad nominal ( $C_N$ ) (Tabojas, 2020, 61)

$$C_N = \frac{C_u}{P_d}$$

donde,

$C_u$  = Capacidad útil de la batería

$P_d$  = Profundidad de descarga

$$C_N = \frac{C_u}{P_d} = \frac{9,34}{0,5} = 18,68 \text{ Ah}$$

#### **6.1.4 Dimensionamiento del panel.**

Como se mencionó previamente, el sistema está diseñado para una potencia de 10W para alimentar el sistema fotovoltaico, se adquirirán dos paneles de 10 W cada uno. Al seleccionar el panel, se considerarán los siguientes conceptos importantes.

##### **6.1.4.1 Voltaje en máxima potencia (Vmp).**

El VMP es el Voltaje en Máxima Potencia, es decir, significa el voltaje que generará la placa solar cuando esté funcionando al máximo de su rendimiento. El valor VMP irá en paralelo con el IMP. Ya que los dos ascenderán o bajarán según la cantidad de radiación solar que reciba el panel fotovoltaico.(Damia Solar, 2024)

##### **6.1.4.2 Intensidad en máxima potencia (Imp).**

El IMP significa la Intensidad en Máxima Potencia, es decir, la corriente eléctrica que producirá un funcionamiento perfecto con el sol incidiendo de forma perpendicular por encima de la superficie de la placa. A lo largo del día la intensidad de corriente variará ya que los rayos del sol no incidirán con el mejor ángulo hasta el mediodía. Durante la mañana la capacidad de generar energía será menor pero irá en aumento hasta las horas centrales del día. Por la tarde, el panel realizará la acción inversa hasta dejar de producir electricidad cuando sea de noche.(Damia Solar, 2024)

##### **6.1.4.3 Corriente a corto circuito (Isc)**

El ISC se refiere a la Intensidad por Corto-Circuito, y será la corriente máxima que producirá el panel en una situación de anomalía de funcionamiento del panel cuando exista un cortocircuito. Este valor se suele utilizar para determinar el tamaño de cable de la instalación, así como para

dimensionar a medida las protecciones y los fusibles de esta parte de la instalación solar. (Damia Solar, 2024)

#### 6.1.4.4 Voltaje en circuito abierto (Voc)

Es la tensión de salida cuando no hay ninguna carga.

Tabla 2

##### *ELEMENTOS PARA LA CONSTRUCCIÓN DEL MÓDULO*

<b>ELEMENTOS</b>	<b>CANTIDAD</b>
Panel solar 10W	2
Regulador de carga	1
Bateria 7V/9Ah	2
Conectores tipo banana hembra de 4mm	16
Cables conductores	12m

Fuente: Elaboración propia

## 6.2 Selección de los elementos para el módulo solar fotovoltaico

### 6.2.1 Cotización y selección de proveedores.

Después de realizar una investigación exhaustiva de los elementos a utilizar en la elaboración del módulo de simulación para sistemas serie-paralelo de paneles solares fotovoltaicos y baterías, con el fin de identificar el comportamiento de las variables eléctricas, se realizaron varias cotizaciones con empresas encargadas de vender y distribuir los componentes de energía solar.

Se realizó la cotización y compra de los elementos con la empresa Didácticas Electrónicas, una empresa comercializadora especializada en productos innovadores en el sector electrónico. Estos elementos fueron los paneles solares, el regulador y baterías.

## **6.2.2 Selección de elementos por parte del proveedor.**

### **6.2.2.1 Paneles solares.**

Se han seleccionado dos paneles solar policristalino de 10 Watts cada uno, con eficiencia de cada celda del 15.72%. Vidrio templado, resina EVA, película a prueba de agua y estructura en aluminio. El cual se ilustra en la figura 1.

**Ilustración 10**

***IMAGEN PANEL SOLAR***



Fuente: Autores

El panel solar cuenta con las siguientes características.



Tabla 3

*CARACTERÍSTICAS PANEL SOLAR*

<b>TIPO</b>	<b>INFORMACIÓN</b>
Potencia máxima	10W
Voltaje a Pmax (Vmp)	18.37V
Tolerancia (Tol)	0-+3%
Corriente en Pmax (Imp)	0.55A
Voltaje de circuito abierto (Voc)	22.05V
Corriente de circuito corto (Isc)	0.58A
Temperatura nominal de la celda de funcionamiento (NOCT)	47.2°C
Voltaje máximo del sistema	1000VDC
Clasificación máxima del fusible en serie	15A
Temperatura de funcionamiento	-40 Cto+85 C
Clase de aplicación	Clase A
Tecnología celular	Poly-si
peso	1.2Kg
Dimensiones	245X350X17mm

Fuente: Elaboración propia

**6.2.2.2 Regulador de carga.**

Se ha seleccionado un controlador solar de 10A con pantalla LCD y 2 salidas USB. El cual se ilustra en la figura 2.

**Ilustración 11**

*IMAGEN REGULADOR DE CARGA*



Fuente: Autores

El regulador de carga cuenta con las siguientes características.

**Tabla 4**

*CARACTERÍSTICAS REGULADOR DE CARGA*

<b>TIPO</b>	<b>INFORMACIÓN</b>
Voltaje de carga	12V/24V
Capacidad	10A
Temperatura de funcionamiento	-35-+60 C
Voltaje máximo de PV	50V

Voltaje de protección de sobrecarga	14.4V ó 27.4V
Voltaje de Swicheo	11.8V o 23.6V
Potencia de entrada máxima de PV	130W(12V)260W(24V)

Fuente: Elaboración propia

### 6.2.2.3 Batería.

Se ha seleccionado una batería recargable de 12V / 9.0Ah. la cual se ilustra en la figura 3.

Ilustración 12

*IMAGEN DE LA BATERÍA*



Fuente: Autores

La batería cuenta con las siguientes características.

Tabla 5

*CARACTERÍSTICAS DE LA BATERÍA*

TIPO	INFORMACIÓN
Voltaje nominal	12V

Capacidad	9.0Ah
Composición	AGM
Dimensiones	15.1cm x 6.5cm x 9.4cm
Temperatura de operación	- 15°C ~ 50°C
Peso aproximado	2.35Kg

Fuente: Elaboración propia

### **6.3 Diseño del módulo de simulación de pruebas de acuerdo a las dimensiones de los componentes.**

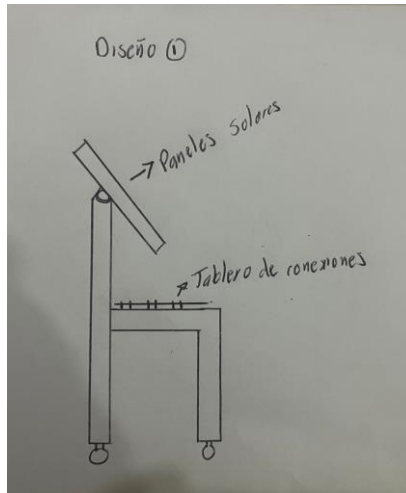
#### **6.3.1 Elaboración y diseño del módulo.**

Para poder realizar el diseño del módulo, se comenzó a planificar varios diseños acorde a las dimensiones de los paneles solares y que pueda transportarse con facilidad por las diferentes áreas de la universidad donde se deseen llevar a cabo prácticas, ensayos y brindar información sobre la energía solar, lo cual es uno de los problemas que se busca solucionar con el módulo actuante que dispone la universidad.

Se realizaron varios diseños en papel de cómo se va a elaborar el módulo, eligiendo únicamente aquel que sea más adecuado para abordar los problemas que se desean solucionar con el módulo actual que posee la institución. A continuación se muestran los diferentes tipos de diseños que se plantearon.

#### **Ilustración 13**

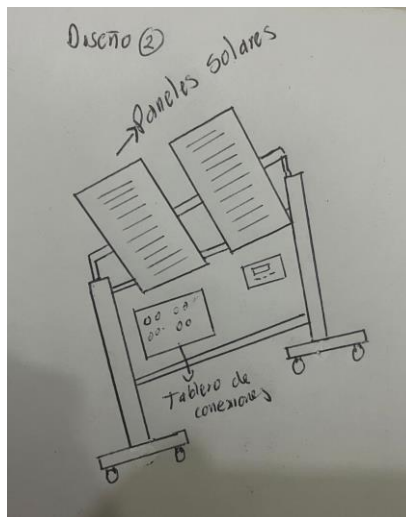
#### ***DISEÑO 1 DEL MÓDULO***



Fuente: Elaboración propia

Ilustración 14

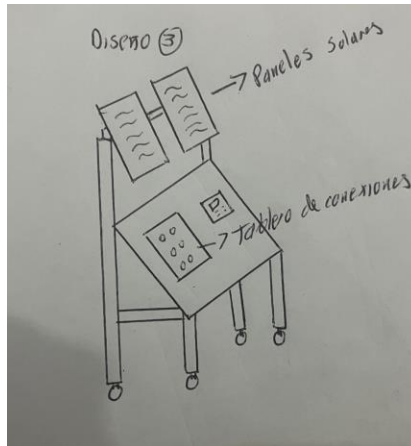
*DISEÑO 2 DEL MÓDULO*



Fuente: Elaboración propia

Ilustración 15

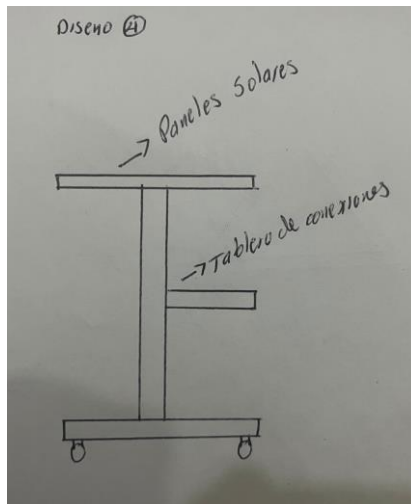
*DISEÑO 3 DEL MÓDULO*



Fuente: Elaboración propia

Ilustración 16

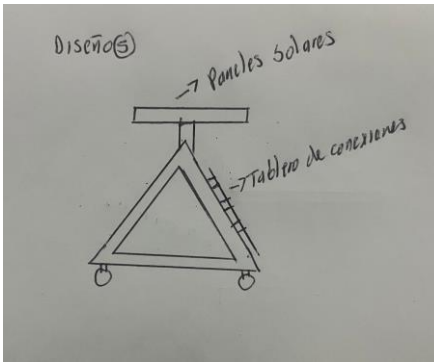
*DISEÑO 4 DEL MÓDULO*



Fuente: Elaboración propia

Ilustración 17

*DISEÑO 5 DEL MÓDULO*

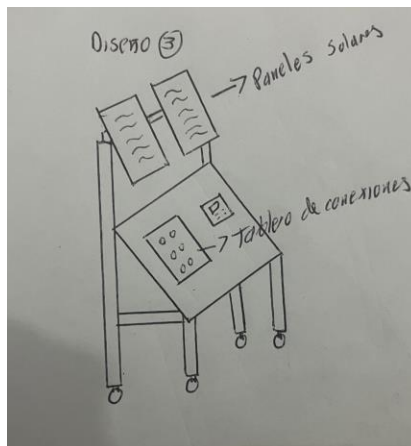


Fuente: Elaboración propia

Para la selección del diseño, se evaluaron los requisitos y problemas que se deseaban solucionar de acuerdo al módulo ya existente en la institución. Se llegó a la conclusión de seleccionar el diseño del módulo 3 de los ya planteados. Se tomó esta decisión al ser un módulo mucho más compacto y de menor tamaño que el actual, lo que permite una interacción más fácil por parte de los estudiantes. Además, cumple con el propósito de realizar prácticas de conexiones en serie y paralelo, así como de brindar información sobre la energía solar. A continuación se muestra el diseño elegido.

Ilustración 18

#### *DISEÑO ESTRUCTURA DEL MÓDULO*



Fuente: Elaboración propia

### **6.3.2 Inicio de la construcción del módulo.**

Con la estructura definida para la construcción del módulo, se procede a llevar a cabo la construcción utilizando los materiales necesarios. Para la base, se utiliza tubería de aluminio, lo que proporciona un mejor soporte y resistencia a los equipos. Como se muestra a continuación.

*Ilustración 19*

*DISEÑO ESTRUCTURA DEL MÓDULO*



Fuente: Elaboración propia

Para la base en la que se realizarán las diferentes conexiones se utilizó un acrílico de color azul con dimensiones de 50 cm x 70 cm. En este acrílico se plasmaron en su superficie las imágenes de las baterías y los paneles solares, para facilitar la interpretación por parte del estudiante, como se muestra en la siguiente figura.



*Ilustración 20*

**DISEÑO ACRÍLICO**



Fuente: Elaboración propia

Para asegurar las posiciones de inclinación de los paneles solares y permitir que estos puedan girar a la posición deseada, se utilizó un sistema de fijación que consistió en taladrar el soporte de los paneles e instalarlos sobre un tubo de aluminio con dos brazos en sus extremos, sujetándolos en la parte superior del módulo. Como se observa en la ilustración 16.

*Ilustración 21*

**SOPORTE PANELES SOLARES**



Fuente: Elaboración propia

Para asegurar las baterías sobre el módulo, se instaló una pequeña base de madera en una esquina en la parte media del módulo, utilizando agarraderas plásticas y cinta 3M, que tiene adhesivo en ambas caras, esto permite fijar las baterías sobre esta base y evitar que se muevan durante el transporte del módulo. En la siguiente imagen se observa el proceso de instalación.

*Ilustración 22*

#### **SOPORTE BATERIAS**



Fuente: Elaboración propia

Después de asegurar el soporte de los paneles solares y baterías, se procede a fijar el acrílico sobre la parte superior del módulo. Para esto se utilizó cinta 3M, que tiene adhesivo en ambas caras, permitiendo fijar el acrílico sobre la base de los tubos de aluminio. Por último, se realizan las conexiones del módulo, de los paneles solares y de las baterías al acrílico utilizando cable #16 y conectores tipo banana de 4 mm, que se encuentran sujetos sobre el acrílico. En la siguiente imagen se observa el resultado final del módulo.

*Ilustración 23*

#### *DISEÑO Y ESTRUCTURA FINAL DEL MÓDULO*



Fuente: Elaboración propia

Por último, se procede a realizar las pruebas y conexiones en serie y paralelo en el módulo, utilizando cables con conectores tipo banana y un multímetro. Para esta prueba se emplearon las

guías planteadas en el proyecto. La prueba fue de vital importancia porque permitió comprobar el correcto funcionamiento del módulo y los equipos empleados. En la siguiente imagen se puede apreciar la realización de las pruebas.

*Ilustración 24*

#### **PRUEBAS DEL FUNCIONAMIENTO DEL MÓDULO**



Fuente: Elaboración propia

## **6. Metodología**

### **7.**

#### **7.1 Tipo de proyecto**

Este proyecto se trata del desarrollo de un producto o prototipo, que consiste en un módulo de simulación de sistemas serie-paralelo de paneles fotovoltaicos, para el desarrollo de prácticas de laboratorio del programa de energías alternativas que ofrece la Institución Universitaria Pascual Bravo. Por la metodología utilizada se puede decir que la investigación se realiza bajo el modelo

de tipo de proyecto descriptivo ,ya que permiten analizar cómo es y la forma en que se manifiesta un fenómeno y sus componentes. Permiten detallar el fenómeno estudiado básicamente a través de la medición de uno o más de sus atributos.

## **7.2 Método**

El método de investigación es inductivo porque hace parte de un caso particular de la industria, lo cual define el objetivo de este trabajo “Crear un módulo” definiendo una serie de pasos de definir, diseñar y realizar pruebas de ensayo para cumplir el objetivo de este trabajo

El primer objetivo específico consiste en la construcción del módulo de simulación para sistemas serie-paralelo de paneles fotovoltaicos con el fin de calcular variables eléctricas y comprender la diferencia según la conexión realizada. Esto incluye la creación de un subproducto fundamental, el propio módulo de simulación. Para alcanzar este objetivo, se llevarán a cabo las siguientes actividades: En primer lugar, se llevará a cabo la caracterización del sistema serie-paralelo de paneles fotovoltaicos y baterías. Esto implica investigar las tecnologías y estándares relacionados con la energía solar, así como identificar los componentes necesarios para el sistema, como paneles fotovoltaicos, baterías y reguladores. Además, se recopilaron las especificaciones técnicas de cada elemento. En segundo lugar, se procederá al diseño del módulo de simulación, lo que conlleva definir la distribución y el posicionamiento de los elementos, así como la disposición de los puntos de conexión. Para garantizar la precisión y la facilidad de uso, se utilizarán las herramientas adecuadas. En tercer lugar, se llevará a cabo la construcción del módulo de simulación utilizando los materiales y elementos seleccionados. Por último, se verificará el correcto funcionamiento del módulo a través de pruebas que confirmen su operatividad y su cumplimiento de los requisitos establecidos.

El segundo objetivo específico se enfoca en la creación de guías prácticas para conectar sistemas de paneles solares fotovoltaicos y baterías en configuraciones tanto en serie como paralelo, así como en una conexión mixta. Se generarán tres subproductos en este caso: una guía práctica para la conexión en serie, otra para la conexión en paralelo y una tercera para la conexión mixta. En un primer momento, se llevarán a cabo pruebas de conexión serie-paralelo en sistemas de paneles solares fotovoltaicos utilizando sólo baterías; seguidamente, se consolidarán los datos obtenidos de estas pruebas. En segundo momento se llevarán a cabo las pruebas de conexión serie-paralelo en sistemas de paneles solares fotovoltaicos utilizando la conexión a red; seguidamente, se consolidarán los datos obtenidos de estas pruebas. En tercer lugar, se analizarán los comportamientos de las variables eléctricas, como la tensión, la corriente y la potencia, en diversas condiciones de conexión y finalmente, se desarrollarán guías prácticas propuesta para implementación en los laboratorios de la Institución Universitaria Pascual Bravo basadas en la experiencia de las pruebas y el análisis de resultados.

### **7.3 Instrumentos de recolección de información.**

#### **7.3.1. Fuentes primarias.**

Se realizó consulta a docentes para conocer un poco del módulo existente en la institución y a partir de este proponer un nuevo módulo con una funcionalidad diferenciadora que permitiera aportar nuevas experiencias a los estudiantes. Teniendo claro el producto a entregar se realizó consulta en la biblioteca de la Institución Universitaria Pascual Bravo tanto física como virtual y sitios web, donde se seleccionaron tres libros como fuentes primarias para la definición de los

diferentes conceptos enmarcados dentro de las energías renovables y los sistemas solares fotovoltaicos.

### **7.3.2. Fuentes secundarias.**

Se consultó en revistas, libros, folletos, trabajos de grado y videos para profundización de conceptos y orientación de funcionalidad y resultados.

## **8. Recursos**

### **8.1 Humanos**

El trabajo de grado titulado "Implementación de un módulo de simulación de sistemas serie-paralelo de paneles fotovoltaicos y baterías para el cálculo y análisis de variables eléctricas" contó con la participación de dos estudiantes del programa Tecnología Eléctrica de la Institución Universitaria Pascual Bravo, que sintieron inquietud por conocer un poco más de las energías alternativas, específicamente en la energía solar.

Teniendo en cuenta que la institución en el momento solo brinda este conocimiento en la opción de electivas, lo que limita el alcance para los estudiantes que desean profundizar en el área, se decide aportar a la ampliación de conocimientos y oportunidades en la institución y generar en los estudiantes motivación para explorar y aprender de estas energías que son el futuro inmediato de la transición energética y es un área de conocimiento transversal a otros programas que brinda la institución.

Los estudiantes participantes fueron:

- Alejandro Moncada Mesa

- Santiago Arenas Gomez

Tabla 6

*RECURSOS HUMANOS*

<b>Ítem</b>	<b>Descripción</b>	<b>Unidad</b>	<b>Cantida d</b>	<b>Recurso</b>	<b>Observación</b>
1	Asesor ingeniero electricista	semanas	16	Recursos de la Institución	Acompañamiento en parte técnica de la elaboración del proyecto
2	Asesor en investigación	semanas	16	Recursos de la Institución	parte metodológica del proyecto
3	Estudiante tecnología eléctrica - Alejandro Moncada Mesa	semanas	16	Recursos propios	Diseño y estructura del módulo del módulo
4	Estudiante tecnología eléctrica - Santiago Arenas Gomez	semanas	16	Recursos propios	Búsqueda de información en base de datos
<b>TOTAL</b>			<b>64</b>	<b>N/A</b>	<b>N/A</b>

Fuente: Elaboración propia



## 8.2 Técnicos

En el desarrollo del proyecto se requieren los componentes para un sistema fotovoltaico tales como: paneles, regulador, baterías, protecciones y demás accesorios, equipos de medida y estructura de soporte.

## 8.3 Presupuesto

Tabla 7

### *PRESUPUESTO DEL PROYECTO*

<b>Actividad</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Unidad</b>	<b>Humanos</b>	<b>Físicos</b>	<b>Subtotal</b>
Panel solar 10W	2	Unidad		97123	194246
Regulador de carga	1	Unidad		64600	64600
Batería 12V/9.0Ah	2	Unidad		75000	150000
Acrílico 50cm X 70cm	1	Unidad		90000	90000
Acrílico 25cm X 20cm	1	Unidad		8000	8000
Conector tipo banana hembra 4mm	12	Unidad		600	7200
Terminal tipo anillo aislada	12	Unidad		590	7080
Cable negro # 18	6	Metros		533	3198
Cable rojo # 18	6	Metros		533	3198
Tornillos autorroscantes 16mm	15	Unidad		600	9000
soldadura tubo de acero	1	Unidad	50000		50000
Construcción estructura	1	Unidad	30000		30000
Pintura estructura	1	Unidad	25000		25000
<b>TOTAL</b>			<b>105000</b>		<b>641522</b>

**Fuente: Elaboración propia**

## 9. Cronograma de actividades

Tabla 8

### *CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES DEL TRABAJO DE GRADO*

Actividad	Mes 1	Mes 2s	Mes 3
Elaboración y construcción de la guía del proyecto	x	x	x
Selección de componentes para el módulo		x	x
Diseño módulo de pruebas			x
Construcción módulo de pruebas			x
Elaboración de guías prácticas			x

Fuente: Elaboración propia

## 10. Referencias bibliográficas

Acciona. (2020). ¿Qué beneficios tiene la energía solar? | ACCIONA | Business as unusual. Recuperado el 18 de November de 2023, de Acciona: [https://www.acciona.com/es/energias-renovables/energia-solar/?\\_adin=02021864894](https://www.acciona.com/es/energias-renovables/energia-solar/?_adin=02021864894)

ANLA. (25 de septiembre de 2023). Noticias ANLA. Obtenido de La transición energética justa, un deber de país: <https://www.anla.gov.co/noticias-anla/la-transicion-energetica-justa-undeber-de-pai>

Auto Solar. (s.f.). AutoSolar. Obtenido de Inversores Fotovoltaicos: <https://autosolar.es/aspectos-tecnicos/que-tipos-de-inversores-fotovoltaicos-existen#:~:text=Los%20inversores%20fotovoltaicos%20se%20pueden,los%20inversores>

Auto Solar. (s.f.). Paneles Solares. Obtenido de <https://autosolar.co/aspectos-tecnicos/tipos-de-paneles-solares>

Didácticas Electrónicas. (s.f.). Energía Solar. Obtenido de <https://www.didacticaselectronicas.com/~didactic/index.php/energia-solar>

Electricity & Magnetism. (s.f.). Inversor de onda sinusoidal modificada. Obtenido de <https://www.electricity-magnetism.org/es/inversor-de-onda-sinusoidal-modificada/>

Enel Green Power. (2020). La energía solar. Obtenido de Enel Green Power: <https://www.enelgreenpower.com/es/learning-hub/energias-renovables/energia-solar>

Méndez Muñiz, J. M., & Cuervo García, R. (2007). Energía Solar Fotovoltaica (2º Edición ed.). Fundación Confemetal. Obtenido de <https://books.google.es/books?id=GZh1DGUQoOUC&printsec=frontcover&hl=es&sourc>

Perpiñán Lamigueiro, O. (2013). Energía Solar Fotovoltaica. LaTeX. Obtenido de <https://procomun.wordpress.com/documentos/libroesf/>

Portillo, G. (2023). Colectores solares: características, usos y funcionamiento. Obtenido de Renovables Verdes: <https://www.renovablesverdes.com/colectores-solares/>

RAE. (2022). energía alternativa (Tricentenario ed.). Asociación de Academias de la Lengua Española (ASALE). Obtenido de <https://dle.rae.es/energ%C3%ADa>

RAE. (2022). renovable (Tricentenario ed.). Asociación de Academias de la Lengua Española (ASALE). Obtenido de

<https://dle.rae.es/renovable?m=form>

Solarama. (2023). Solarama. Obtenido de <https://solarama.mx/blog/inversores-on-grid-y-offgrid/>

Solorama. (2023). Protecciones Eléctricas. Obtenido de <https://solarama.mx/blog/proteccioneselectricas-para-sistemas-fotovoltaicos>

Su¿Qué son las energías renovables? | Naciones Unidas. (n.d.). the United Nations. Retrieved May 10, 2024, from <https://www.un.org/es/climatechange/what-is-renewable-energy>

Padron Jabib, F. A. (2013). *MANUAL DE BATERIAS Y ACUMULADORES*. Colombia. <https://electronicaoficial.com/wp-content/uploads/2023/08/MANUAL-DE-BUSQUEDA-RAPIDA-PARA-BATERIAS.pdf>

*Historia*. (n.d.). Institución Universitaria Pascual Bravo. Retrieved May 21, 2024, from <https://pascualbravo.edu.co/acerca-del-pascual/historia/>

*Misión y Visión*. (n.d.). Institución Universitaria Pascual Bravo. Retrieved May 21, 2024, from <https://pascualbravo.edu.co/direccionamiento-estrategico/filosofia-institucional-2/>

Taboñas, M. C. (2020). *Energía solar fotovoltaica*.

ECA, instituto de tecnología y formación s.a.u. (2007). *ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA* (2nd ed.). FUNDACION CONFEMETAL.

Transición energética: un legado para el presente y el futuro de Colombia. (2021). Ministerio de Minas y Energía. Retrieved May 27, 2024, from

[https://www.minenergia.gov.co/documents/5856/TRANSICION\\_ENERGETICA\\_COLOMBIA\\_BID-MINENERGIA-2403.pdf](https://www.minenergia.gov.co/documents/5856/TRANSICION_ENERGETICA_COLOMBIA_BID-MINENERGIA-2403.pdf)

Renewable energy statistics 2019. (2019, July 2). IRENA. Retrieved May 27, 2024, from <https://www.irena.org/publications/2019/Jul/Renewable-energy-statistics-2019>

Importancia y significado de los valores  $V_{mp}$ ,  $V_{oc}$ ,  $I_{sc}$  e  $I_{mp}$  de un panel solar. (2024). Damia Solar. Retrieved May 27, 2024, from <https://www.damiasolar.com/blog/significado-valores-isc-imp-voc-vmp-instalacion/>

Insa, J. (2017, January 21). Conexión serie de placas solares. Monsolar.com. Retrieved May 27, 2024, from <https://www.monsolar.com/blog/conexion-serie-de-placas-solares/>