

**DESARROLLO DE LA METODOLOGÍA PARA EVALUAR  
EXPERIMENTALMENTE LA MEJORA DEL DESEMPEÑO ENERGÉTICO,  
ASOCIADO A UN SISTEMA DE RIEGO ACTIVO EN ESTUDIO**

MARYURY VANESSA TRUJILLO SEGURA

WILLIAM JOSEHT RIVERA CABEZA

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BUCARAMANGA

FACULTAD DE INGENIERÍA

PROGRAMA DE INGENIERÍA EN ENERGÍA

BUCARAMANGA

2022

**DESARROLLO DE LA METODOLOGÍA PARA EVALUAR  
EXPERIMENTALMENTE LA MEJORA DEL DESEMPEÑO ENERGÉTICO,  
ASOCIADO A UN SISTEMA DE RIEGO ACTIVO EN ESTUDIO**

MARYURY VANESSA TRUJILLO SEGURA

WILLIAM JOSEHT RIVERA CABEZA

Trabajo de grado presentado como requisito parcial para optar por el título de ingenieros en  
energía

Director: PhD Yecid Alfonso Muñoz Maldonado

Codirector: Ing. Miguel Ángel de la Rosa García

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BUCARAMANGA

FACULTAD DE INGENIERÍA

PROGRAMA DE INGENIERÍA EN ENERGÍA

BUCARAMANGA

2022

## **NOTA DE ACEPTACIÓN**

Aprobado por el Comité Curricular en  
Cumplimiento de los requisitos exigidos  
por la Universidad Autónoma de  
Bucaramanga para optar por el  
título de Ingeniero en Energía.

---

Pd. D Yecid Alfonso Muñoz Maldonado  
Director

---

Ing. Miguel Ángel de la Rosa  
Codirector

---

Evaluador 1

---

Evaluador 2

## **DEDICATORIA**

Dedico mi tesis principalmente a Dios, quien me dio la fuerza necesaria para lograr este objetivo. Gracias a mis padres, Javier y Heidy, por estar a mi lado en cada paso del camino en mi búsqueda por ser una mejor persona y profesional. También me gustaría agradecer a mi hermana Isabella por apoyarme incondicionalmente. A mi abuela que me dio la fuerza para seguir adelante. Y, finalmente a mi familia y amigos que siempre me han brindado su apoyo y compañía.

### **Vanessa Trujillo**

Dedico este trabajo de grado principalmente a Dios y la Santísima Virgen María, quienes, con su amor, protección y ayuda me permitieron cumplir con esta meta. Gracias a mis padres, William y Yohana, a mi abuela, Guillermina, a mi hermana, Jenifer, quienes me apoyaron incondicionalmente en cada parte de mi formación personal y profesional. También quiero agradecer a mis amigos y compañeros por brindarme su apoyo y compañía. Y a todos aquellos que durante este tiempo han ayudado a que esta tesis sea hoy una realidad. Finalmente, a ti abuelo, quien desde el cielo has estado conmigo en cada momento tus valores y enseñanzas viven en mi mente y en mi corazón por siempre.

### **William Rivera**

## **AGRADECIMIENTOS**

Dedicamos este trabajo principalmente a Dios porque nos trae a este momento trascendental de nuestra formación profesional. Queremos agradecer a nuestras familias, quienes fueron parte de nuestro sacrificio, a la UNAB por darnos la oportunidad de realizar la investigación, a nuestro director, Yecid Alfonso Maldonado, por su interés y compromiso; a nuestro Codirector, Miguel Ángel de la Rosa, por incentivar y orientar el desarrollo de Trabajo de Grado. Gracias también a Carlos Mesa y Marvin Correa por su indispensable apoyo. Finalmente, gracias a la facultad y al personal docente por su riguroso conocimiento.

## CONTENIDO

RESUMEN	12
ABSTRACT	13
1. INTRODUCCIÓN	14
2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	15
2.1. DEFINICIÓN DEL PROBLEMA	15
2.2. JUSTIFICACIÓN	16
3. OBJETIVOS	17
3.1. OBJETIVO GENERAL	17
3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	17
4. MARCO TEÒRICO	18
4.1. Definición de conceptos	18
4.2. Principales Características de Operación	18
4.3. Pérdidas en los paneles solares	21
4.4. Rendimiento de los módulos fotovoltaicos	24
4.5. Refrigeración de sistemas solares	25
4.6. Conceptos para elaborar un diseño experimental	25
4.7. ANTECEDENTES	27
4.8. MARCO LEGAL	29
4.8.1. Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas RETIE – 20.22	29
5. METODOLOGÍA	30
5.1. CARACTERIZACIÓN Y DISEÑO DEL EXPERIMENTO	31
5.1.1. Consulta de los antecedentes y referentes teóricos para el proyecto.	31
5.1.2. Diseño del experimento.	31
5.2. APLICACIÓN DEL EXPERIMENTO EN EL SISTEMA FOTOVOLTAICO GRID TIED	31
5.2.1. Montaje y puesta en funcionamiento del sistema fotovoltaico Grid Tied con monitoreo de variables.	31
5.2.2. Aplicación del experimento con base en las mediciones y registros de datos para los escenarios propuestos, usando los tratamientos.	31
5.3. EVALUACIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS	32
5.3.1. Evaluación del efecto del sistema de riego en los paneles solares para los escenarios propuestos.	32

5.3.2.	Conclusión y análisis del impacto de la tecnología en los paneles solares.	32
6.	DESARROLLO DEL ANÁLISIS EXPERIMENTAL	32
6.1.	CARACTERIZACION Y DISEÑO DEL EXPERIMENTO	32
6.1.1.	Ubicación del Proyecto	32
6.1.2.	Diseño del Experimento	33
6.1.3.	Detalle de Materiales Para la instalación del Sistema Fotovoltaico	36
6.1.4.	Diseño De La Instalación Eléctrica	39
6.2.	APLICACIÓN DEL EXPERIMENTO EN EL SISTEMA FOTOVOLTAICO GRID TIED. 46	
6.2.1.	Instalación del punto de acceso wifi	46
6.2.2.	Instalación del Dispositivo Ecu-R	46
6.2.3.	Estructura de montaje de módulos fotovoltaicos	47
6.2.4.	Instalación del Microinversor	49
6.2.5.	Desarrollo del sistema de medición	50
6.2.6.	Montaje del sistema de refrigeración por aspersión de agua	52
6.2.7.	Aplicación Del Experimento	52
6.3.	EVALUACIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS	53
6.3.1.	Parametrización	53
6.3.2.	Normalización	54
6.3.3.	Análisis Del Experimento	56
6.3.4.	Resultados Del Análisis Del Experimento	63
7.	CONCLUSIONES	68
8.	RECOMENDACIONES	69
	REFERENCIAS	70
	ANEXO1	75

## LISTA DE TABLAS

<b>TABLA 1.</b> ESPECIFICACIONES ELÉCTRICAS DE LOS PANELES SOLARES.....	20
<b>TABLA 2.</b> PÉRDIDAS EN MÓDULOS FOTOVOLTAICOS .....	21
<b>TABLA 3.</b> INFORMACIÓN DE LA UBICACIÓN DEL PROYECTO .....	33
<b>TABLA 4.</b> IDENTIFICACIÓN DE LOS ESCENARIOS PLANTEADOS .....	34
<b>TABLA 5.</b> DEFINICIÓN DE VARIABLES DEL DISEÑO DE EXPERIMENTOS .....	35
<b>TABLA 6.</b> MATERIALES DE LA INSTALACIÓN DEL SISTEMA FOTOVOLTAICO. ....	37
<b>TABLA 7.</b> LISTA DE EQUIPOS DEL SISTEMA FOTOVOLTAICO .....	38
<b>TABLA 8.</b> CARACTERÍSTICAS SOBRE PANEL CANADIAN SOLAR 320 POLICRISTALINO.....	39
<b>TABLA 9.</b> CARACTERÍSTICAS DE ENTRADA MICROINVERSOR QS1 (1200W).....	39
<b>TABLA 10.</b> CARACTERÍSTICAS DE SALIDA DEL MICROINVERSOR QS1 (1200W).....	40
<b>TABLA 11.</b> DATOS SOBRE EL CÁLCULO DE LAS CORRIENTES DEL CIRCUITO .....	40
<b>TABLA 12.</b> DATOS SOBRE LAS DE CORRIENTES DE SALIDA DEL CIRCUITO FOTOVOLTAICO .....	41
<b>TABLA 13.</b> DATOS SOBRE CALCULO LA CORRIENTE DEL CIRCUITO A LA SALIDA DEL MICROINVERSOR.....	41
<b>TABLA 14.</b> VARIABLES OBTENIDAS DEL CÁLCULO DE REGULACIÓN .....	42
<b>TABLA 15.</b> TRATAMIENTOS DEFINIDOS PARA LA APLICACIÓN DEL EXPERIMENTO.....	53
<b>TABLA 16.</b> NIVELES DEFINIDOS POR EL FACTOR DE TEMPERATURA DE ACTIVACIÓN.....	54
<b>TABLA 17.</b> RENDIMIENTOS BRUTOS OBTENIDOS PARA CADA TRATAMIENTO DEL EXPERIMENTO. ....	63
<b>TABLA 18.</b> ANÁLISIS DE VARIANZA PARA LA ANOVA DEL FACTOR DE TEMPERATURA DE ACTIVACIÓN. ....	64
<b>TABLA 19.</b> RESUMEN DEL MODELO PARA LA ANOVA DEL FACTOR DE TEMPERATURA DE ACTIVACIÓN. ....	64
<b>TABLA 20.</b> CONSUMO DE LA BOMBA PARA CADA TRATAMIENTO. ....	65
<b>TABLA 21.</b> RENDIMIENTOS NETOS OBTENIDOS PARA CADA TRATAMIENTO DEL EXPERIMENTO. ....	65
<b>TABLA 22.</b> ANÁLISIS DE VARIANZA PARA LA ANOVA DEL FACTOR DE TEMPERATURA DE ACTIVACIÓN. ....	66
<b>TABLA 23.</b> RESUMEN DEL MODELO PARA LA ANOVA DEL FACTOR DE TEMPERATURA DE ACTIVACIÓN. ....	66



## LISTA DE FIGURAS

<b>FIGURA 1.</b> CURVA CARACTERÍSTICA DE CORRIENTE Y VOLTAJE DEPENDIENTES DE LA IRRADIACIÓN Y TEMPERATURA DEL MODULO .....	19
<b>FIGURA 2.</b> DIAGRAMA DE PÉRDIDAS DE LOS PANELES SOLARES .....	22
<b>FIGURA 3.</b> CURVA DE INCREMENTO PARA LA TEMPERATURA DE UN PANEL SOLAR .....	24
<b>FIGURA 4.</b> VARIABLES PARA UN PROCESO DE ANÁLISIS EXPERIMENTAL .....	26
<b>FIGURA 5.</b> PASOS PARA EL DESARROLLO DE UN DISEÑO EXPERIMENTAL .....	27
<b>FIGURA 6.</b> METODOLOGÍA DEL PROYECTO .....	30
<b>FIGURA 7.</b> VISTA PANORÁMICA EN RELIEVE .....	32
<b>FIGURA 8.</b> VISTA FRONTAL DEL EDIFICIO LA CASONA .....	33
<b>FIGURA 9.</b> DIAGRAMA DE FLUJO DE LAS VARIABLES DEL SISTEMA FOTOVOLTAICO .....	34
<b>FIGURA 10.</b> DISEÑO FACTORIAL COMPLETO .....	36
<b>FIGURA 11.</b> TABLERO DE PROTECCIONES .....	43
<b>FIGURA 12.</b> DIAGRAMA UNIFILAR .....	44
<b>FIGURA 13.</b> PLANO DE DISTRIBUCIÓN ELÉCTRICA .....	45
<b>FIGURA 14.</b> ESQUEMA DE INSTALACIÓN DE COMUNICACIONES .....	46
<b>FIGURA 15.</b> INTERFAZ DEL APLICATIVO ECU-R .....	47
<b>FIGURA 16.</b> SOPORTE DE PANELES SOLARES .....	47
<b>FIGURA 17.</b> ESTRUCTURA PROPUESTA DE LA INSTALACIÓN FOTOVOLTAICA .....	48
<b>FIGURA 18.</b> INSTALACIÓN DE LOS REFLECTORES EN LOS PANELES SOLARES .....	49
<b>FIGURA 19.</b> CONEXIONES EN EL MICROINVERSOR A LOS PANELES SOLARES .....	49
<b>FIGURA 20.</b> INSTALACIÓN DE CAJAS DE ARDUINO .....	50
<b>FIGURA 21.</b> VISUALIZACIÓN DEL APLICATIVO BLYNK .....	51
<b>FIGURA 22.</b> DIAGRAMA DE REFRIGERACIÓN DE LOS PANELES SOLARES .....	52

## LISTA DE ILUSTRACIONES

<b>ILUSTRACIÓN 1.</b> TEMPERATURA PROMEDIO DEL PANEL SOLAR EN EL ESCENARIO BASE.....	54
<b>ILUSTRACIÓN 2.</b> CURVA DE REGRESIÓN AJUSTADA PARA LOS DATOS DE POTENCIA EN DOS PANELES SOLARES. .....	55
<b>ILUSTRACIÓN 3.</b> CURVA NORMALIZADA DE LA POTENCIA ENTREGADA POR LOS DOS PANELES PARA CADA ESCENARIO .....	56
<b>ILUSTRACIÓN 4.</b> COMPARACIÓN DE TEMPERATURAS DE CELDA REGISTRADAS POR LOS DOS PANELES PARA EL PRIMER TRATAMIENTO DEL EXPERIMENTO .....	57
<b>ILUSTRACIÓN 5.</b> COMPARACIÓN DE POTENCIAS ENTREGADAS POR LOS DOS PANELES PARA EL PRIMER TRATAMIENTO DEL EXPERIMENTO. ....	57
<b>ILUSTRACIÓN 6.</b> COMPARACIÓN DE TEMPERATURAS DE CELDA REGISTRADAS POR LOS DOS PANELES PARA EL SEGUNDO TRATAMIENTO DEL EXPERIMENTO. ....	58
<b>ILUSTRACIÓN 7.</b> COMPARACIÓN DE POTENCIAS ENTREGADAS POR LOS DOS PANELES PARA EL SEGUNDO TRATAMIENTO DEL EXPERIMENTO. ....	58
<b>ILUSTRACIÓN 8.</b> COMPARACIÓN DE TEMPERATURAS DE CELDA REGISTRADAS POR LOS DOS PANELES PARA EL TERCER TRATAMIENTO DEL EXPERIMENTO. ....	59
<b>ILUSTRACIÓN 9.</b> COMPARACIÓN DE POTENCIAS ENTREGADAS POR LOS DOS PANELES PARA EL TERCER TRATAMIENTO DEL EXPERIMENTO. ....	59
<b>ILUSTRACIÓN 10.</b> COMPARACIÓN DE TEMPERATURAS DE CELDA REGISTRADAS POR LOS DOS PANELES PARA EL CUARTO TRATAMIENTO DEL EXPERIMENTO. ....	60
<b>ILUSTRACIÓN 11.</b> COMPARACIÓN DE POTENCIAS ENTREGADAS POR LOS DOS PANELES PARA EL CUARTO TRATAMIENTO DEL EXPERIMENTO. ....	60
<b>ILUSTRACIÓN 12.</b> COMPARACIÓN DE TEMPERATURAS DE CELDA REGISTRADAS POR LOS DOS PANELES PARA EL QUINTO TRATAMIENTO DEL EXPERIMENTO. ....	61
<b>ILUSTRACIÓN 13.</b> COMPARACIÓN DE POTENCIAS ENTREGADAS POR LOS DOS PANELES PARA EL QUINTO TRATAMIENTO DEL EXPERIMENTO. ....	61
<b>ILUSTRACIÓN 14.</b> COMPARACIÓN DE TEMPERATURAS DE CELDA REGISTRADAS POR LOS DOS PANELES PARA EL SEXTO TRATAMIENTO DEL EXPERIMENTO. ....	62
<b>ILUSTRACIÓN 15.</b> COMPARACIÓN DE POTENCIAS ENTREGADAS POR LOS DOS PANELES PARA EL SEXTO TRATAMIENTO DEL EXPERIMENTO. ....	62
<b>ILUSTRACIÓN 16.</b> DIAGRAMA DE PARETO PARA EL RENDIMIENTO BRUTO DE TEMPERATURA DE ACTIVACIÓN POR TIEMPO DE RIEGO.....	64
<b>ILUSTRACIÓN 17.</b> DIAGRAMA DE PARETO PARA EL RENDIMIENTO NETO DE TEMPERATURA DE ACTIVACIÓN POR TIEMPO DE RIEGO.....	67

## LISTA DE ECUACIONES

<b>ECUACIÓN 1.</b> CÁLCULO PARA EL COEFICIENTE DE PERDIDAS POR TEMPERATURA.....	23
<b>ECUACIÓN 2.</b> POTENCIA DE UN PANEL A UNA TEMPERATURA PREDETERMINADA.....	23
<b>ECUACIÓN 3.</b> RENDIMIENTO DE UN PANEL SOLAR .....	24
<b>ECUACIÓN 4.</b> ENERGÍA GENERADA POR UN PANEL SOLAR.....	24
<b>ECUACIÓN 5.</b> HORAS SOLARES PICO PARA UN DÍA.....	25
<b>ECUACIÓN 6.</b> CAÍDA DE TENSIÓN EN CIRCUITOS TRIFÁSICOS .....	41

## RESUMEN

El siguiente trabajo se realizó con el fin de conocer el efecto de un sistema de riego en un panel solar, el cual tuvo como objetivo realizar un análisis y evaluación, del impacto de la reducción de la temperatura del panel. Inicialmente se definió el uso y el comportamiento de los módulos solares, las características de rendimiento y los factores que influyen en las pérdidas de temperatura, tales como: Materiales de la instalación fotovoltaica, sombras, temperatura, clima, irradiación solar, ubicación geográfica, orientación e inclinación; mediante una revisión bibliográfica de artículos se presentaron los sistemas de enfriamiento para módulos solares, las tecnologías de refrigeración y resultados obtenidos.

Para analizar la influencia y el efecto de la temperatura en los módulos solares se realizó la planeación del experimento teniendo en cuenta dos factores cómo lo son: La temperatura de activación y el tiempo de frecuencia del sistema de riego, con el fin de analizar los tratamientos y conocer su impacto en la disminución de la temperatura y por consiguiente el aumento en su rendimiento.

Posteriormente se implementó un sistema fotovoltaico Grid Tied; conformado por dos paneles solares marca CanadianSolar teniendo una potencia de generación de 320W, un microinversor QS1, el cuál consta de un sistema de monitoreo en tiempo real y un sistema de monitoreo para la temperatura de celda;

Finalmente evaluando el rendimiento bruto y neto, teniendo en cuenta el consumo energético de la bomba de agua, se obtiene que la temperatura de 40°C como set point para el sistema de riego, permite obtener los rendimientos netos más altos para los dos niveles de tiempo de riego; lo que permite lograr mejores resultados en términos de incrementos de rendimiento neto en un 2% y 3%.

**Palabras Claves:** Modulo Solar, Rendimiento, Sistema de Riego, Irradiación Solar.

## ABSTRACT

The following work was carried out in order to know the effect of an irrigation system on a solar panel, with the objective of analyzing and evaluating the impact of reducing the temperature of the panel. Initially, the use and behavior of solar modules, the performance characteristics and the factors that influence temperature losses were defined, such as: materials of the photovoltaic installation, shading, temperature, climate, solar irradiation, geographical location, orientation, and inclination; through a bibliographic review of articles, the cooling systems for solar modules, the cooling technologies and results obtained were presented.

In order to analyze the influence and effect of temperature on solar modules, the experiment was planned to take into account two factors: The cell temperature and the frequency time of the irrigation system, to analyze the treatments and to know their impact on the temperature decrease and consequently the increase in their yield.

Subsequently, a Grid Tied photovoltaic system was implemented, consisting of two CanadianSolar solar panels with a generation power of 320W, a QS1 inverter, which consists of a real time monitoring system and a monitoring system for the cell temperature.

Finally evaluating the gross and net yield, taking into account the energy consumption of the water pump, it is obtained that the temperature of 40°C as set point for the irrigation system, allows obtaining the highest net yields for the two levels of irrigation time, which allows achieving better results in terms of net yield increases of 2% and 3%.

**Keywords:** Solar Module, Performance, System with Cooling, Solar Irradiation.

## 1. INTRODUCCIÓN

La energía solar es gratuita, sin embargo, el proceso de absorción de energía radiante es un desafío debido a elementos naturales indeseables. El calor excesivo absorbido del sol por los paneles solares ha sido identificado como uno de los factores que más contribuyen a la baja eficiencia de los absorbedores solares. (Kalaiselvan et al, 2018). Las actuales células, basadas en silicio, podrían ser reemplazadas en unos años por otros materiales y tecnologías muy diversas. (Daniel & Murillo, n.d.) Recientemente, la instalación de sistemas de generación de energía fotovoltaica ha aumentado a nivel local, aunque su rendimiento depende del sitio de instalación también se ve afectado por diversos parámetros ambientales como la radiación, la temperatura y la precipitación, Debido a este incremento en la temperatura de los paneles por radiación los sistemas fotovoltaicos, han tenido una reducción en el valor de su eficiencia y producción. En 2016, Sargunanathan et afirmó que: “para superar estos efectos y mantener la temperatura de funcionamiento de las células fotovoltaicas dentro del valor especificado por el fabricante, es necesario eliminar calor de las células fotovoltaicas mediante métodos de refrigeración adecuados”. (Singh et al, 2021) Estos métodos de refrigeración comprenden diferentes técnicas y tecnologías que, en conjunto con el panel solar, permiten aumentar su eficiencia y rendimiento.

Este trabajo de grado presenta la mejora del rendimiento frente a un módulo solar. El documento desarrolla el análisis experimental de un sistema fotovoltaico con riego y un sistema convencional. El objetivo de este proyecto es estudiar los fenómenos relacionados con la temperatura y el efecto de la temperatura de los módulos solares, a fin de minimizar el impacto de esta consecuencia se tendrán en cuenta las fases de diseño e implementación, normas de instalación y evaluación del rendimiento. De esta forma, el presente trabajo busca experimentar el análisis de este tipo de montaje ya que permitirá evaluar la reducción del efecto de la temperatura en el Módulo Solar y utilizando, así como lugar de instalación una de las sedes de la UNAB - el edificio la casona.

Considerando los diferentes temas evaluados y explicados en este proyecto, encontramos los conceptos y conocimientos básicos de este sistema fotovoltaico. Se han desarrollado exploraciones de varios artículos de investigación que proporcionan una descripción general de cada sistema de refrigeración y describen algunos puntos a favor y en contra de la tecnología aplicada; consecutivamente se presenta la planeación experimental, dónde se definen las variables a considerar en el proyecto. Finalmente se realiza un análisis, para evaluar el rendimiento que compara la producción, con respeto al consumo energético, dado que el consumo de energía de la bomba del sistema de refrigeración se evaluó en el grado de impacto en el rendimiento neto de los módulos solares.

## **2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

### **2.1. DEFINICIÓN DEL PROBLEMA**

Actualmente en los sistemas solares fotovoltaicos, la pérdida de potencia de los paneles solares debido a la temperatura es uno de los grandes enemigos de las instalaciones fotovoltaicas, se puede llegar a perder hasta casi un 12% de la energía generada por el módulo fotovoltaico. Por lo tanto, los paneles solares presentan pérdidas debido al incremento de temperatura; lo que reduce notablemente la cantidad de energía generada que se puede aprovechar, evaluar la eficacia de diferentes técnicas de enfriamiento es necesario para poder aplicarlas en la mejora de rendimiento de estos sistemas.

En este caso se cuenta con el sistema de riego para paneles solares, por lo tanto, se desea conocer su impacto en la mejora de la eficiencia del sistema fotovoltaico, por medio de una evaluación experimental del desempeño energético del sistema en cuestión. A partir de esta problemática, se busca responder la pregunta de investigación que se presenta a continuación.

## **2.2. JUSTIFICACIÓN**

Este proyecto se alinea con una investigación de maestría, de la Universidad Javeriana, establecida para comparar y evaluar las diferentes técnicas de refrigeración presente en los módulos fotovoltaicos. Este alcance busca evaluar el impacto de la mejora en el rendimiento de paneles solares, la cual es la primera técnica propuesta en la investigación mencionada, ofreciendo así un referente, para los posteriores análisis comparativos frente a otros sistemas de enfriamiento a evaluar. Adicionalmente, se plantea dejar una instalación funcional con monitoreo de producción, para el desarrollo de futuros proyectos a fines, en área de energías renovables de la UNAB.



### **3. OBJETIVOS**

#### **3.1. OBJETIVO GENERAL**

- Determinar el efecto de un dispositivo de riego activo, mediante evaluación experimental del desempeño energético asociado a un sistema fotovoltaico.

#### **3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Diseñar el experimento que permita comparar el desempeño de un módulo fotovoltaico con riego respecto a un escenario convencional.
- Implementar un sistema Grid Tied con monitoreo de variables de generación y temperatura independiente por modulo, que comprenda un escenario de modulo fotovoltaico con riego y uno convencional.
- Evaluar el nivel de impacto en el desempeño del sistema solar fotovoltaico acoplado al sistema de riego mediante el análisis de los escenarios propuestos.

## 4. MARCO TEÒRICO

En este proyecto se presentan los conceptos básicos sobre la utilización de los paneles solares, su comportamiento y características de rendimiento y como estos parámetros influyen también en sus pérdidas por temperatura. Por otra parte, se presentan sistemas de enfriamiento para paneles solares, así como su clasificación y aspectos importantes, además de definir la temperatura, la cual es una de las variables de respuestas por medio de la planeación experimental.

### 4.1. Definición de conceptos

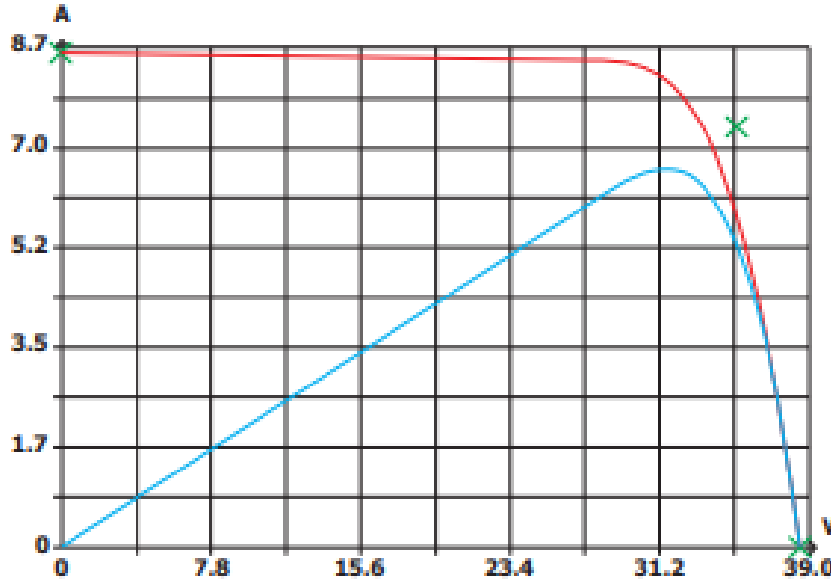
#### Sistemas Fotovoltaicos

Inicialmente los sistemas fotovoltaicos están compuestos por diferentes elementos esenciales para la producción de energía solar, la Célula Fotovoltaica es parte fundamental de los sistemas de generación de energía solar, está compuesta por pequeñas piezas que se usan para componer los grandes módulos fotovoltaicos; estas componen el módulo fotovoltaico que es el dispositivo que capta la energía solar para iniciar el proceso de transformación en energía sostenible, es sensible a la luz y genera electricidad al recibir la radiación solar gracias al fenómeno físico conocido como efecto fotovoltaico. El efecto fotovoltaico se caracteriza por la generación de corrientes eléctricas cuando dos materiales distintos están en contacto y a su vez se encuentran expuestos a la luz (radiación electromagnética).

Otro componente fundamental de estos sistemas es el inversor, un equipo que se encarga de transformar la energía producida en una instalación fotovoltaica, que se transmite en forma de corriente continua, en corriente alterna para que los electrodomésticos y otros productos eléctricos puedan funcionar en sus niveles normales.

### 4.2. Principales Características de Operación

Los módulos solares se componen principalmente de células de silicio, las condiciones de funcionamiento de las células fotovoltaicas dependen de la irradiación y la temperatura del panel solar, estas condiciones de funcionamiento se pueden conocer una vez se obtiene la producción energética solar, que llegan a ser el producto de la intensidad y la tensión obtenidos; como lo muestra en la *Figura 1*:



**Figura 1.** Curva Característica de corriente y voltaje dependientes de la irradiación y temperatura del modulo

**Fuente.** Análisis de la corrección de las curvas características i-v de módulos fotovoltaicos. (Ruiz et al., n.d.)

Las curvas se determinan a partir de todos los valores de corriente y tensión del dispositivo fotovoltaico en determinadas condiciones ambientales de temperatura y radiación solar (25°C y 1000 W/m<sup>2</sup>). Los puntos específicos de corriente y voltaje en los que opera un dispositivo fotovoltaico estarán determinados por la carga a la que está conectado; cuán mayor sea la resistencia y menor la intensidad, nos desplazaremos hacia el lado derecho de la curva y viceversa.

Las principales especificaciones eléctricas de los módulos solares son ilustrados en la **Tabla 1**:

**Tabla 1.** *Especificaciones eléctricas de los paneles solares*

<b>Principales Variables</b>	<b>Descripción</b>
<b>Tensión de circuito abierto (VOC)</b>	Es el máximo valor de tensión de la célula.
<b>Corriente de cortocircuito (ISC)</b>	Es el máximo valor de intensidad de la célula.
<b>Potencia máxima (Pmax)</b>	Es la potencia máxima que puede suministrar el panel es el punto dónde el producto intensidad y tensión es máxima
<b>Corriente en el punto de máxima potencia (Imp)</b>	Es la corriente producida cuando la potencia es máxima, bajo unas condiciones estándar de medida
<b>Voltaje en el punto de máxima potencia (Vmp)</b>	Es la tensión producida cuando la potencia es máxima, bajo unas condiciones estándar de medida.
<b>Eficiencia</b>	Es la eficiencia de conversión ( $\eta$ ), la cantidad de potencia radiación incidente sobre el panel que es capaz de convertirse en potencia eléctrica.
<b>Efectos de la irradiación</b>	La tensión y corriente genera en una célula depende directamente de la iluminación recibida.
<b>Efecto de la temperatura</b>	la tensión de circuito abierto disminuye cuando aumenta la temperatura

**Fuente.** simulación eléctrica y térmica de paneles fotovoltaicos (Gea et al., 2006)

### 4.3. Pérdidas en los paneles solares

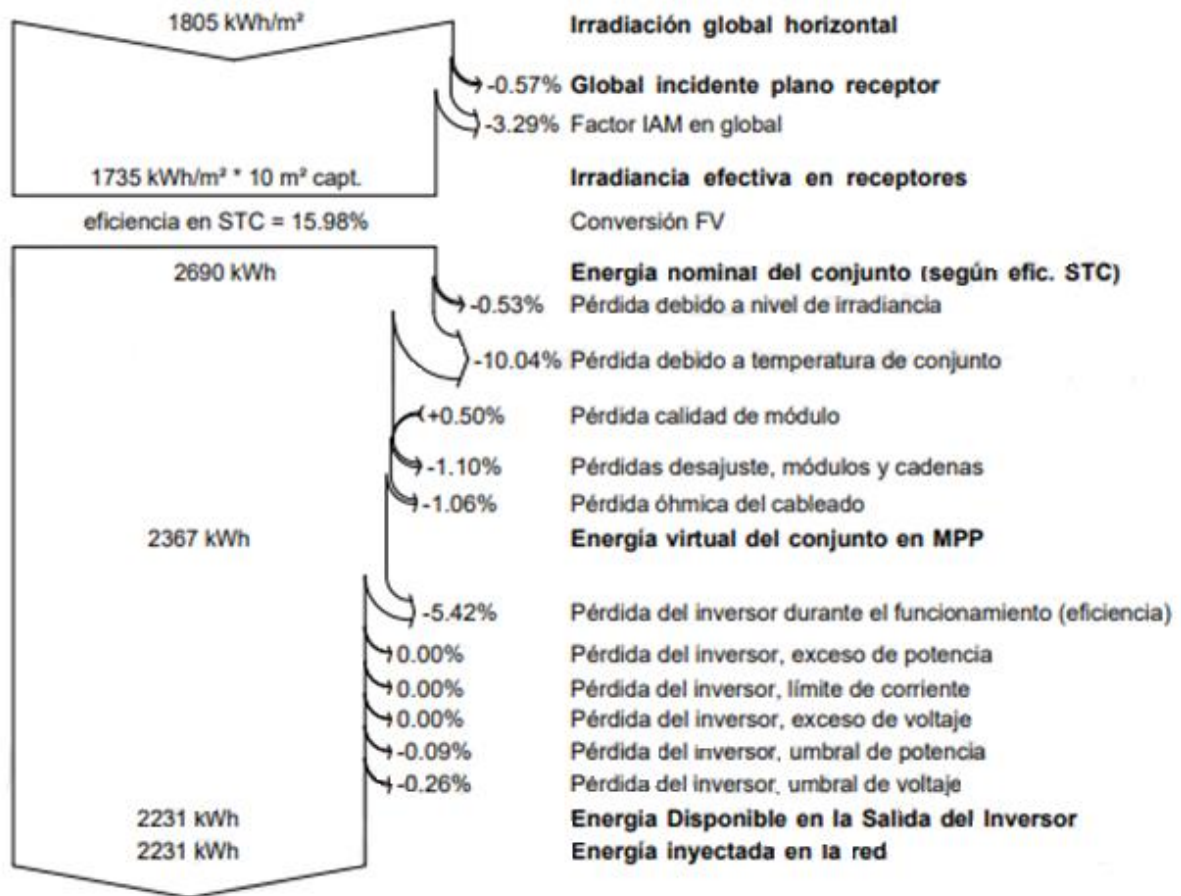
**Tabla 2.** *Pérdidas en Módulos Fotovoltaicos*

<b>Principales Variables</b>	<b>Descripción</b>
<b>Pérdidas por temperatura</b> (González & Leguizamón, 2014)	La temperatura depende de factores ambientales como la radiación, la temperatura ambiente y la velocidad del viento, así como de la ubicación del módulo o la ventilación detrás de él.
<b>Pérdidas de miss match</b> (Firman et al., n.d.)	Se deben principalmente a que, en un módulo o cadena de celdas, la corriente más baja impulsa toda la cadena.
<b>Pérdidas por polvo y suciedad</b> (Implementacion-de-Circuito-Para-Medir-La-Eficiencia-En-La-Produccion-de-Energia-En-Los-Paneles-Solares, n.d.)	La acumulación de suciedad y su efecto en el rendimiento de un sistema fotovoltaico es una incertidumbre que depende en gran medida del entorno, en el que está instalado el sistema, las condiciones de lluvia, entre otros aspectos.
<b>Pérdidas angulares y espectrales</b> (Molina & de Ciencias, n.d.)	la radiación solar incide sobre la superficie de un módulo FV con un ángulo diferente de 0° implica unas pérdidas adicionales. Las pérdidas angulares se incrementan con el grado de suciedad.
<b>Pérdidas por sombreado</b> (Modelado y Estudio Del Impacto de Sombras Sobre Paneles Solares, n.d.)	la disminución de captación de irradiación solar y por los posibles efectos de Mismatch a las que puedan dar lugar.
<b>Pérdidas por rendimiento</b> (Enrique & Céspedes, n.d.)	Es importante seleccionar un inversor de alto rendimiento, en condiciones nominales de operación y la potencia del inversor en función de la potencia del generador fotovoltaico.

**Fuente.** Factores de pérdidas energéticas fotovoltaicas (Battioni et al., n.d.)

Al igual que en otros procesos de generación de potencia eléctrica, las pérdidas son un factor determinante y a tener presente en todo momento para poder posteriormente evaluar los rendimientos de los equipos (Battioni et al., n.d.). Por eso, es importante resaltar los diferentes tipos de pérdidas que se menciona en la **Tabla 2**.

Para conocer los tipos de pérdidas obtenidos en un sistema fotovoltaico, se presenta un diagrama Sankey que se puede observar en la **Figura 2**; desarrollado en la plataforma de Pvsyst.



**Figura 2.** Diagrama de Pérdidas de los Paneles Solares

**Fuente.** Tomado de simulación propia en Software Pvsyst

Como se puede observar en la **Figura 2** existen un gran número de pérdidas en los paneles solares, resaltando las pérdidas por temperatura que se reflejan en este caso, en la disminución de un 10,04% de la producción energética del módulo o del conjunto de módulos solares.

### ➤ Pérdidas por temperatura

Se ha contextualizado en el numeral anterior, la importancia de las pérdidas por temperatura, en consonancia, (González & Leguizamón, 2014) dice que la pérdida de potencia de los paneles solares por temperatura es uno de los grandes enemigos de las instalaciones fotovoltaicas. Se puede perder hasta un 15% de la energía generada por los módulos fotovoltaicos.

Los parámetros de los módulos solares se extraen tras diferentes pruebas en los equipos, estas condiciones incluyen:

- irradiación incidente de 1000 W/m<sup>2</sup>
- temperatura ambiente de 25 grados centígrados

- calidad del aire de 1,5 (AM1,5) espectralmente.

De esta manera en los parámetros de los módulos solares se aprecia que la irradiación incidente desempeña un papel importante en la temperatura del módulo solar, lo que refleja alteraciones en la producción de energía del módulo solar.

### ➤ **Coefficiente De Pérdidas Por Temperatura**

A partir de los datos de temperatura de celda registrados para los dos escenarios es posible establecer un coeficiente de pérdidas por temperatura a partir del promedio de las temperaturas de celda registradas y del coeficiente estándar para pérdidas por incremento de temperatura; proporcionado por el fabricante; como se muestra en la **Ecuación 1**:

**Ecuación 1.** *Cálculo para el Coeficiente de Perdidas por Temperatura*

$$COEFICIENTE DE PERDIDAS [\%] = (T_{media} - T_{estandar}) * COEFICIENTE DE TEMPERATURA_{PANEL}$$

**Fuente.** (Battioni et al., n.d.)

Dónde:

- T\_media: promedio de temperaturas registradas
- T\_estándar: 25°C
- Coeficiente de temperatura del panel: -0.41% /°C

De esta manera multiplicando el coeficiente de pérdidas por temperatura obtenido por la potencia del panel (320W) se puede conocer la potencia perdida por cada incremento de un grado Celsius.

Al observar las fichas técnicas de los paneles solares, los coeficientes de temperatura en la tensión y la potencia son negativos, mientras que el de la intensidad es positivo, esto significa que, al aumentar la temperatura; la tensión y la potencia disminuyen, mientras que la intensidad aumenta. Sin embargo, el aumento de la intensidad es casi despreciable frente a la reducción del valor de la tensión tal como se observa en la **Figura 3**, en consecuencia, el producto de estas dos magnitudes es negativo, conduciendo a que el resultado global, sea que la potencia de un panel fotovoltaico disminuya al aumentar temperatura. La ecuación que rige este comportamiento es la **Ecuación 2**.

**Ecuación 2.** *Potencia de un Panel a una Temperatura Predeterminada*

$$P_{PMP_{T^{\circ}}} = P_{PMP} (1 + \gamma(T_m - T_{STC}))$$

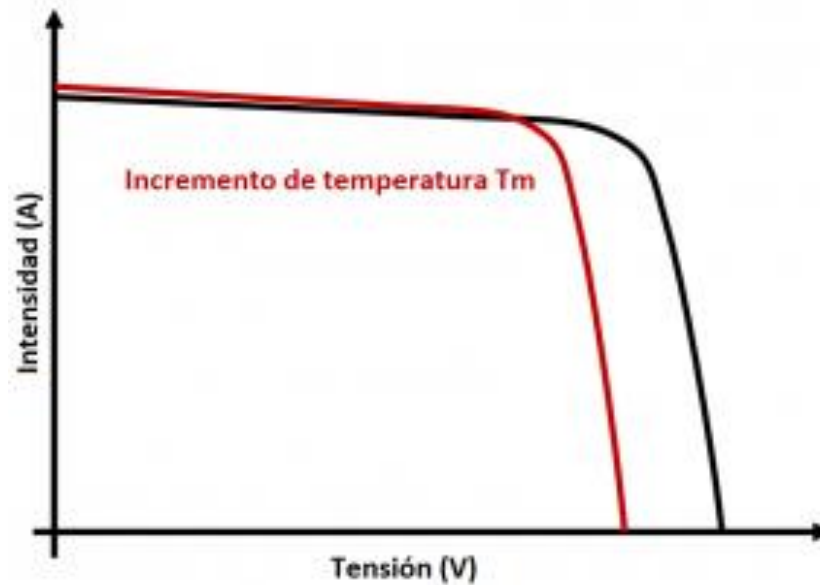
**Fuente.** (Romoacca., n.d.)

$P_{PMP}$ : Potencia máxima del panel solar.

$\gamma$ : Coeficiente de pérdidas por temperatura del panel.

$T_m$ : temperatura de celda del módulo solar.

$T_{STC}$ : Temperatura en condiciones estándares de medida (25°C).



**Figura 3.** Curva de Incremento para la Temperatura de un Panel Solar

**Fuente.** (Ruiz et al., n.d.)

#### 4.4. Rendimiento de los módulos fotovoltaicos

El rendimiento, en términos de energía, es la cantidad de energía que es capaz de generar un sistema solar, siempre en función de la energía solar que recibe, tal como se describe en la **Ecuación 3**. También se puede expresar en términos de potencia, relacionando la generada que se observa en la **Ecuación 4** y la incidente que se describe en la **Ecuación 5**.

**Ecuación 3.** Rendimiento de un Panel Solar

$$\text{RENDIMIENTO } [\%] = \frac{\text{ENERGÍA GENERADA } \left[ \frac{KW}{h} \right]}{\text{HSP } \left[ \frac{W}{m^2} \right] * \text{POTENCIA}_{\text{PANEL}} [KW]}$$

**Fuente.** (INFORME DE CALCULOS PARA SISTEMA SOLAR FOTOVOLTAICO PROYECTO Nombre de La Organización: Asociación Municipal de Colonos Del Pato-AMCOP, n.d.)

Dónde se obtiene la energía generada a través de la **Ecuación 4**:

**Ecuación 4.** Energía Generada por un Panel Solar

$$\text{ENERGÍA GENERADA } \left[ \frac{KW}{h} \right] = \frac{\sum \text{POTENCIA}_{\text{PANEL}} [KW]}{24 [h]}$$

**Fuente.** (Romoacca., n.d.)



También las horas solares pico se obtienen a partir de la **Ecuación 5**:

**Ecuación 5. Horas Solares Pico para un Día**

$$HSP \left[ \frac{W}{m^2} \right] = \frac{\sum IRRADIANCIADIA * t [h]}{1000 \frac{W}{m^2}} \quad \text{Dónde; } t [h] = \frac{1}{60}$$

**Fuente.** (Romoacca., n.d.)

Es importante resaltar que los valores de la irradiancia están siendo monitoreados en tiempo real, a través de una estación meteorológica instalada en el sitio; por lo que se cuenta cada día con la base de datos para ser utilizada en los cálculos.

De esta manera calculando el valor del rendimiento a través de la energía generada por los paneles, se obtiene la respuesta para el análisis del experimento, cuyo valor está relacionado con los efectos de la temperatura para los dos escenarios analizados y el efecto de la refrigeración para el escenario planteado.

#### **4.5. Refrigeración de sistemas solares**

Según (Kalaiselvan et al., 2018) con el objetivo de reducir estas pérdidas por temperatura en los módulos solares se proponen diferentes métodos y sistemas de refrigeración para paneles solares. Dependiendo de su funcionamiento o componente estos se pueden clasificar en:

- **Refrigeración pasiva**

Comprende aquellos sistemas de enfriamiento que no incorporan ningún elemento activo en la refrigeración y a los cuales podríamos definir como «unidades de intercambio de calor». Esta solución se puede proponer si el usuario dispone de un suministro propio de agua.

- **Refrigeración activa**

Requiere efectuar un trabajo para extraer la energía en forma de calor del sistema y por ello es necesaria la instalación de refrigeradores o Chillers.

#### **4.6. Conceptos para elaborar un diseño experimental**

De acuerdo con (Gako, n.d.-a). Propone que el diseño experimental hace referencia a modelos estadísticos, que tiene como fin averiguar si determinados factores influyen en una variable respuesta y si existe alguna influencia, cuantificarla. El análisis experimental es crucial para organizar y sistematizar los objetivos de este y qué variables se piensan alterar para tal fin. Por eso es necesario conocer qué conceptos están relacionados con la planificación del experimento para aplicarlos en el desarrollo de este. Los conceptos utilizados en este proyecto para la puesta en marcha del experimento llevado a cabo son los siguientes:

**Experimento:** Se define al experimento como el momento de la investigación científica, en la que se ponen en práctica las teorías y las hipótesis de modo tal que se pueda observar los resultados de estas.

**VARIABLES DE RESPUESTA:** Una variable de respuesta es un resultado medido dentro de un ensayo que puede ser influenciado por otros factores.

**Factores controlables y no controlables:** En un proceso industrial de cualquier tipo, intervienen variables o factores controlables y no controlables que afectan de alguna manera las características del producto final, es decir estos factores dependen en buena medida de la cantidad del producto.

**Niveles y tratamientos:** Tratamiento puede definirse como el conjunto de elementos y condiciones controlados, establecidos por el experimentador, con el que se lleva a cabo el estudio. Por otra parte, Los niveles son los diferentes valores asignados a cada factor estudiado en un diseño experimental.



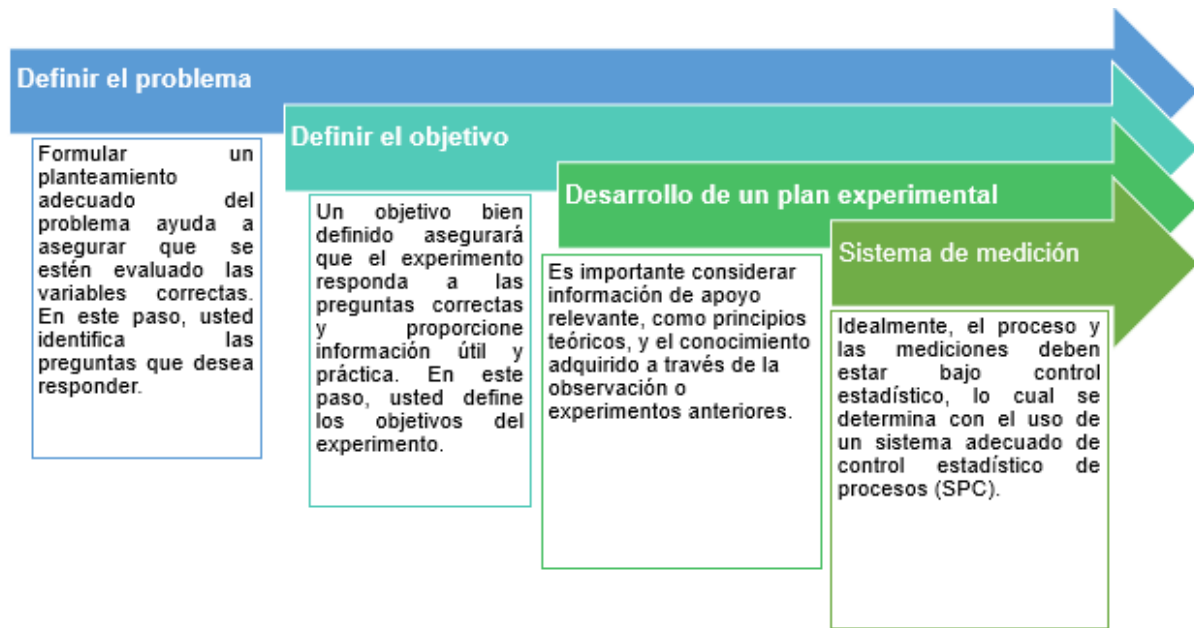
**Figura 4.** Variables para un proceso de Análisis Experimental

**Fuente.** Elaboración Propia

- **Etapas Del Diseño Experimental**

### **Diseñar un experimento**

Considerando que se realizará el diseño de un experimento, es importante conocer la preparación que se debe realizar previamente, esta se presenta en la **Figura 5**.



**Figura 5.** Pasos para el Desarrollo de un Diseño Experimental

**Fuente.** Adaptado de (Gako, n.d.-b)

#### 4.7. ANTECEDENTES

Se realizó una revisión bibliográfica de documentos referidos a metodologías de evaluación, enfocados en la mejora de la eficiencia en paneles solares con sistemas de refrigeración activa utilizando agua; teniendo en cuenta los avances y mejoras en estos sistemas de evaluación. Se seleccionaron los documentos más relevantes que se desempeñaban con el objetivo de trabajo de este proyecto.

El referente llamado: “Mejora de la eficiencia en panel solar policristalino mediante refrigeración por aspersión de agua de control térmico”. (Kalaiselvan et al., 2018). se enfoca en el método automatizado de rociado de agua; Este sistema de rociado de agua con control térmico basado en un microcontrolador utiliza una placa Arduino para detectar y controlar la eficiencia de las células solares. En el estudio se diseñó y desarrolló un algoritmo de enfriamiento de colectores solares, utilizando un sistema de retroalimentación de control térmico, que aumentó la eficiencia de la matriz de paneles solares en un 16,65%.

Continuando con el eje temático: “Mejora de la eficiencia del módulo fotovoltaico a través de la integración de la fuente de agua”. (Basavaraj et al., 2021). Se propuso un diseño innovador para mejorar la eficiencia operativa de los paneles fotovoltaicos, mediante la implementación del sistema de fuente basado en refrigeración por agua propuesto en el banco de pruebas Ecosense (insight solar). Como resultado, se ha observado que la eficiencia de los paneles fotovoltaicos mejora aproximadamente un 34 % y un 28 % en comparación con su eficiencia anterior, con la integración de un mecanismo de refrigeración sin carga y con carga, respectivamente.

Por otra parte, los recientes avances en sistemas híbridos de refrigeración para paneles han aumentado considerablemente como lo muestra el artículo llamado: “MPPT basado en Neuro-Fuzzy para sistema de enfriamiento híbrido de panel solar fotovoltaico”. (Guerrero Delgado et al, 2018). Este estudio proporciona la comparación de tres configuraciones diferentes, que incluye el uso de un sistema híbrido de refrigeración por aire y refrigeración por agua y un controlador de carga MPPT basado en neuro-fuzzy. Los experimentos se realizan en un ángulo fijo de 15° según la ubicación que opera simultáneamente. Posteriormente, los datos recopilados por los sensores de corriente, voltaje, temperatura y lux se evalúan para un análisis de costo-beneficio; en consecuencia, la eficiencia general de las tres configuraciones se evaluó considerando los costos y pérdidas totales de cada sistema. Los resultados mostraron además un aumento significativo de la eficiencia para todas las configuraciones, en comparación con la calificación esperada del panel utilizado, asimismo el resultado muestra que el uso de agua que fluye sobre la superficie frontal con un ventilador de enfriamiento en la parte posterior; mientras se usa el controlador de carga de seguimiento del punto de máxima potencia basado en neuro-fuzzy produce la mayor eficiencia. El MPPT 31 basado en el Sistema de Inferencia Neuro-Fuzzy Adaptativo (ANFIS) propuesto produce un valor RMSE de 1.5666e-05.

El artículo “Mejora de la potencia de salida de la celda fotovoltaica mediante enfriamiento y reducción de las pérdidas por reflexión del espejo”. (Rakino et al. 2019). Presenta un nuevo modelo para mejorar la potencia de salida de la celda o panel fotovoltaico combinando el espejo de refuerzo y red neuronal artificial (ANN). Basado en el sistema automatizado de monitoreo y enfriamiento. Por lo tanto, la propuesta técnica de refuerzo de espejo ha utilizado el seguimiento del punto de máxima potencia (MPPT), técnicas de Perturbación y Observación (P&O). Para enfocar la luz del sol en una dirección perpendicular. Para este proyecto la simulación muestra un aumento de potencia promedio del 54% usando el modelo. Para el análisis se utilizaron diferentes condiciones de seguimiento para analizar la potencia de salida, corriente y voltaje de la celda fotovoltaica en detalle.

En el artículo llamado: “*Tecnologías de refrigeración activa y pasiva de energía solar fotovoltaica: una revisión*”. (Oyola & Gordillo, n.d. ). se destacan los avances actuales en técnicas de enfriamiento y control de temperatura del panel fotovoltaico (FV) es necesario recalcar que el panel se puede mejorar disminuyendo la temperatura mediante diversas técnicas, para ello se evidencian las diversas tecnologías de enfriamiento, que pueden emplear para aumentar la eficiencia eléctrica de la energía solar fotovoltaica, revelando que el enfriamiento pasivo se basa en la circulación natural. En caso de enfriamiento activo se requiere energía para la circulación del método refrigerante, para su utilización óptima. El enfriamiento activo es un método que se distingue por el consumo de energía o líquido vital y sus continuos mantenimientos ya sean; preventivos o correctivos a su vez el enfriamiento pasivo es un método visionario a las necesidades, tanto económicas como de recursos naturales ya que por medio del ambiente natural a los que se vea sometido se puede adecuar según necesidad a un bajo costo y de manera reutilizable.

Dentro de los referentes de interés está: “Análisis experimental del efecto de un sistema de refrigeración sobre la eficiencia de paneles fotovoltaicos y su producción de agua de

precalentamiento”. (Santiago et al., n.d.). Este artículo aborda un sistema de enfriamiento de baja complejidad y alta eficiencia, aplicable en fotovoltaica (PV). Sistema que conduce a mejorar la eficiencia eléctrica y proporcionar agua precalentada. El sistema desarrollado consiste en un panel fotovoltaico; un sistema de agua de refrigeración que establece una temperatura superficial uniforme, y un calentador de agua solar. De acuerdo con las características del sistema propuesto, el montaje se construye con base en un solo panel solar, monocristalino para absorber más intensidad de radiación solar y generar más energía eléctrica, por área en comparación con un panel policristalino. El agua precalentada producida por la absorción del calor de la fotovoltaica se conduce a un calentador de agua solar para satisfacer la demanda de agua caliente sanitaria. Los resultados experimentales muestran que las eficiencias energéticas eléctricas, térmicas y generales aumentan hasta 12,3%, 49,4% y 61,7%, respectivamente.

Continuando con el eje temático en el artículo: “Evaluación experimental y simulada del efecto de la temperatura en el rendimiento de eficiencia del panel con refrigeración por agua frontal”. (Reza & Mondol, 2021a). Los sistemas de enfriamiento fotovoltaicos (PV). Se usan comúnmente para mejorar la generación de energía y la eficiencia de los paneles fotovoltaicos. Los paneles fotovoltaicos (PV). Requieren irradiación para generar energía, aunque el aumento de la irradiación a menudo se correlaciona con el aumento de la temperatura. Estos rápidos aumentos de temperatura en los paneles fotovoltaicos (PV) afectan severamente la operación de conversión de energía; se puede decir que con un proceso de enfriamiento adecuado en su superficie, un sistema solar fotovoltaico (PV) puede operar con una mayor eficiencia. Concluyendo finalmente que la temperatura de la célula del panel solar fotovoltaico (SPV) es el parámetro principal que da un efecto significativo en la eficiencia de conversión del panel SPV.

**Nota:** Se realizó una investigación de 40 documentos, los cuales se encuentran recopilados en una tabla sintetizada y dividida con información significativa para el desarrollo de este proyecto. ANEXO1.

#### **4.8. MARCO LEGAL**

Considerando que este proyecto implica la implementación de un sistema fotovoltaico, se hace hincapié, en las diferentes normas de este tipo de instalación en el contexto donde se desarrollará.

##### **4.8.1. Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas RETIE – 20.22**

Los paneles solares fotovoltaicos para proveer energía eléctrica a instalaciones domiciliarias o similares y establecimientos públicos deben cumplir los requisitos de una norma técnica internacional o de reconocimiento Internacional y demostrarlo mediante Certificado de Conformidad de Producto expedido por un organismo de certificación acreditado. La instalación eléctrica y el montaje de los paneles deben hacerse conforme a la Sección 690 de la NTC 2050, por un profesional competente, quien debe declarar el Cumplimiento del RETIE (RETIE), n.d.).

- **Norma Técnica Colombiana NTC2050 – Sección 690**

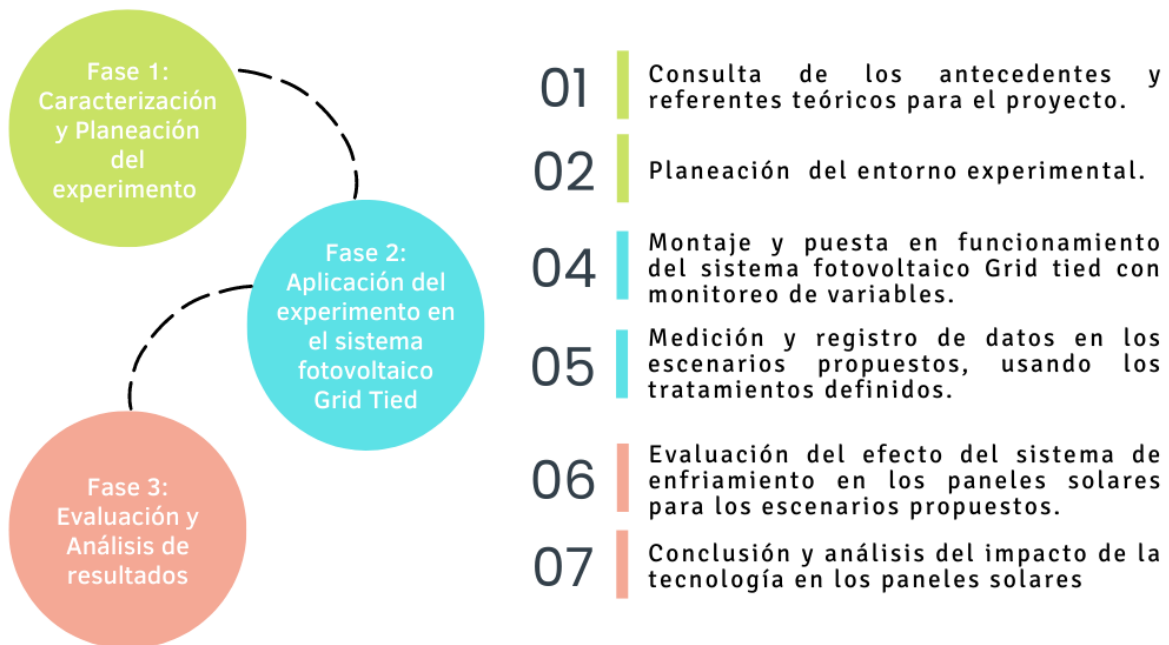
Las disposiciones de esta Sección se aplican a los sistemas fotovoltaicos de generación de energía eléctrica, incluidos los circuitos eléctricos, unidad o unidades de regulación y controladores de dichos sistemas. Los sistemas solares fotovoltaicos a los que se refiere esta Sección pueden estar interconectados con otras fuentes de generación de energía eléctrica o ser autónomos y tener o no acumuladores. La salida de estos sistemas puede ser de corriente continua o de corriente alterna (*PROYECTO DE NORMA TÉCNICA COLOMBIANA NTC 2050 (Primera Actualización) CÓDIGO ELÉCTRICO COLOMBIANO, n.d.-a*).

- **Norma Técnica Colombiana NTC2050 – Sección 690.8**

Por medio de esta sección, logramos el dimensionamiento y corriente de circuitos, a través de los cálculos de los circuitos, teniendo en cuenta la Capacidad de corriente y dispositivos de protección contra sobre corriente. Además de la clasificación de corriente tabulada del cable seleccionado La capacidad de carga de corriente efectiva del cable seleccionado debe verificarse de modo que su valor sea mayor o igual a la capacidad nominal del dispositivo de protección del circuito (*PROYECTO DE NORMA TÉCNICA COLOMBIANA NTC 2050 (Primera Actualización) CÓDIGO ELÉCTRICO COLOMBIANO, n.d.-b*)

## 5. METODOLOGÍA

Por medio de este diagrama se describe la secuencia de la metodología; distribuida en 3 fases principales y 6 actividades específicas, así como cada una de sus etapas y pasos desde el inicio hasta la finalización del proyecto.



**Figura 6.** Metodología del Proyecto

## **5.1. CARACTERIZACIÓN Y DISEÑO DEL EXPERIMENTO**

### **5.1.1. Consulta de los antecedentes y referentes teóricos para el proyecto.**

En esta primera fase de la metodología se lleva a cabo una revisión de artículos, estudios e investigaciones previas en el contexto nacional e internacional, buscando planteamientos resultados y datos obtenidos que permitan tener un referente, frente a la evaluación de otros sistemas de refrigeración para paneles solares.

### **5.1.2. Diseño del experimento.**

En la segunda parte de esta fase se realiza el diseño del experimento, que permite plantear estrategias para seleccionar, controlar, analizar e interpretar diferentes condiciones de un proceso de manera objetiva y sistemática, se inicia definiendo las variables de entrada y salida, los factores controlables y no controlables, cuyo efecto se quiere conocer en la respuesta y los niveles de los factores para tener en cuenta los cuales una vez conocidos permitan plantear cada uno de los tratamientos del sistema.

## **5.2. APLICACIÓN DEL EXPERIMENTO EN EL SISTEMA FOTOVOLTAICO GRID TIED**

### **5.2.1. Montaje y puesta en funcionamiento del sistema fotovoltaico Grid Tied con monitoreo de variables.**

En esta segunda fase se realiza la construcción de una instalación solar Grid Tied con riego para dos paneles, que estarán expuestos a diferentes condiciones, uno con sistema de riego y otro sistema convencional. Inicialmente se evalúa el punto de ubicación e instalación del proyecto para eliminar cualquier anomalía frente la construcción de este; luego de ello se determinan los materiales y se adquieren los equipos óptimos para el buen rendimiento del sistema, posteriormente se instalan los diferentes sistemas de medición para conocer cada una de las variables de respuesta del sistema en sus respectivos equipos. Por medio del monitoreo “Ecu-R system” y la programación de Arduino, se da a conocer en tiempo real el comportamiento de cada uno de los componentes del sistema fotovoltaico y su producción energética durante su funcionamiento.

### **5.2.2. Aplicación del experimento con base en las mediciones y registros de datos para los escenarios propuestos, usando los tratamientos.**

En esta etapa de la metodología se realiza la toma y registro de datos del sistema fotovoltaico Grid Tied, en cada uno de los escenarios planteados, estos datos se obtienen a través de los diferentes sistemas de medición utilizados en el sistema. Las mediciones de este sistema son entregadas por medio de la programación de Arduino a través de una tarjeta wifi la cual percibe en tiempo real la temperatura del módulo fotovoltaico; además la utilización del Modem ECU-R para conocer de igual manera en tiempo real, el comportamiento de cada uno de los componentes del sistema fotovoltaico y su producción energética. Estas mediciones se

realizan de cada una de las variables de entrada y de respuesta para verificar y observar el correcto funcionamiento del sistema.

### 5.3. EVALUACIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

#### 5.3.1. Evaluación del efecto del sistema de riego en los paneles solares para los escenarios propuestos.

En la tercera fase se cuantifican los datos obtenidos durante la segunda fase a fin de realizar un análisis y evaluación de estos para establecer y determinar el efecto del riego en uno de los paneles del sistema fotovoltaico Grid Tied en relación con el panel convencional, al llevar a cabo la evaluación también se realiza una comparación entre los diseños y simulaciones previas del sistema, para comprender el comportamiento real obtenido de manera experimental.

#### 5.3.2. Conclusión y análisis del impacto de la tecnología en los paneles solares.

Finalmente, para concluir con la tercera fase de esta metodología de evaluación se establece el efecto del sistema de riego para paneles solares en el sistema fotovoltaico con base en los análisis previos y los resultados del experimento.

## 6. DESARROLLO DEL ANÁLISIS EXPERIMENTAL

### 6.1. CARACTERIZACION Y DISEÑO DEL EXPERIMENTO

#### 6.1.1. Ubicación del Proyecto

Como se observa en la **Tabla 3** los paneles solares se instalarán sobre la terraza de una de las sedes principales de la “Universidad Autónoma Bucaramanga – Edificio La casona”, utilizando estructuras de aluminio para disminuir la carga muerta.



**Figura 7.**Vista Panorámica en Relieve

**Fuente.** Google Maps



**Tabla 3. Información de la Ubicación del Proyecto**

Ubicación		
Lugar	Coordenadas	Dirección
La Casona UNAB	7.121293N", -73.111007W"	Cl. 42 #34-14, Cabecera del llano, Bucaramanga, Santander

**Fuente.** Elaboración Propia



**Figura 8.** Vista Frontal del Edificio La Casona

**Fuente.** Google Maps

### 6.1.2. Diseño del Experimento

Para el diseño del experimento inicialmente se realizó la identificación de los dos escenarios a comparar, el panel solar base y el panel solar con sistema de riego.

Ambos módulos cuentan con reflectores solares, y fueron sometidos simultáneamente a las mismas condiciones ambientales, considerando que el rendimiento en cada escenario se calcula en base a la producción energética de cada uno de los módulos en función de su energía incidente, la variable de respuesta ( $\Delta$  rendimiento), que relaciona la diferencia de rendimiento entre el módulo sin enfriamiento y con enfriamiento, será la variable que permita hacer un análisis comparativo normalizado.

### Definición de las variables

Se puede observar que en la **Figura 4** se definieron las variables para tener en cuenta en el sistema fotovoltaico con riego y el sistema convencional: Para los dos escenarios es importante resaltar que se encuentran bajo las mismas condiciones.

**Tabla 4.** Identificación de los Escenarios Planteados

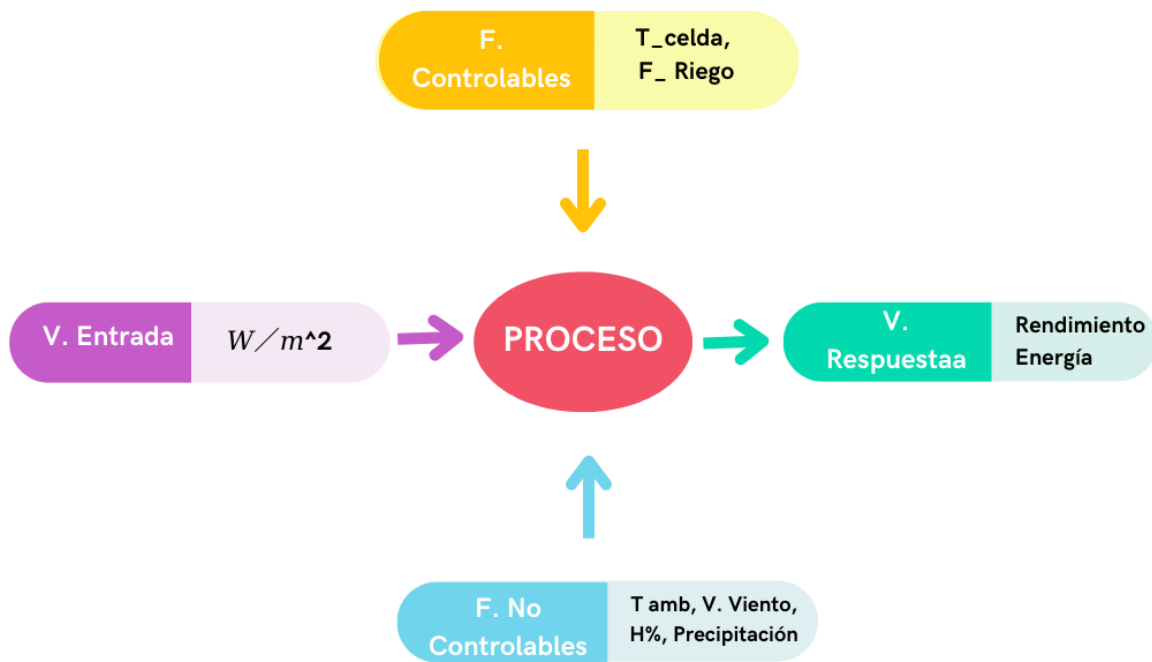
Escenario	Referencia
Panel solar base	0
Panel solar con enfriamiento	1

**Fuente.** Elaboración Propia

Como se puede observar en la **Tabla 4** para el diseño del experimento se cuentan con dos escenarios, el primer escenario que es un panel solar como caso base, que se identifica con el numero “0” y el segundo escenario un panel solar con sistema de enfriamiento, que se identifica con el numero “1”. Para los dos escenarios se cuenta con dos paneles de las mismas características e iguales condiciones.

### Definición de las variables

Como se muestra en la **Figura 9** se realizó la identificación de variables para tener en cuenta en el sistema fotovoltaico con riego y el sistema convencional, que inciden y se desprenden del sistema fotovoltaico, identificando los factores controlables y no controlables presentes en el sistema durante la operación normal del proceso. Este experimento se estableció con base en la facilidad del diseño, el tiempo de desarrollo y la calidad del experimento.



**Figura 9.** Diagrama de Flujo de las Variables del Sistema Fotovoltaico

**Fuente.** Elaboración propia

**Tabla 5.** *Definición de Variables del diseño de Experimentos*

<b>Variable</b>	<b>Descripción</b>
$[(W/m)]^2$	Irradiancia
<b>T<sub>am</sub></b>	Temperatura ambiente
<b>T<sub>celda</sub></b>	Temperatura Celda del Objeto
<b>F<sub>Riego</sub></b>	Frecuencia de Riego
<b>V<sub>viento</sub></b>	Velocidad del viento
<b>%H<sub>Relativa</sub></b>	Porcentaje de Humedad Relativa

**Fuente.** Elaboración propia

### **Diseño Factorial**

Teniendo en cuenta las variables y factores establecidos en la **Tabla 5** para un sistema de riego por aspersión de agua; apoyados en el software Minitab se propone un diseño factorial utilizando la herramienta “diseño factorial completo” de  $3^2$ , donde los factores son la temperatura de activación y el tiempo de riego. Para el primer factor relacionado con la temperatura de activación se definieron tres niveles; para el segundo factor relacionado con la temperatura de riego se comprenden dos niveles. Bajo estas condiciones para el escenario del panel solar con refrigeración por aspersión de agua la variable de respuesta es la producción energética del panel solar que nos permitirá calcular el rendimiento del panel; y así calcular las diferencias de los rendimientos para los dos escenarios evaluados; cuyo valor será utilizado para el análisis del experimento.

**Respecto al factor de la temperatura de refrigeración de la celda:** se propone a manejar tres niveles para este factor; un valor superior a la temperatura de celda promedio de operación de un panel solar fotovoltaico en la ciudad de Bucaramanga (nivel 1), un valor inferior a la temperatura de celda promedio de operación de un panel solar fotovoltaico en la ciudad de Bucaramanga (nivel 3) y finalmente un nivel medio (nivel 2) para los niveles anteriormente mencionados.

**Factor del tiempo de riego:** Se utilizarán 2 niveles para los valores de tiempo. Un tiempo de riego de 2 minutos (nivel alto), un tiempo de riego de 1 minuto (nivel bajo); donde el caudal será constante para cada nivel.

De acuerdo con lo mencionado en la diseño del experimento, se utiliza el programa “Minitab” para el análisis del experimento, una vez ingresados los factores y niveles cuya incidencia se desea conocer en la respuesta, Minitab propone el modelo de diseño factorial completo sin optimización que se observa en la **Figura 10**.

## RESUMEN DEL DISEÑO

Factores:	2	Réplicas:	1
Corridas base:	6	Total de corridas:	6
Bloques base:	1	Total de bloques:	1

Número de niveles: 3;2

**Figura 10.** *Diseño Factorial Completo*

**Fuente.** Elaboración propia a partir de Minitab

Como se puede ver en la **Figura 10** tendremos un total de seis tratamientos para el resultado del análisis del experimento, posteriormente se proponen las combinaciones para cada una de las corridas “tratamientos” del experimento y el orden de cada una de ellas.

Es importante aclarar que para el valor de respuesta se va a utilizar un valor promedio del total de mediciones, realizadas para cada tratamiento durante un día completo de producción energética del panel; teniendo en cuenta que dicho experimento no se va a replicar más de una vez durante una semana de mediciones.

### 6.1.3. Detalle de Materiales Para la instalación del Sistema Fotovoltaico


Para iniciar con el proceso de instalación del sistema fotovoltaico y el sistema de refrigeración para paneles, se relaciona la **Tabla 6** que describe la lista de materiales utilizados y la **Tabla 7** los equipos requeridos para el desarrollo del proyecto.

**Tabla 6.** Materiales de la Instalación del sistema Fotovoltaico.

<b>ítem</b>	<b>Descripción</b>
1	Bomba De Agua 20w - Resun - King 2a
2	Microinversor Qs1a Apsystem 1200w
3	Modulo Termo Infrarrojo Gy-906 Mlx90614esf
4	Modulo Wifi Esp8266 Nodemcu V3
5	Módulo De Placa De Desarrollo Adk256
6	Cable Dupont Macho X40 10cm
7	Panel CanadianSolar Policristalino 320w
8	Láminas De Acero
9	Manguera De Riego 1/2 "
10	Aspersor Riego Bailarina 1/2 "
11	Cajas De Acrílico
12	Ecu-R Apsystem
13	ESTRUCTURA SOPORTE TIPO TRIANGULAR AJUSTABLE DE 10 A 15 GRADOS
14	ESTRUCTURA DE RIEL PARA MONTAJE DE LOS PANELES 7r-4200 Mm
15	Soporte Fijo Para El Riel Tipo 7
16	Conector End Panel Solar
17	Conector End Panel En Aluminio
18	Grapa Para Terminal En Tierra
19	Cable Dc Recubierto De Cobre 90 Grados
20	Cable Ac 3x14 AWG Encauchetado
21	Cable Ac Traen 14 AWG Verde
22	Tubo Galvanizado De 1/2 Pulgadas
23	Curva Galvanizada De 1/2 Inch
24	Tablero De Distribución
25	Breaker Ac De 10 A

**Fuente.** Elaboración propia

**Tabla 7. Lista de Equipos del Sistema Fotovoltaico**

Nombre	Componente	Descripción
<p><b>Panel Solar 320W</b></p>		<p>Elemento primordial de la instalación. Convierte la energía del sol en energía eléctrica (corriente continua). Está formado por la unión de diversos paneles, para dotar a la instalación de la potencia necesaria.</p>
<p><b>Microinversor QS1A Apsystem 1200W</b></p>		<p>Convierte la corriente continua del sistema en corriente alterna, a 220 V igual a la de la red eléctrica, Alimenta los diferentes dispositivos que trabajan con Corrientes alterna.</p>
<p><b>Router</b></p>		<p>Dispositivo de conexión wifi, usualmente está conectado a un módem y este envía información de Internet a tus dispositivos electrónicos.</p>
<p><b>Ecu-R</b></p>		<p>La Unidad de Comunicación Energética (ECU-R) de Apsystem es la puerta de entrada de información para el microinversor.</p>
<p><b>Bomba de agua 20W</b></p>		<p>Bomba Sumergible, su funcionamiento es eficaz, además es de alta eficiencia y buen rendimiento</p>
<p><b>Caja Arduino</b></p>		<p>La caja de Arduino está compuesta por diferentes elementos: MÓDULO TERMOMETRO INFRARROJO + BOARD NODEMCU WIFI + relé Estado Sólido. Estos elementos son fundamentales para la programación de equipos y el monitorio de datos del sistema de riego.</p>

**Fuente.** Elaboración Propia

#### 6.1.4. Diseño De La Instalación Eléctrica

Para el diseño de la instalación eléctrica se tuvo en cuenta el código eléctrico colombiano conocido como Norma Técnica Colombiana NTC2050 – Sección 690 que corresponde a los sistemas solares fotovoltaicos.

Se tuvo en cuenta las consideraciones generales de la Norma Técnica Colombiana NTC2050 – Sección 690.8 dónde se muestra el cálculo de la corriente máxima del circuito, la corriente máxima para un circuito específico se debe calcular de acuerdo con el tipo de circuito. En este caso se tiene en cuenta la corriente del circuito de la fuente fotovoltaica, la cual es la suma de las corrientes en cortocircuito de los módulos conectados en paralelo, multiplicado por el 125%. Por otra parte, se tiene en cuenta el circuito de salida del microinversor; cuya corriente máxima debe ser la corriente permanente a la salida del microinversor.

Siguiendo lo propuesto por la sección 690-8 del código eléctrico colombiano se tiene los siguientes equipos que integran el sistema fotovoltaico, teniendo en cuenta sus corrientes nominales de operación y de cortocircuito en el caso de los módulos solares:

A continuación, se presentan las características del panel en la **Tabla 8** y las del Microinversor en la **Tabla 9** y **Tabla 10**.

**Tabla 8.** Características sobre Panel CanadianSolar 320 POLICRISTALINO

Potencial Nominal Pm	Circuito abierto de voltaje Voc	Corriente de cortocircuito Isc	Voltaje a la potencia nominal Vmp	Corriente a la potencia nominal Imp	Eficiencia del Módulo nm (%)	Máximo grado de fusible de la serie
320 W	40,1 V	9 A	33.3 V	9.61 A	19.3	30 A

**Fuente.** Adaptado de: Datasheet Panel CanadianSolar 320W POLICRISTALINO

**Tabla 9.** Características de entrada MICROINVERSOR QS1 (1200W)

Datos de entrada DC				
Potencia de módulo PV	Rango de Voltaje MPPT	Rango de Voltaje de Operación	Voltaje de Entrada Máxima	Corriente de Entrada Máxima
250Wp - 375Wp+	22 V - 48 V	16 V - 55 V	60 V	12A

**Fuente.** Adaptado de: Datasheet MICROINVERSOR QS1 (1200W)

**Tabla 10.** Características de Salida del MICROINVERSOR QS1 (1200W)

Datos de Salida AC							
Potencia Máxima de salida Continua	Voltaje de salida Nominal	Voltaje Ajustable de salida	Corriente de Salida Nominal	Unidades Máximas por ramal	Rango de Frecuencia por salida	Rango de Frecuencia de Salida Ajustable	Protección Máxima
1200W	240V/ 211V- 264V*	160 V - 278 V	5A	4 (16PV module s)	60 Hz / 59.3Hz- 60.5Hz*	55.1 Hz - 64.9Hz	10A

**Fuente.** Adaptado de: Datasheet MICROINVERSOR QS1 (1200W).

Teniendo en cuenta estas corrientes para cada uno de los dispositivos mencionados se realiza el cálculo para el dimensionamiento de conductores para este sistema fotovoltaico; teniendo en cuenta que se utilizarán dos paneles y un Microinversor.

### CORRIENTES DEL CIRCUITO DE LA FUENTE FOTOVOLTAICA

Para las corrientes del circuito de la fuente fotovoltaica, se tienen en cuenta las corrientes de cortocircuito de los paneles solares, las cuales se suman y se multiplican por el 125% para conocer la ampacidad del conductor a utilizar, como se observa en la **Tabla 11**.

**Tabla 11.** Datos sobre el cálculo de las corrientes del circuito

<b>Corrientes Del Circuito De La Fuente Fotovoltaica [A]</b>	<b>22,5</b>
ISC [A]	<b>9</b>
<b>CALIBRE AWG</b>	<b>10</b>

**Fuente.** Elaboración Propia

De esta manera se obtiene un calibre 10 AWG; teniendo en cuenta una temperatura de 60°C y no más de tres conductores portadores de corriente en una canalización.

### CORRIENTES DEL CIRCUITO FOTOVOLTAICO DE SALIDA

Para las corrientes del circuito fotovoltaico de salida al igual que para el circuito de la fuente fotovoltaica se tienen en cuenta la suma de las corrientes de corto circuito de los dos paneles solares, como se observa en la **Tabla 12**, las cuales se suman y se multiplican por el 125%.



**Tabla 12.** Datos Sobre las de Corrientes de Salida del Circuito Fotovoltaico

<b>Corrientes Del Circuito De La Fuente Fotovoltaica [A]</b>	<b>22,5</b>
ISC [A]	<b>9</b>
<b>CALIBRE AWG</b>	<b>10</b>

**Fuente.** Elaboración Propia

De esta manera se obtiene un calibre 10 AWG; teniendo en cuenta una temperatura de 60°C y no más de tres conductores portadores de corriente.

### **CORRIENTE DE CIRCUITO A LA SALIDA DEL MICROINVERSOR**

Para el cálculo de la corriente de circuito a la salida del microinversor se tiene en cuenta la corriente nominal a la salida del microinversor, tal como se observa en **Tabla 13**.

**Tabla 13.** Datos sobre Calculo la Corriente del Circuito a La Salida del Microinversor

<b>Corriente De Circuito A La Salida Del Microinversor [A]</b>	<b>5</b>
Corriente permanente a la salida del microinversor	<b>5</b>
<b>CALIBRE AWG</b>	<b>14</b>

**Fuente.** Elaboración Propia

De esta manera se obtiene un calibre 14 AWG; teniendo en cuenta una temperatura de 60°C y no más de tres conductores portadores de corriente.

### **CÁLCULO CAIDA DE TENSIÓN**

#### **Consideraciones Generales**

La caída de tensión en el conductor se origina debido a la resistencia eléctrica al paso de la corriente, esta resistencia depende de la longitud del circuito, el material, el calibre y la temperatura de operación del conductor, el calibre seleccionado debe verificarse por la caída de tensión en la línea, al suministrar corriente a una carga por medio de un conductor, se experimenta una caída en la tensión y una disipación de energía en forma de calor, en circuitos de corriente continua (c.c.).

Para circuitos de corriente alterna (c.a). La caída de tensión depende de la corriente de carga, del factor de potencia y de la impedancia de los conductores (en estos circuitos es común la combinación de resistencias, capacitancias e inductancias).

#### **Regulación**

La Caída de Tensión ( $\Delta V = V_s - V_r$ ) se calcula mediante la **Ecuación 6**

#### **Ecuación 6.** Caída de Tensión en Circuitos Trifásicos

$$\Delta V \text{ FASE} - \text{NEUTRO} = Z_{EF} * L * I$$

**Fuente.** (Lopez, n.d.)

Dónde:

- $\Delta V$  es la Caída de Tensión en Voltios
- L es la longitud del circuito en km
- I es la corriente del circuito en A
- ZEF es la impedancia eficaz en ohm/km

**NOTA:** para este cálculo se tiene en cuenta la corriente a la salida del microinversor y las consideraciones presentadas en la **Tabla 11** para un conductor de aluminio y un calibre 14 AWG. Reemplazando estos valores se obtiene:

**Tabla 14.** Variables obtenidas del Cálculo de Regulación

Variable	Valor	Observación
L [Km]	0,028	Distancia recorrida por el conductor desde el microinversor del sistema hasta la caja de la red del edificio.
I [A]	5	Corriente a la salida del microinversor.
ZEF ohm/km	R=10,17 XL=0,190  ZEF= 9.7204	Teniendo en cuenta un factor de potencia de 0,95 para la <b>Tabla 13</b> según la norma para la red eléctrica colombiana; y los valores para resistencia y reactancia inductiva de la <b>Tabla 11</b> para un Conduit de aluminio.

**Fuente.** Elaboración Propia

$$\Delta V \text{ FASE-NEUTRO} = 1.701 \text{ [V]}$$

- Encontrar el Porcentaje de Caída de Tensión del circuito:

$$\% \text{ Caída de Tensión FASE-FASE} = (\Delta V / V_r) * 100 \%$$

$$\text{Caída de Tensión FASE-FASE} = (1.701V / 220V) * 100 \%$$

$$\text{Caída de Tensión FASE-FASE} = 0,007\%$$

**NOTA:** según el código eléctrico colombiano (NTC2050) la caída de tensión no puede ser mayor al 5%, lo cual en este caso para un conductor 12 AWG a la salida del microinversor, cumple con lo establecido por la norma, se utiliza en este caso un conductor 4x12 AWG para realizar la conexión del microinversor al barraje del edificio; ya que el microinversor utiliza dos fases, el neutro y la tierra, por lo que es necesario el uso de un cable de 4 filamentos.

### Protecciones contra sobrecorriente

Las protecciones contra sobrecorriente evitan que la tensión caiga transitoriamente a valores como consecuencia de un cortocircuito o de la sobrecarga de un circuito de carga.

Según la NTC2050, teniendo en cuenta la **Tabla 10**, se propone una protección máxima de 10A; ya que la corriente máxima manejada en la salida del microinversor es de 5 A. esta protección de 10A será utilizada para la conexión del cable 4x12 AWG en el tablero de distribución del séptimo piso del edificio de la casona, como se observa en la **Figura 11**.



**Figura 11.** Tablero de Protecciones

**Fuente.** Elaboración Propia

### **Circuito auxiliar**

Para la conexión de diferentes elementos y equipos necesarios para la medición de variables, el bombeo de agua para el sistema de refrigeración y la conexión de la ECU-R se propone utilizar un cable dúplex blanco de calibre 2x16 AWG, teniendo en cuenta la corriente aportada por cada uno de estos equipos, es inferior a la ampacidad de este conductor que es de 18 A teniendo en cuenta una temperatura de 90°C y no más de tres conductores portadores de corriente.

Teniendo en cuenta los cálculos anteriormente realizados, la distribución de planta en la terraza del edificio La Casona y lo requerido para la instalación del proyecto se proponen los siguientes diseños: **Figura 12** y **Figura 13** para la instalación del sistema fotovoltaico.

# DIAGRAMA UNIFILAR

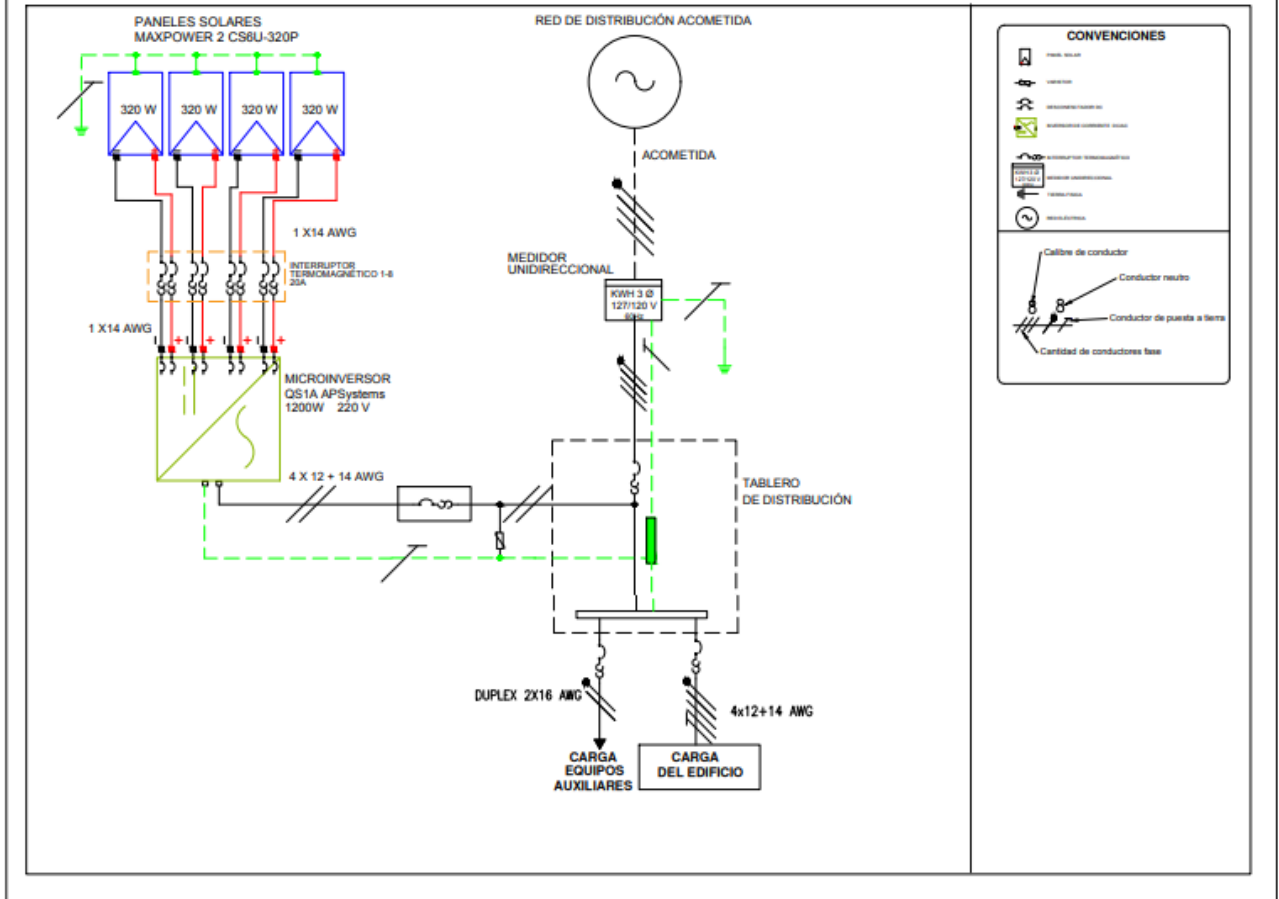
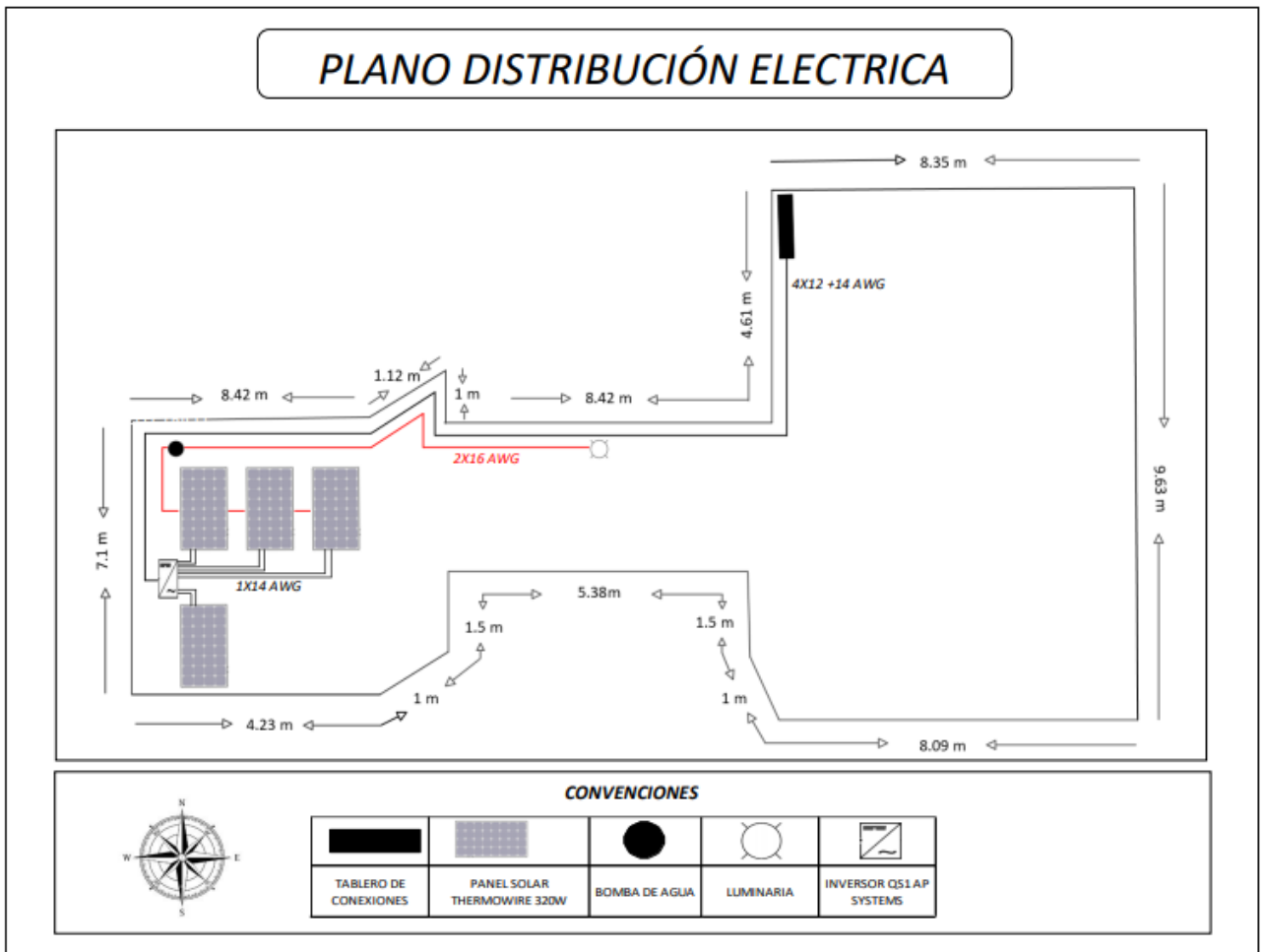


Figura 12. Diagrama Unifilar

Fuente. Elaboración Propia



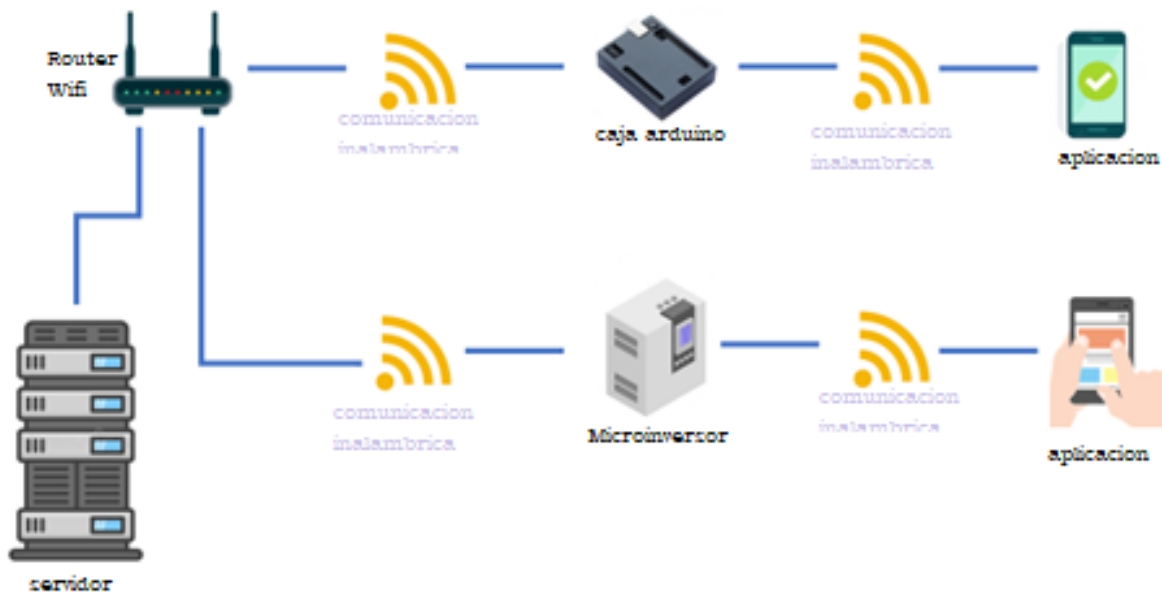
**Figura 13.** *Plano de Distribución Eléctrica*

Fuente. Elaboración Propia

## 6.2. APLICACIÓN DEL EXPERIMENTO EN EL SISTEMA FOTOVOLTAICO GRID TIED.

### 6.2.1. Instalación del punto de acceso wifi

Un Router es un dispositivo que ofrece una conexión Wifi, usualmente está conectado a un módem y este envía información de Internet a tus dispositivos electrónicos. La instalación de este dispositivo fue necesaria pues no se contaba con la señal adecuada en la terraza, para mejorar la intensidad de la red wifi en el sistema, fue primordial la instalación de un punto wifi, entendiendo que había interferencia de conexión entre la tarjeta wifi-ubicada en la caja de Arduino, debajo de cada panel.



**Figura 14.** Esquema de Instalación de Comunicaciones

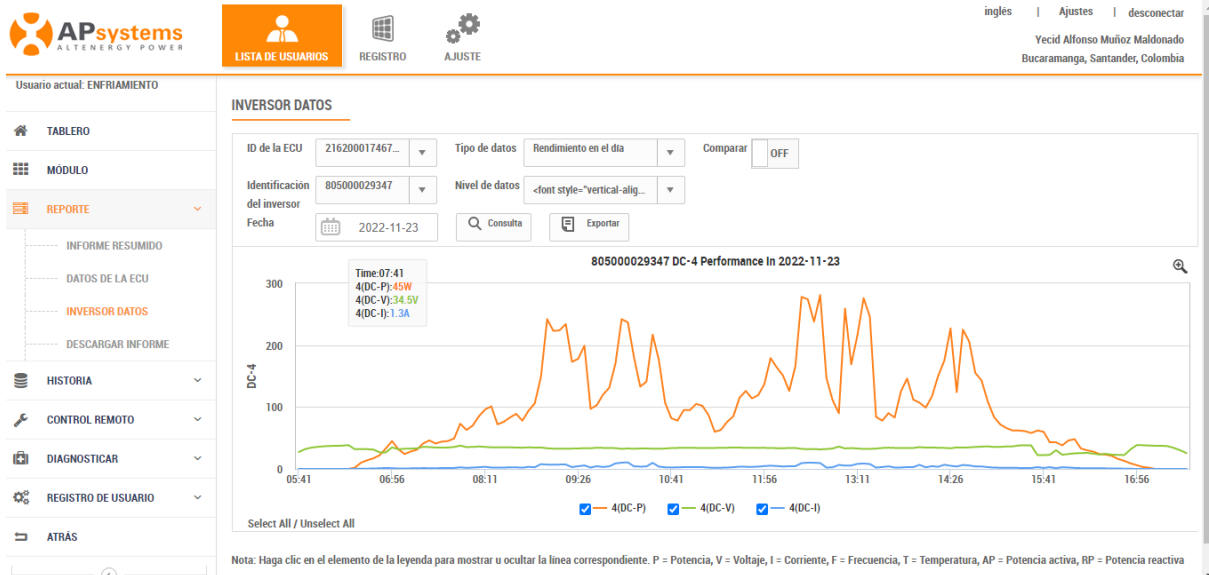
**Fuente.** Elaboración Propia

La conexión de este dispositivo se realizó a través de los ductos de la red eléctrica, tal como se en la **Figura 14**, la cual se encuentra en la caja de conexiones del cuarto piso, dónde están los servidores de red. Este cableado fue ingresado en la caja corriente hasta llegar a la terraza y encontrar su punto de conexión por medio del router mencionado anteriormente. El cable utilizado para esta instalación fue cable (utp), categoría (5e), es conocido comúnmente como cable de red. La distancia entre la terraza y el punto de acceso del servidor fue calculada por medio de la utilización de un metro, este cálculo nos dio un valor de 35 metros de distancia.

### 6.2.2. Instalación del Dispositivo Ecu-R

La Unidad de Comunicación Energética (ECU-R) de AP systems es la puerta de entrada de información para los inversores. La unidad recopila datos de rendimiento de cada módulo conectado al microinversor y transfiere esta información a una base de datos de Internet, como se observa en la **Figura 15** en tiempo real, requiriendo solo un único cable de datos y alimentación. A través del software AP systems Energy Monitoring and Analysis, la ECU-R

le brinda un análisis preciso de cada módulo del microinversor en su instalación solar desde la aplicación. La interfaz fácil de usar le permite acceder a su matriz solar en un segundo, una vez es establecida la conexión y esperando un tiempo prudente se logra obtener información de producción de energía de los módulos solares.

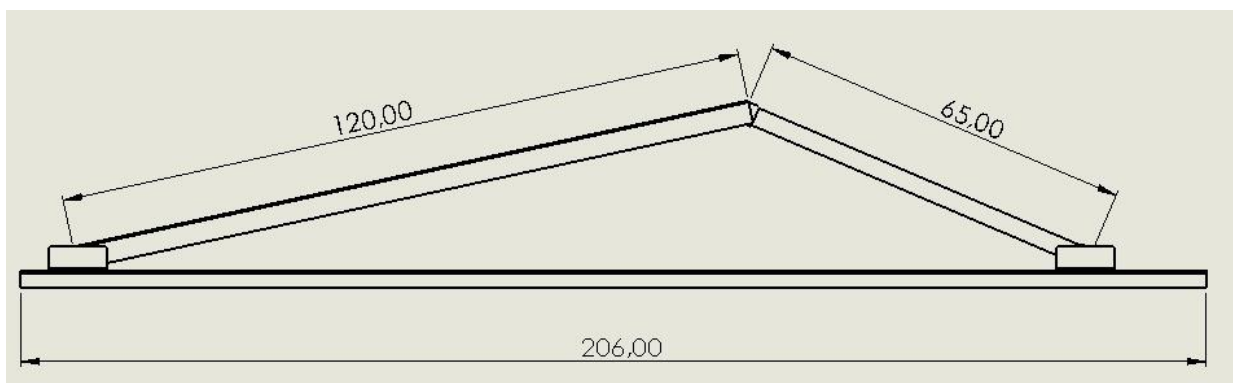


**Figura 15.** Interfaz del Aplicativo ECU-R

**Fuente.** Tomado de Página Oficial Apsystem

### 6.2.3. Estructura de montaje de módulos fotovoltaicos

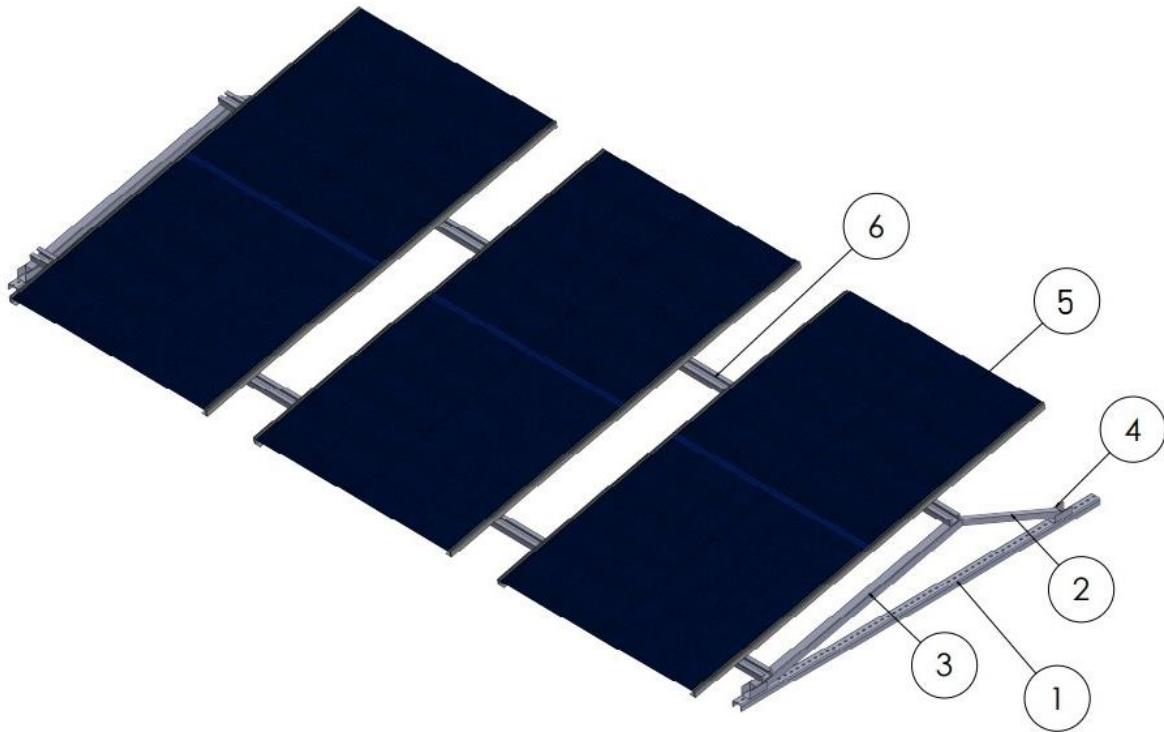
Los paneles solares se instalarán en el Edificio La Casona, utilizando estructuras de aluminio para disminuir la carga muerta, se propone una estructura que permita el acceso a los paneles por debajo para su fácil manipulación de los equipos de comunicación y/o servicios de mantenimiento. En la **Figura 16** se muestra una vista de la sección transversal del montaje.



**Figura 16.** Soporte de Paneles Solares.

**Fuente.** Elaboración Propia

A continuación, se presenta en la **Figura 17** la estructura triangular ajustable, es ideal para montaje solar de techo plano, los paneles se instalarán sobre rieles de aluminio, para sujetar los paneles a los rieles, se utilizarán fijadores intermedios.



**Figura 17.** *Estructura Propuesta de la Instalación Fotovoltaica*

**Fuente.** Elaboración Propia

1. Riel Chanel Perforado
2. Perfil titular cuadrado
3. Listeo cuadrado
4. Abrazadera intermedia de unión
5. Modulo Fotovoltaico
6. Riel Superior y/o Horizontal





**Figura 18.** *Instalación de los Reflectores en los Paneles Solares*

**Fuente.** Elaboración Propia

Se puede observar en la **Figura 18** que esta instalación cuenta con tres módulos fotovoltaicos. Estos módulos fotovoltaicos se encuentran separados en una distancia de 15 centímetros entre cada uno. Cada módulo fotovoltaico estará expuesto a condiciones iguales, teniendo en cuenta los 2 escenarios planteados de manera que se ubicaron las respectivas láminas de acero de lado a lado en cada panel; cada lámina cuenta con una medida de 70 cm de largo x 40 cm de ancho, esta lámina se utiliza para que genere una mayor irradiación en el panel y con ello se logre aumentar el rendimiento de este.

#### **6.2.4. Instalación del Microinversor**

El uso del Microinversor es indispensable para el desarrollo de este sistema, debido a que este dispositivo nos brinda en tiempo real el comportamiento y el rendimiento de los módulos fotovoltaicos. Como se puede observar en la **Figura 19** fue necesario realizar unos alargues para llegar a las conexiones del Microinversor, para llevarlo a cabo se realizó la compra de 8 pares de MC4 (macho y hembra) y se utilizó un cable 2 x 14, estos materiales fueron utilizados para empatar las conexiones del Microinversor junto con la de módulos solares.



**Figura 19.** *Conexiones en el Microinversor a los Paneles Solares*

**Fuente.** Elaboración Propia.

### 6.2.5. Desarrollo del sistema de medición

#### Programación Sensores De Temperatura

Para la programación de este sistema de medición se utilizó la interfaz de Arduino; la cual es una plataforma de hardware libre, el monitoreo de medición de temperatura está basado en un sensor de temperatura sin contacto de referencia MLX90615 para la toma del valor de temperatura del panel, desde la parte inferior del mismo, un módulo wifi de referencia ESP8266 el cual recibirá los datos del sensor y los enviará A través de comunicación inalámbrica a la base de datos de la aplicación blynk, dónde se programó la interfaz para la lectura y monitoreo de la temperatura del panel.



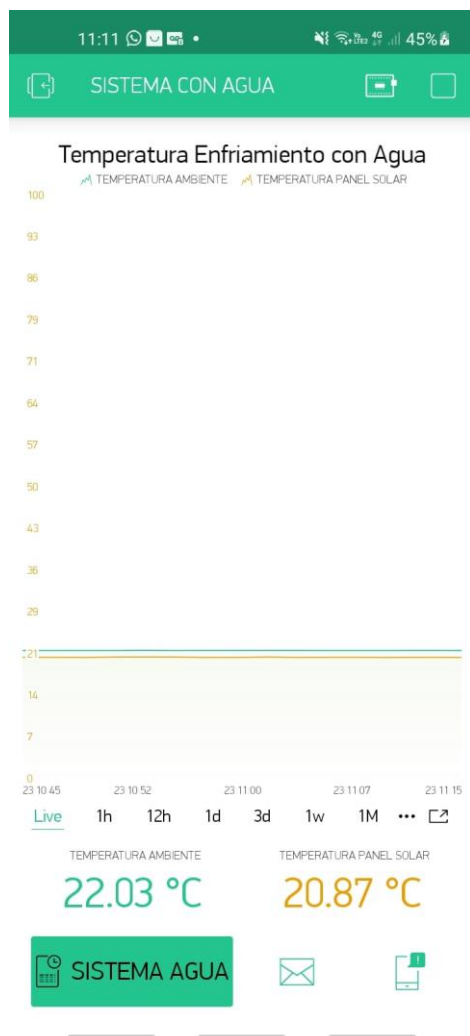
**Figura 20.** *Instalación de Cajas de Arduino*

**Fuente.** Elaboración Propia

Estas cajas de vinilo negro fueron instaladas en la parte inferior del panel para monitorear la temperatura de activación como se observa en la **Figura 20**, en la parte inferior de cada panel se encuentra una caja de medición de temperatura, está ubicada justo en el centro de cada módulo fotovoltaico, esto con el fin de que pueda recibir de manera equitativa y equilibrada toda la información de la temperatura y demás variables que contiene el mismo.

## Blynk, Aplicación Móvil Para Monitoreo De La Temperatura

La aplicación Blynk para Android es una plataforma que nos permite crear una interfaz que funcione con el hardware de su elección; en nuestro caso una tarjeta de Arduino con módulo wifi. Blynk posee una librería que es una extensión que se ejecuta sobre la aplicación de hardware. Maneja todas las rutinas de conexión y el intercambio de datos entre el hardware. Por medio de play store, buscamos la aplicación nombrada “Blynk”, en nuestro caso usamos la versión 2.7.



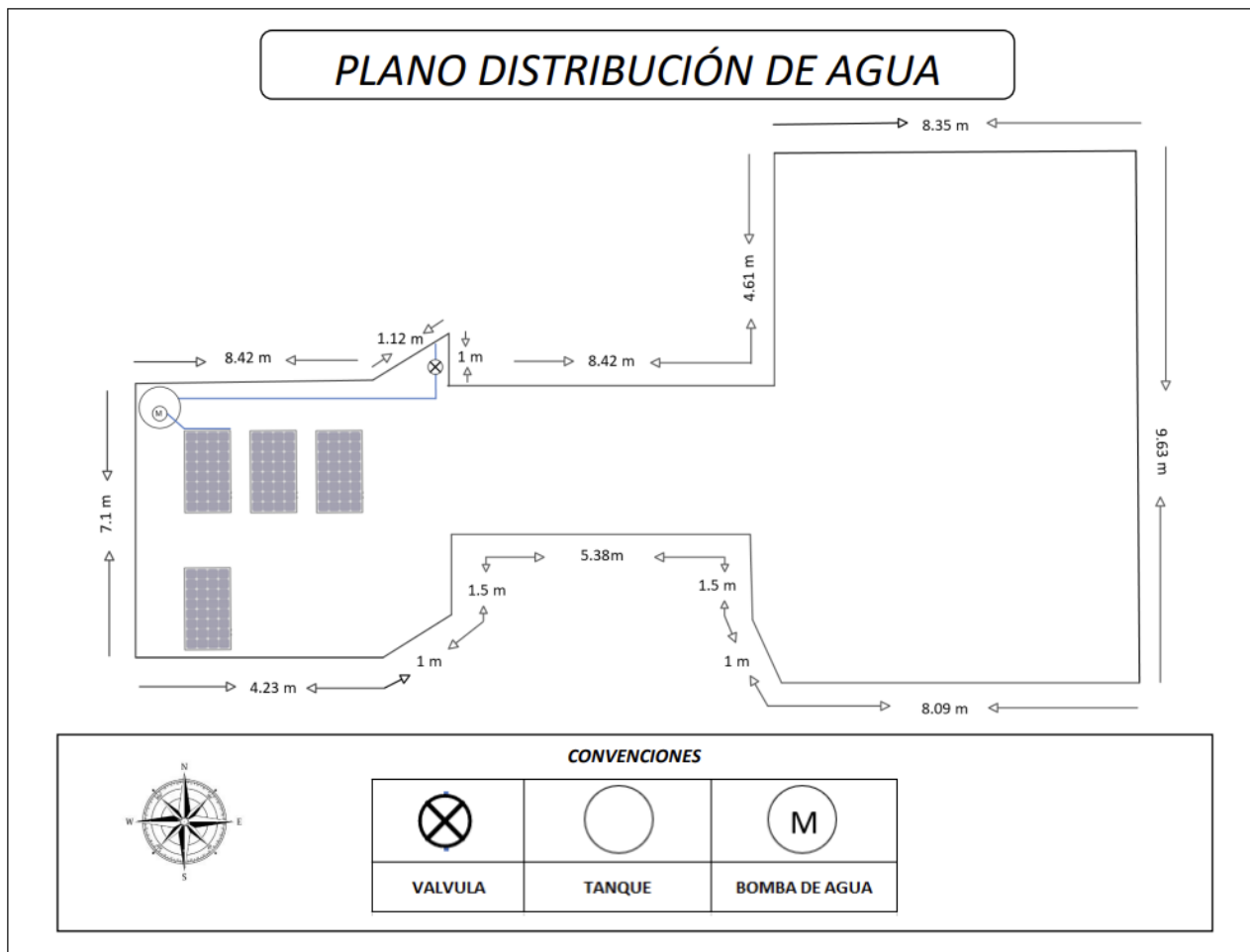
**Figura 21.** Visualización del Aplicativo Blynk

**Fuente.** Tomado del Aplicativo Blynk

Como se observar en la **Figura 21** es la interfaz de la aplicación blynk, en el escenario 1 de sistema con agua que contiene diferentes tiempos de memoria respecto al tiempo de medición, creando una línea de tiempo de temperaturas, sin contar que se puede observar en tiempo real la temperatura emitida por el sensor para detallar la lectura del funcionamiento del sistema.

### 6.2.6. Montaje del sistema de refrigeración por aspersión de agua

El sistema de agua por bombeo se encuentra compuesto por los siguientes materiales: una tubería de PVC, una bomba sumergible, un tanque de 500[L], una manguera y aspersores de riego.



**Figura 22.** Diagrama de Refrigeración de los Paneles Solares

**Fuente.** Elaboración Propia.

Se puede observar en la **Figura 22** que este sistema funciona a través de una llave de paso de agua que se encuentra ubicada en la terraza, suministrando la fuente de agua para entregar al tanque, esta se encuentra sumergida la bomba, para que esta sea la que alimente y logre expulsar el agua. Esta bomba se encuentra seguida de una manguera, la cual se encuentra en la parte superior del panel. Seguido de este proceso la manguera esta perforada con algunos diminutos orificios dónde están los aspersores.

### 6.2.7. Aplicación Del Experimento

Basados en la aplicación del experimento realizado, se proceden a aplicar los seis tratamientos planteados con los factores y niveles definidos, en los dos escenarios planteados; ya que la variable de salud es el rendimiento, se trabajará con la diferencia en los

rendimientos de cada escenario en cada tratamiento; ya que esto permite comprar y evaluar el escenario con riego respecto al escenario base convencional. Durante este registro de datos también se realizan las mediciones del consumo de la bomba que alimenta el sistema de riego para más adelante conocer su impacto en el rendimiento neto del sistema para cada tratamiento. A partir de esto se tienen los tratamientos para la realización de pruebas y toma de datos:

**Tabla 15.** *Tratamientos definidos para la aplicación del experimento.*

Tratamiento	Temperatura [°C]	Tiempo de Riego [m]	$\Delta$ Rendimiento [%]
1	40	1	Respuesta
2	40	2	Respuesta
3	50	1	Respuesta
4	50	2	Respuesta
5	60	1	Respuesta
6	60	2	Respuesta

**Fuente.** Elaboración Propia

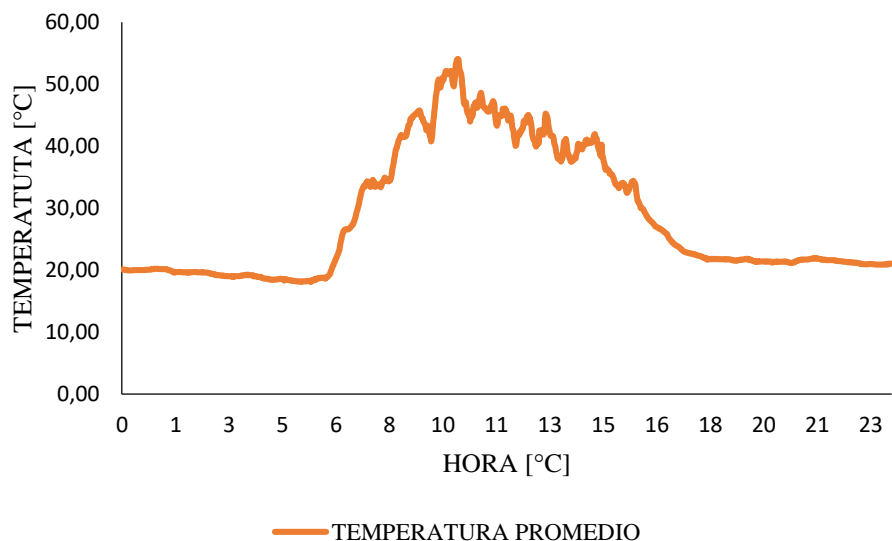
Para conocer la variable de respuesta el valor de la potencia es obtenida de la información entregada por el microinversor a través del sistema de monitoreo e la ECU-R en la aplicación móvil. En este caso solo se tiene en cuenta los datos de potencia de los paneles propuestos para los dos escenarios (entrada 2 y entrada 4) del microinversor; y de esta manera conocer la producción energética de cada uno de ellos y a partir de ello el rendimiento para cada panel solar.

### 6.3. EVALUACIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

En el desarrollo de esta fase correspondiente a la evaluación y análisis de resultados se presentan los datos recopilados durante la aplicación del análisis del experimento, así como su análisis. Inicialmente se encuentra el apartado de parametrización dónde se establecen los niveles para la temperatura de activación, la normalización dónde teniendo en cuenta las diferencias de la producción de los paneles se normalizan a iguales condiciones, se presentan los resultados para cada tratamiento y finalmente un análisis de cada uno de ellos. Es importante resaltar que, para el análisis de los datos de cada tratamiento, se hace bajo las condiciones de rendimiento bruto y rendimiento neto; teniendo en cuenta el consumo de la bomba.

#### 6.3.1. Parametrización

Para definir los valores de los tres niveles para el factor de temperatura de activación del análisis del experimento; se realizó una semana de pruebas registrando las temperaturas del panel solar del escenario base para conocer los rangos de temperatura en los cuales operaba el módulo solar. Teniendo en cuenta los datos registrados para una semana de mediciones se observa en la *Ilustración 1* :



**Ilustración 1.** *Temperatura promedio del Panel Solar en el Escenario Base.*

**Fuente.** Elaboración Propia

Como se puede observar en **Ilustración 1**, los valores más altos oscilan entre los 40°C y 60°C. Teniendo en cuenta estos datos registrados se define la temperatura de 60°C para el nivel alto del factor, 50°C para el nivel medio y 40°C para el nivel bajo de temperatura de activación para la realización de los tratamientos del análisis experimental, tal como se observa en la **Tabla 16**. Finalmente se define como valor medio de la temperatura de activación un valor entre el rango de los dos límites definidos, estableciendo 50°C para el nivel de temperatura media del factor de temperatura de activación.

**Tabla 16.** *Niveles Definidos por el Factor de temperatura de activación*

Temperatura de refrigeración de la celda	Descripción
60°C	Nivel 1
50°C	Nivel 2
40°C	Nivel 3

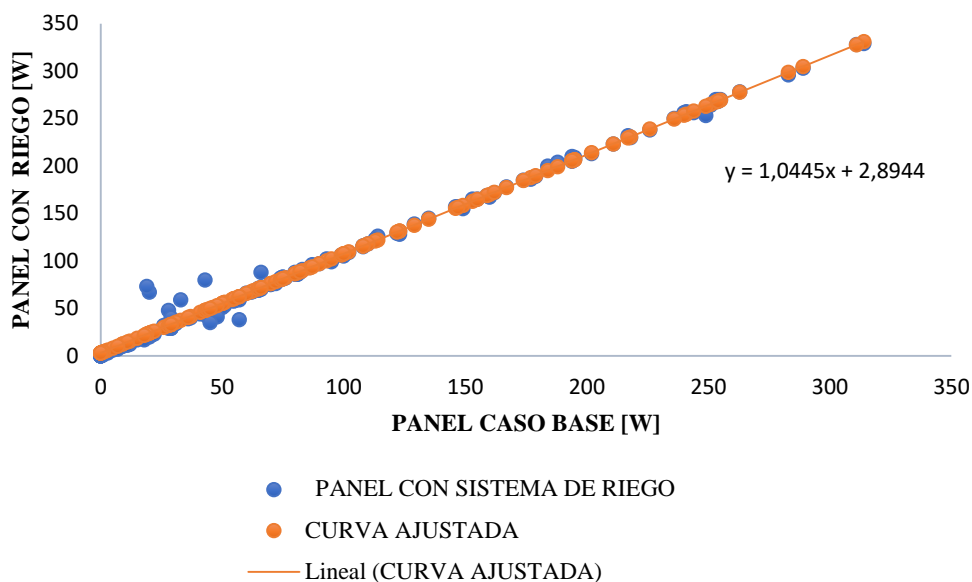
**Fuente.** Elaboración Propia

### 6.3.2. Normalización

A pesar de que los dos módulos estaban en iguales condiciones, es necesario, en primera instancia verificar que su desempeño es igual, o realizar un proceso de normalización y definir el error en el punto de partida. Para este fin, se realizó un día de medición de potencia generada por cada panel; dónde al obtener los resultados en condiciones iguales fue evidente que uno de ellos presentaba una menor producción energética, por lo que se requería hacer una normalización.

Utilizando la herramienta de Excel para el análisis de datos, se realizó el análisis de varianza, la cual analiza la variación de los datos y sirve para comparar si dos o más grupos son estadísticamente distintos o no, con el fin de conocer el factor o la ecuación que describía la

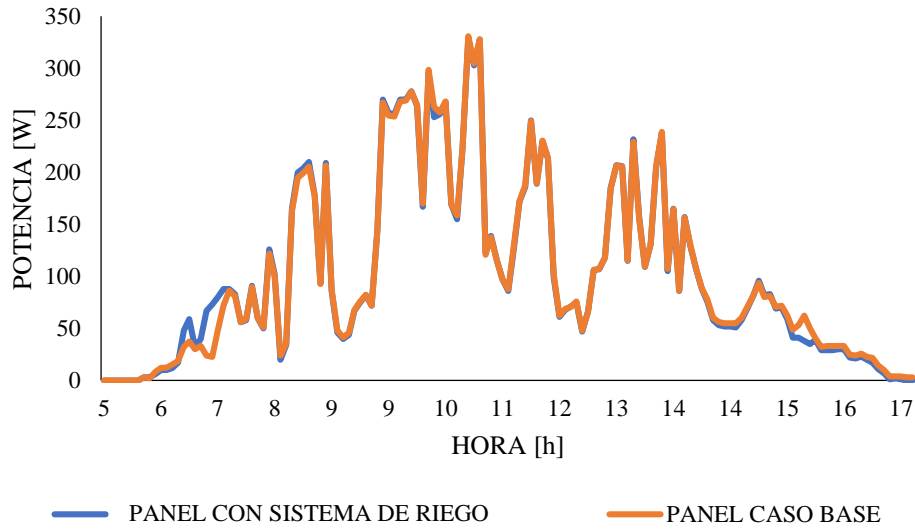
diferencia entre los datos de potencia e identificar cuáles eran las causas de esta. De esta manera utilizando el análisis de regresión y teniendo en cuenta el análisis de residuos se logró obtener la ecuación para modelar la diferencia entre los datos de la potencia de ambos paneles.



**Ilustración 2.** Curva de regresión ajustada para los datos de potencia en dos paneles solares.

**Fuente.** Elaboración propia

Como lo muestra la **Ilustración 2**, el análisis de residual permite comparar si las hipótesis del modelo de regresión se cumplen. Basados en los valores de los residuales; Excel proporcionó una gráfica dónde se relacionan los datos de potencia para el panel que será enfriado con agua y el panel que será el caso base; dónde el resultado es un pronóstico de datos ajustados para el panel base con relación a los datos de potencia del panel a enfriar, descritos por una ecuación lineal. Como se muestra en la **Ilustración 3**, se obtienen dos curvas para el comportamiento de la potencia en valores iguales o cercanos de temperatura para cada punto; por otra parte, se observa que al inicio el panel con sistema de riego tiene una mayor producción con respecto al caso base, por lo cual se compensa al final con un incremento en la producción del panel base; esto es debido a las sombras ocasionadas por los reflectores solares, de manera que al comparar las áreas bajo cada una de las curvas se encontró que el porcentaje de error entre ellas es del 0,72%, siendo un valor aceptable, que se validó comparando los datos de 3 días de operación de los módulos.



**Ilustración 3.** Curva normalizada de la potencia entregada por los dos paneles para cada escenario

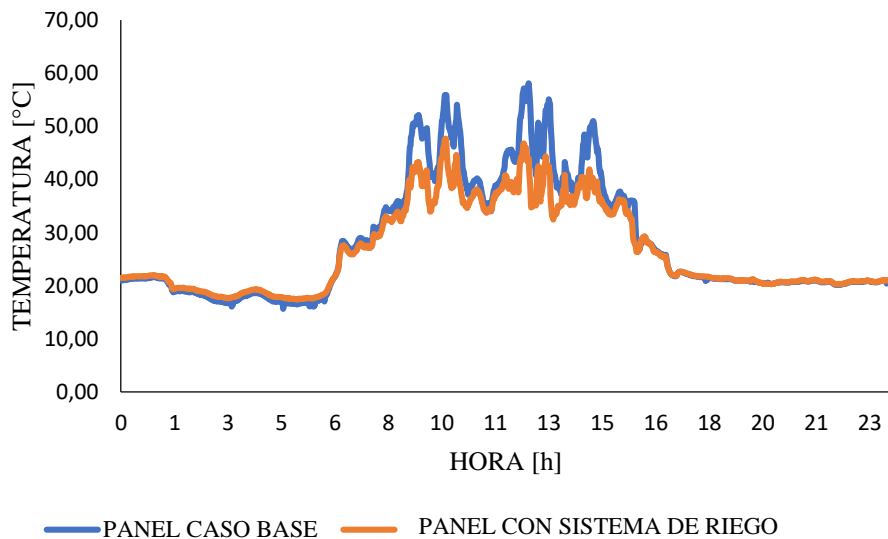
**Fuente.** Elaboración Propia

### 6.3.3. Análisis Del Experimento

De acuerdo con la aplicación del experimento que se puede observar en la **Tabla 15** se proceden a analizar los seis tratamientos, permitiendo evaluar y comparar el escenario de riego respecto al escenario base.

#### TRATAMIENTO 1

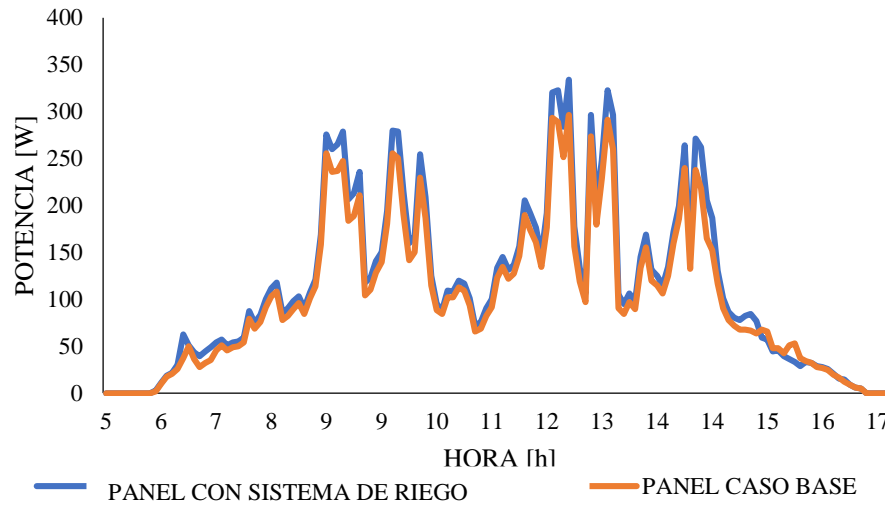
Para el primer tratamiento se definen las condiciones para el escenario con riego teniendo en cuenta una temperatura de activación de 40°C y un tiempo de riego de 1 minuto. Estos datos se analizan con respecto a los obtenidos del escenario base para el mismo día de prueba.





**Ilustración 4.** Comparación de temperaturas de celda registradas por los dos paneles para el primer tratamiento del experimento

**Fuente.** Elaboración Propia

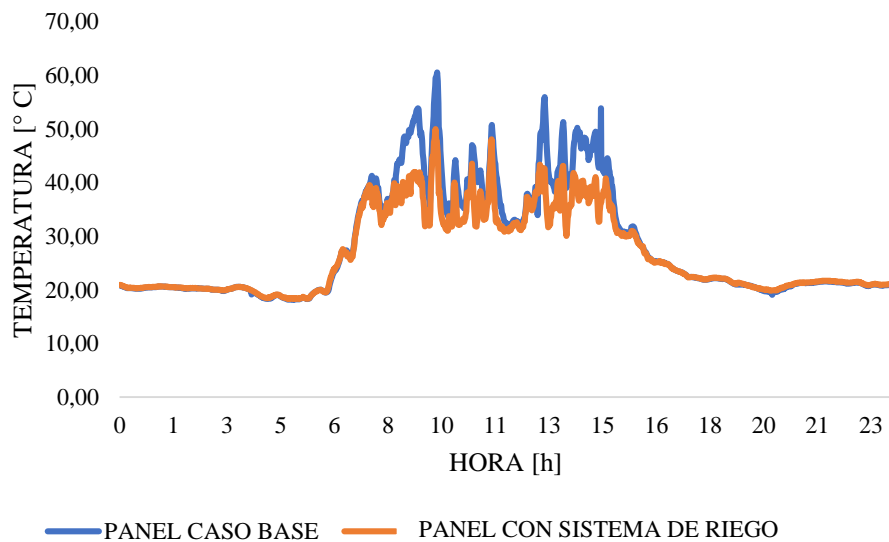


**Ilustración 5.** Comparación de Potencias entregadas por los dos paneles para el primer tratamiento del experimento.

**Fuente.** Elaboración Propia

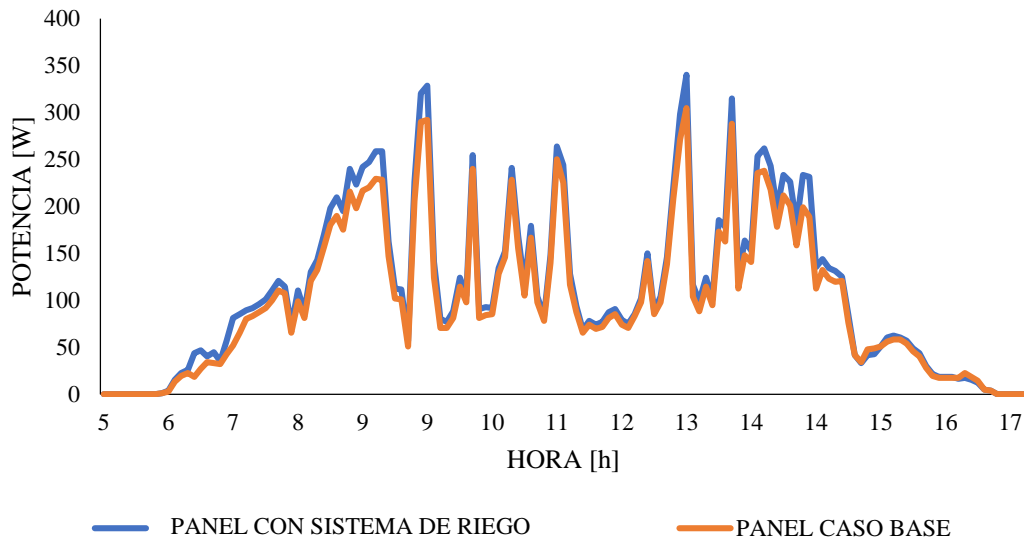
## TRATAMIENTO 2

Para el segundo tratamiento se definen las condiciones para el escenario con riego teniendo en cuenta una temperatura de activación de 40°C y un tiempo de riego de 2 minutos. Estos datos se analizan con respecto a los obtenidos del escenario base para el mismo día de prueba.



**Ilustración 6.** Comparación de temperaturas de celda registradas por los dos paneles para el segundo tratamiento del experimento.

**Fuente.** Elaboración Propia



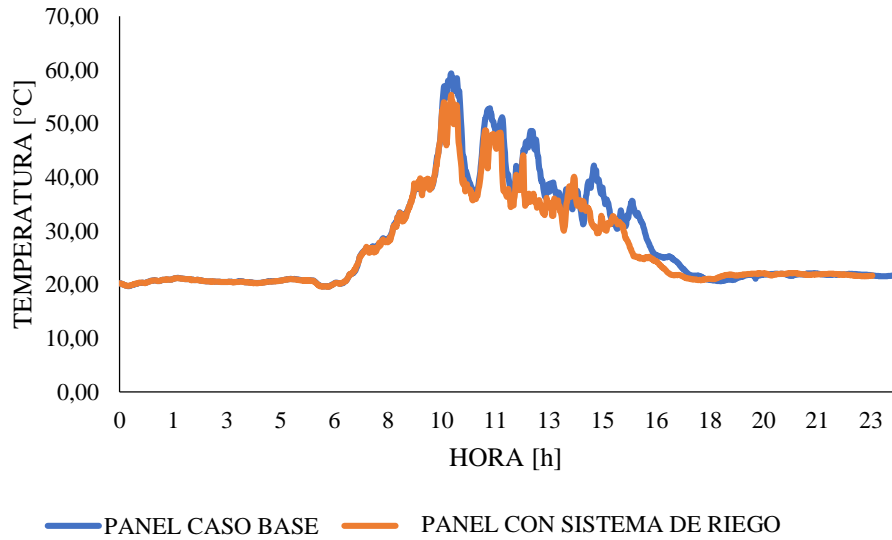
**Ilustración 7.** Comparación de Potencias entregadas por los dos paneles para el segundo tratamiento del experimento.

**Fuente.** Elaboración Propia

Como se puede observar en la **Ilustración 4** e **Ilustración 6** en los tratamientos 1 y 2; para una temperatura de 40°C como set point, el sistema de refrigeración, aunque no logra mantener la temperatura en el punto deseado; este puede reducir la temperatura del panel solar con respecto al caso base y aumentar su producción de energía, teniendo un mejor impacto en el mayor tiempo de riego.

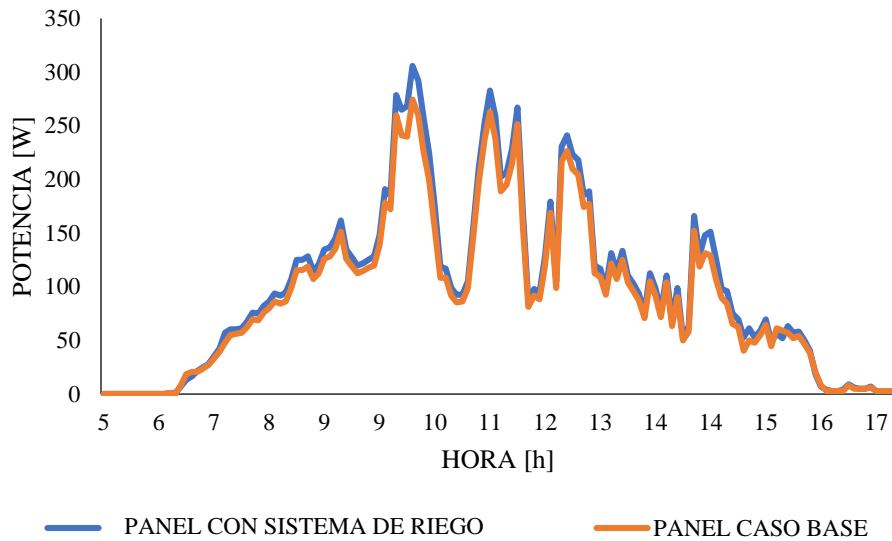
### TRATAMIENTO 3

Para el tercer tratamiento se definen las condiciones para el escenario con riego teniendo en cuenta una temperatura de activación de 50°C y un tiempo de riego de 1 minuto. Estos datos se analizan con respecto a los obtenidos del escenario base para el mismo día de prueba.



**Ilustración 8.** Comparación de temperaturas de celda registradas por los dos paneles para el tercer tratamiento del experimento.

**Fuente.** Elaboración Propia

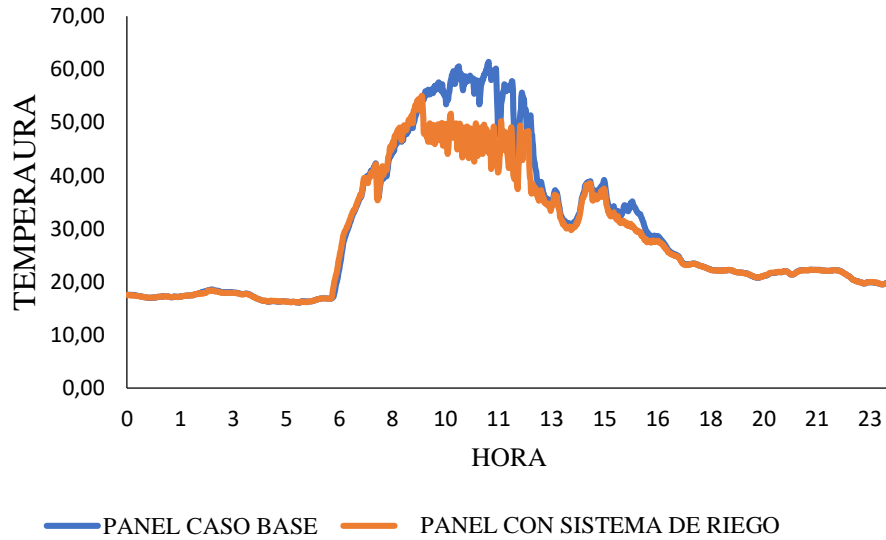


**Ilustración 9.** Comparación de Potencias entregadas por los dos paneles para el tercer tratamiento del experimento.

**Fuente.** Elaboración Propia

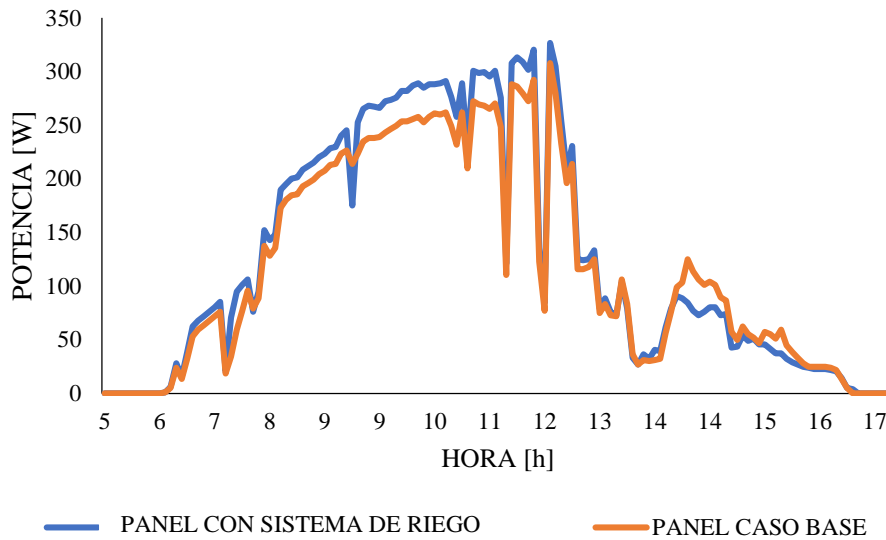
#### TRATAMIENTO 4

Para el cuarto tratamiento se definen las condiciones para el escenario con riego teniendo en cuenta una temperatura de activación de 50°C y un tiempo de riego de 2 minuto. Estos datos se analizan con respecto a los obtenidos del escenario base para el mismo día de prueba.



**Ilustración 10.** Comparación de temperaturas de celda registradas por los dos paneles para el cuarto tratamiento del experimento.

**Fuente.** Elaboración Propia



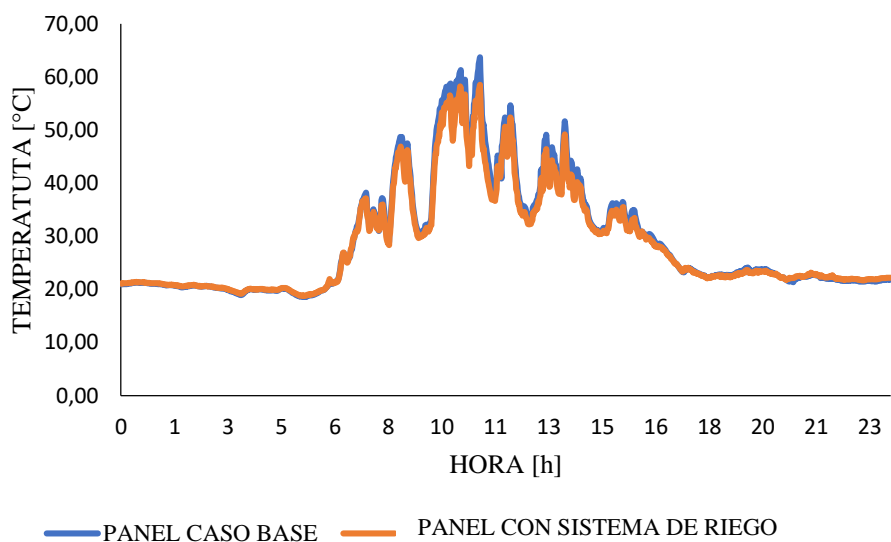
**Ilustración 11.** Comparación de Potencias entregadas por los dos paneles para el cuarto tratamiento del experimento.

**Fuente.** Elaboración Propia

Como se puede observar en la **Ilustración 8** e **Ilustración 10** para los tratamientos 3 y 4; se evidenció que para una temperatura de activación de 50°C como set point, el sistema de refrigeración logra reducir y mantener la temperatura de celda al punto deseado; aumentando la producción energética para el panel con sistema de riego en comparación al caso base.

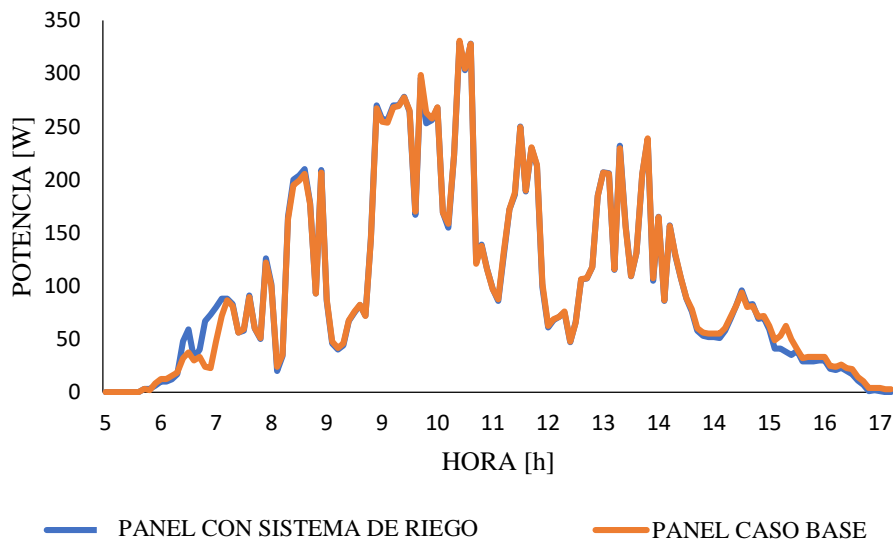
## TRATAMIENTO 5

Para el quinto tratamiento se definen las condiciones para el escenario con riego teniendo en cuenta una temperatura de activación de 60°C y un tiempo de riego de 1 minuto. Estos datos se analizan con respecto a los obtenidos del escenario base para el mismo día de prueba.



**Ilustración 12.** Comparación de temperaturas de celda registradas por los dos paneles para el quinto tratamiento del experimento.

**Fuente.** Elaboración Propia

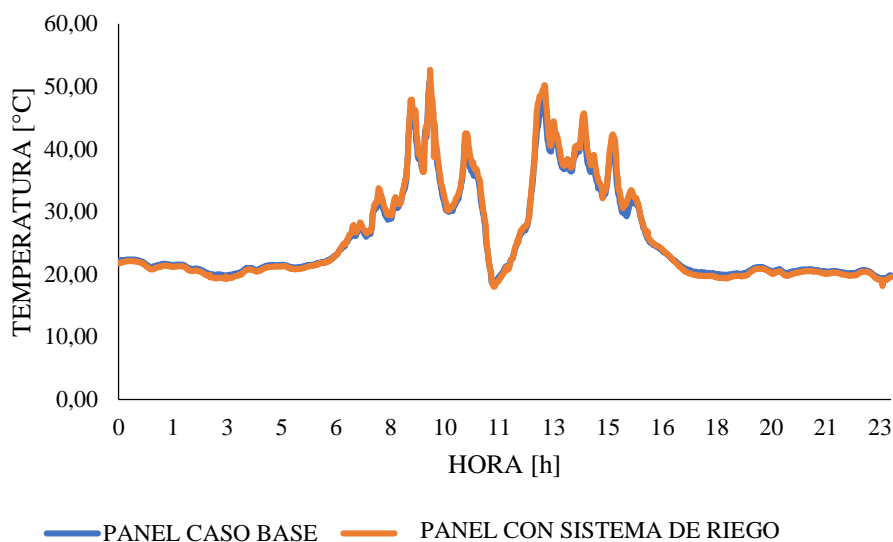


**Ilustración 13.** Comparación de Potencias entregadas por los dos paneles para el quinto tratamiento del experimento.

**Fuente.** Elaboración Propia

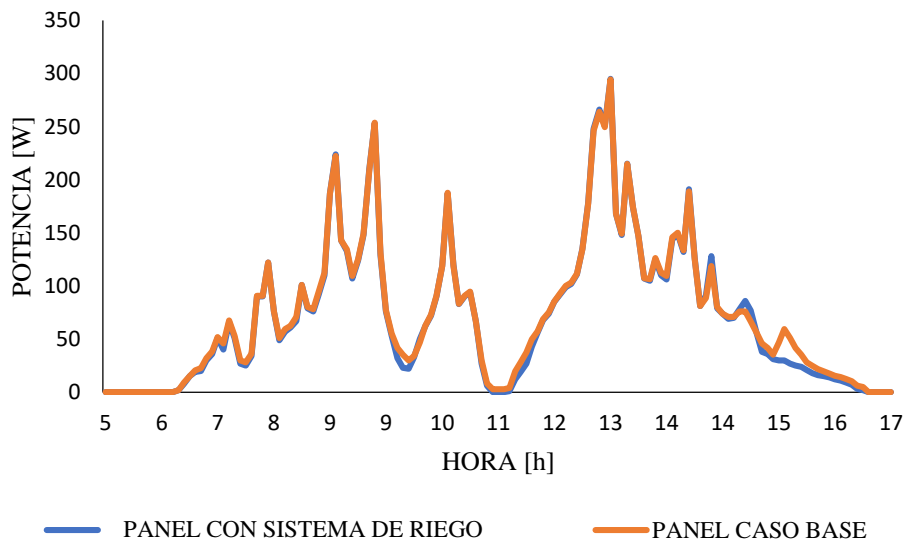
## TRATAMIENTO 6

Para el sexto tratamiento se definen las condiciones para el escenario con riego teniendo en cuenta una temperatura de activación de 60°C y un tiempo de riego de 2 minutos. Estos datos se analizan con respecto a los obtenidos del escenario base para el mismo día de prueba.



**Ilustración 14.** Comparación de temperaturas de celda registradas por los dos paneles para el sexto tratamiento del experimento.

**Fuente.** Elaboración Propia



**Ilustración 15.** Comparación de Potencias entregadas por los dos paneles para el sexto tratamiento del experimento.

**Fuente.** Elaboración Propia

Como se puede observar en la *Ilustración 12* e *Ilustración 14*, para los tratamientos 5 y 6; se mostró que para una temperatura de 60°C como set point, el sistema de refrigeración no se activa ya que el panel solar no alcanza este nivel de temperatura de celda; por lo tanto, no se considera un nivel de temperatura necesario para el rango de operación del sistema de refrigeración.

#### 6.3.4. Resultados Del Análisis Del Experimento

A continuación, se presentan los resultados obtenidos y su respectivo análisis en vista de los dos tipos de rendimiento, el rendimiento bruto y el rendimiento neto considerando el consumo de la bomba y de esta manera determinar su influencia en el sistema analizado.

##### ➤ Rendimiento Bruto

En la *Tabla 17* se observan los resultados para el rendimiento bruto del sistema y las diferencias en los rendimientos del escenario base y el escenario con riego.

**Tabla 17.** Rendimientos brutos obtenidos para cada tratamiento del experimento.

Tratamiento	Escenario	Rendimiento Bruto [%]	$\Delta$ Rendimiento Bruto [%]
1	0	52	5
	1	57	
2	0	56	6
	1	61	
3	0	50	4
	1	54	
4	0	65	4
	1	69	
5	0	55	0
	1	55	
6	0	55	0
	1	55	

Fuente. Elaboración Propia

#### - Análisis Para El Rendimiento Bruto

Para verificar y analizar los tratamientos y su interacción tienen un efecto significativo en la variable de respuesta, que en nuestro caso es la diferencia en los rendimientos de cada tratamiento, con el fin de comparar los tratamientos en cada uno de los escenarios analizados. Se llevó a cabo un diseño factorial completo en el software Minitab ©, teniendo en cuenta: los análisis de Anova, que se pueden observar en la *Tabla 18*, *Tabla 19* y el diagrama de Pareto de temperatura de activación por tiempo de riego que se observa en la *lustración 16*. Es importante resaltar que esta parte del análisis se realiza para el rendimiento bruto del sistema.

**Tabla 18.** Análisis de varianza para la Anova del factor de temperatura de activación.

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
TEMPERATURA DE ACTIVACION	2	32,3333	16,1667	97,00	0,002
Error	3	0,5000	0,1667		
Total	5	32,8333			

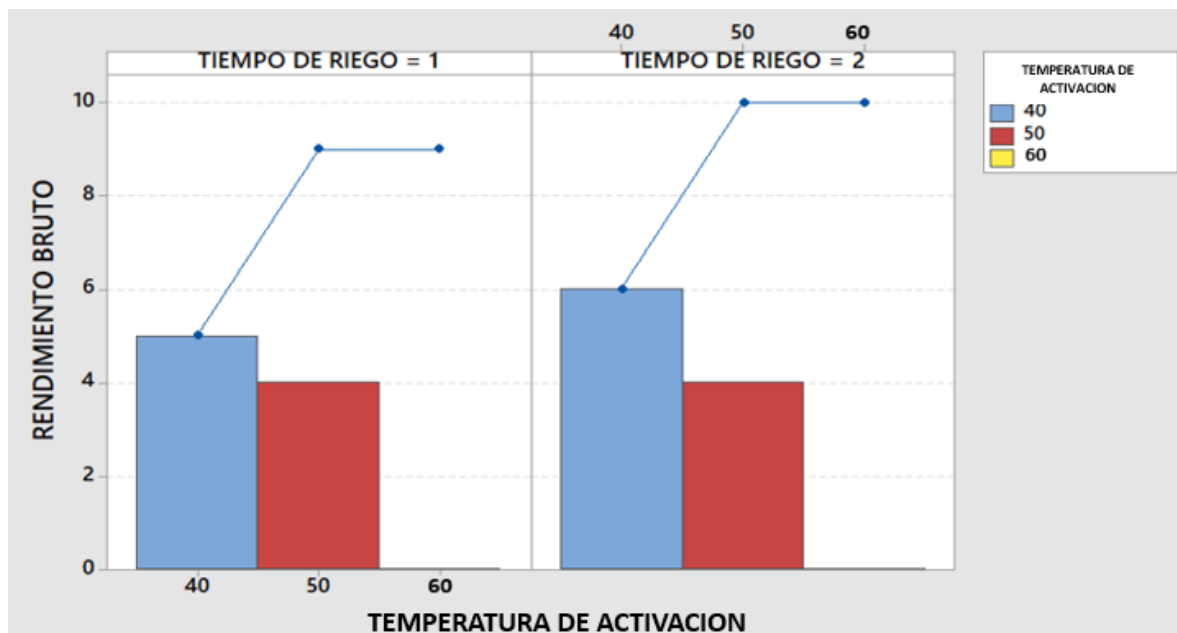
**Fuente.** Elaboración Propia en Minitab ©

En esta **Tabla 18** se puede observar un valor F considerablemente grande, lo que indica que el modelo utilizado es significativo.

**Tabla 19.** Resumen del modelo para la Anova del factor de temperatura de activación.

S	R-cuad.	R- cuad. (ajustado)	R-cuad (pred)
0,408248	98,48%	97,46%	93,91%

**Fuente.** Elaboración Propia en Minitab ©



**Ilustración 16.** Diagrama de Pareto para el rendimiento bruto de temperatura de activación por tiempo de riego.

**Fuente.** Tomado del Software Minitab ©



➤ **Rendimiento Neto**

A continuación, se presentan los resultados para el rendimiento neto del sistema, teniendo en cuenta la **Tabla 20** donde se observa el consumo medido de la bomba en los aspersores del sistema de riego; este se le resta a la energía generada del panel con sistema de riego. También se muestra en la **Tabla 21** las diferencias en los rendimientos del escenario base y el escenario riego.

**Tabla 20.** Consumo de la bomba para cada tratamiento.

Tratamiento	Potencia De La Bomba [Kw]	Tiempo [H]	Energía Consumida [Kwh]
1	0,02	1,78	0,036
2		1,38	0,028
3		0,53	0,011
4		0,42	0,008
5		0	0,000
6		0	0,000

**Fuente.** Elaboración Propia

En este apartado se muestran los resultados para el rendimiento neto del sistema, teniendo en cuenta el consumo medido de la bomba para los aspersores del sistema de riego; este se le resta a la energía generada del panel con sistema de riego. También se muestran las diferencias en los rendimientos del escenario base y el escenario con riego. En la **Tabla 20** muestra la energía medida para el consumo de la bomba durante la aplicación de cada uno de los tratamientos en el análisis experimental, cuya diferencia con el rendimiento bruto del panel con sistema de riego, permitirá calcular el rendimiento neto.

**Tabla 21.** Rendimientos Netos obtenidos para cada tratamiento del experimento.

Tratamiento	Escenario	Rendimiento Neto [%]	$\Delta$ Rendimiento Neto [%]
1	0	52	2
	1	54	
2	0	56	3
	1	59	
3	0	50	3
	1	53	
4	0	65	4
	1	69	
5	0	55	0
	1	55	
6	0	55	0
	1	55	

**Fuente.** Elaboración Propia

- **Análisis Para El Rendimiento Neto**

Para verificar y analizar los tratamientos y su interacción tienen un efecto significativo en la variable de respuesta, que en nuestro caso es las diferencia en los rendimientos de cada tratamiento, con el fin de comparar los tratamientos en cada uno de los escenarios analizados. Se llevó a cabo un diseño factorial completo en el software Minitab ©, teniendo en cuenta los análisis de Anova, que se pueden observar en la **Tabla 22**, **Tabla 23** y el diagrama de Pareto de temperatura de activación por tiempo de riego que se puede observar en la **Ilustración 17**. Es importante resaltar que esta parte del análisis se realiza para el rendimiento neto del sistema teniendo en cuenta el consumo de energía de la bomba.

**Tabla 22.** *Análisis de varianza para la Anova del factor de temperatura de activación.*

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
TEMPERATURA DE ACTIVACION	2	13,000	6,5000	19,50	0,019
Error	3	1,000	0,3333		
Total	5	14,000			

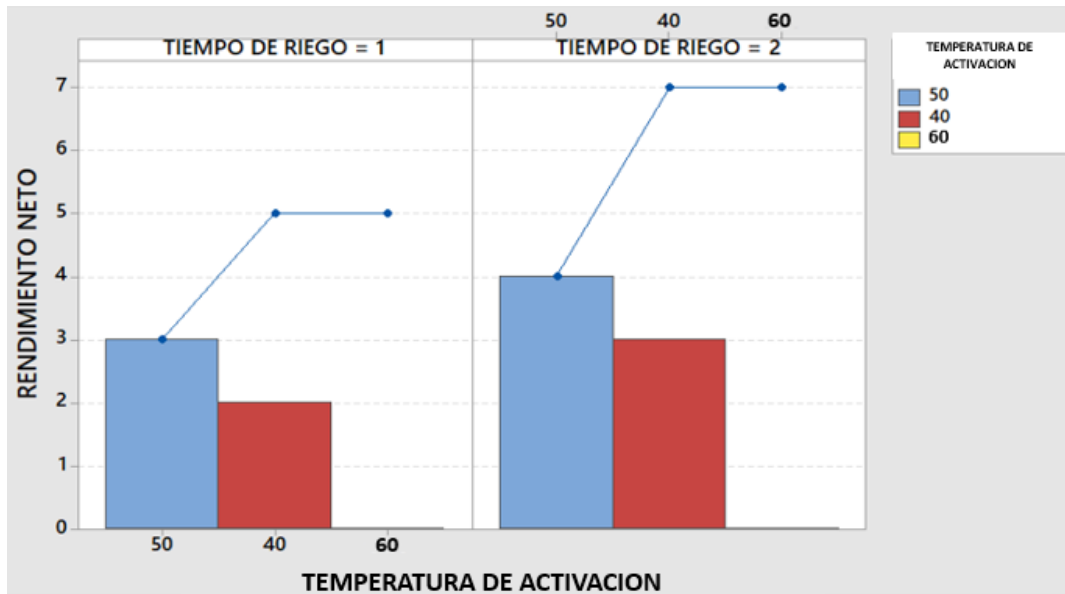
**Fuente.** Elaboración Propia en Minitab ©

En esta **Tabla 22** se puede observar un valor F considerablemente grande, lo que indica que el modelo utilizado es significativo.

**Tabla 23.** *Resumen del modelo para la Anova del factor de temperatura de activación.*

S	R-cuad.	R- cuad. (ajustado)	R-cuad (pred)
0,57735	92,86%	88,10%	71,43%

**Fuente.** Elaboración Propia en Minitab ©



**Ilustración 17.** *Diagrama de Pareto para el rendimiento neto de temperatura de activación por tiempo de riego.*

**Fuente.** Tomado del Software Minitab

## 7. CONCLUSIONES

- Se diseñò un experimento permitiò comparar el desempeño de dos módulos fotovoltaicos, teniendo como factores controlables la temperatura de activación y el tiempo del riego aplicado a uno de éstos, evaluando seis tratamientos por medio de los análisis de Anova para cada uno de los factores, apoyado por análisis de Pareto, que permitiò determinar que la temperatura objeto de 40°C es la ideal para la fijación del punto de refrigeración y que la diferencia de rendimientos era la variable indicada para hacer un estudio normalizado.
- Se implementò un Sistema Grid Tied en la terraza del Edificio la casona UNAB, que permite el monitoreo remoto de generación y temperatura de activación en tiempo real, soportado por una estación meteorològica para el monitoreo de las variables ambientales. Obteniendo un banco de pruebas que permite la toma de datos de las variables de interés, para evaluar acciones de mejora de la producción energética en paneles solares fotovoltaicos.
- Se evaluò el nivel de impacto en el rendimiento neto del módulo solar considerando el consumo energético de la bomba de un sistema de riego, encontrando que, para una frecuencia de 2 minutos de riego, se obtiene un incremento del 3%, y en rendimiento bruto (sin considerar el consumo de la bomba) 6%, lo que permite prever que para aplicaciones donde el flujo de agua hacia el módulo se pueda obtener sin consumo adicional, es una opción que puede tener un impacto considerable.

## 8. RECOMENDACIONES

- En busca de realizar mejoras en el sistema de refrigeración, se recomienda hacer pruebas para tiempos de riego mayores a 2 minutos, para el sistema de aspersión de agua, con el fin de determinar si existe un mayor impacto en la temperatura de celda del panel.
- Para futuros diseños de sistemas de refrigeración, queda instalado el banco de pruebas para paneles solares con monitoreo de variables, de esta manera es posible evaluar otras tecnologías de refrigeración y analizar sus mejoras e impacto en la producción de energía.
- Al momento de realizar los diseños e instalación del sistema fotovoltaico y sus mejoras, se recomienda evaluar correctamente el uso de los reflectores solares, teniendo en cuenta que su diseño favorezca el aumento de la producción energética.
- Para los sistemas de monitoreo utilizados es recomendable que estén instalados en un lugar cercano a un punto de acceso o conexión wifi, debido a que la Ecu-R tiene un mejor funcionamiento con conexión ethernet que con conexión wifi, lo que garantiza una mejor recolección de datos.
- Este proyecto puede tener una continuidad mejorando los diseños experimentales, dónde se logre optimizar los tiempos de riego y tener una mejor respuesta en el sistema, teniendo un mayor incremento en la producción de energía dónde se pueda evaluar la viabilidad financiera; en el caso del sistema relacionado con el bombeo de agua para el riego.

## REFERENCIAS

- al Dahoud, A., Fezari, M., & al Dahoud, A. (2021). Automatic solar panel cleaning system Design. *2021 29th Telecommunications Forum, TELFOR 2021 - Proceedings*.  
<https://doi.org/10.1109/TELFOR52709.2021.9653215>
- ANEXO GENERAL DEL RETIE RESOLUCIÓN 9 0708 DE AGOSTO 30 DE 2013 CON SUS AJUSTES ANEXO GENERAL REGLAMENTO TÉCNICO DE INSTALACIONES ELÉCTRICAS (RETIE)*. (n.d.).
- Basavaraj, G., Das, N., Ray, B., & Alam, F. (2021). PV Cell Output Power Enhancement by Cooling and Reduction of Reflection Losses from Mirror. *Proceedings of 2021 31st Australasian Universities Power Engineering Conference, AUPEC 2021*.  
<https://doi.org/10.1109/AUPEC52110.2021.9597820>
- Baskaran, S., Satchi, C. S., Amirtharajan, S., & Durai, M. M. S. (2022). Modeling and optimization of photovoltaic serpentine type thermal solar collector with thermal energy storage system for hot water and electricity generation for single residential building. *Environmental Science and Pollution Research*. <https://doi.org/10.1007/s11356-022-19957-7>
- Battioni, M., Risso, G., Cutrera, M., & Schmidt, J. (n.d.). EVALUACIÓN DE DISTINTOS METODOS PARA ESTIMAR LA TEMPERATURA DE OPERACION DE MÓDULOS FOTOVOLTAICOS Y ESTIMACION DE LAS PERDIDAS DE ENERGIA POR EFECTO DE LA TEMPERATURA. *Avances En Energías Renovables y Medio Ambiente*, 20, 4.
- Beily, M. D. E., Sinaga, R., Syarif, Z., Pae, M. G., & Rochani. (2020). Design and construction of a low cost of solar tracker two degree of freedom (DOF) based on arduino. *3rd International Conference on Applied Science and Technology, ICAST 2020*, 384–388.  
<https://doi.org/10.1109/iCAST51016.2020.9557665>
- Daniel, A.: & Murillo, G. (n.d.). *UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA DEPARTAMENT D'ENGINYERIA ELECTRÒNICA Tesis Doctoral "Modelado y análisis de sistemas fotovoltaicos."*
- Enrique, J., & Céspedes, S. (n.d.). *CELDA FOTOVOLTAICAS DE ALTA EFICIENCIA Y SISTEMA DE PANELES SOLARES DEL CUBESAT COLOMBIA 1 Redes de Ingeniería*

*HIGHLY EFFICIENT PHOTOVOLTAIC CELLS AND SO-LAR-PANEL SYSTEM AT CUBESAT COLOMBIA 1.*

- Fakouriyani, S., Saboohi, Y., & Fathi, A. (2019a). Experimental analysis of a cooling system effect on photovoltaic panels' efficiency and its preheating water production. *Renewable Energy*, 1362–1368. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2018.09.054>
- Fakouriyani, S., Saboohi, Y., & Fathi, A. (2019b). Experimental analysis of a cooling system effect on photovoltaic panels' efficiency and its preheating water production. *Renewable Energy*, 1362–1368. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2018.09.054>
- Firman, A., Toranzos, V., Sanchez, R., Busso, A., Cadena, C., & Vera, L. (n.d.). *ANÁLISIS DE PÉRDIDAS POR DESADAPTACIÓN EN CELDAS Y MÓDULOS FOTOVOLTAICOS*.
- Gako, G. (n.d.-a). *Diseños fases*.
- Gako, G. (n.d.-b). *Diseños fases*.
- Gallo Miranda, G., Salamanca Cárdenas, J., Batista Rodríguez, C., Santo Tomás, U., & Tunja, S. (2020). *DISEÑO, CONSTRUCCIÓN Y EVALUACIÓN DE UN SISTEMA DE REFRIGERACIÓN PARA EL PANEL FOTOVOLTAICO SP150P DESIGN, CONSTRUCTION AND EVALUATION OF A REFRIGERATION SYSTEM FOR THE SP150P PHOTOVOLTAIC PANEL DESENHO, CONSTRUÇÃO E AVALIAÇÃO DE UM SISTEMA DE REFRIGERAÇÃO PARA O PAINEL FOTOVOLTAICO SP150P Saúl Hernández Moreno* (Vol. 11, Issue 1).
- Gea, M., Montero, M. T., & Cadena, C. (2006). Impreso en la Argentina. *Avances En Energías Renovables y Medio Ambiente*, 10.
- Gelis, K., Ozbek, K., Celik, A. N., & Ozyurt, O. (2022). A novel cooler block design for photovoltaic thermal systems and performance evaluation using factorial design. *Journal of Building Engineering*, 48. <https://doi.org/10.1016/j.jobee.2021.103928>
- González, J. D., & Leguizamón, G. A. P. (2014). *Estimación de la cantidad de potencia suministrada por las celdas fotovoltaicas de un cubesat Estimation of power delivered by photovoltaic cells of a cubesat* (Vol. 18, Issue 41). <http://www.spectrolab.com>
- Guerrero Delgado, Mc., Sánchez Ramos, J., Rodríguez Jara, E. A., Molina Félix, J. L., & Álvarez Domínguez, S. (2018). Decision-making approach: A simplified model for energy performance evaluation of photovoltaic modules. *Energy Conversion and Management*, 177, 350–362. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2018.09.080>
- Hayakwong, E., & Matarach, A. (2021). Design of a low-cost and simple solar emulator for laboratory studies. *ECTI-CON 2021 - 2021 18th International Conference on Electrical Engineering/Electronics, Computer, Telecommunications, and Information Technology: Smart Electrical System and Technology, Proceedings*, 1059–1062. <https://doi.org/10.1109/ECTI-CON51831.2021.9454700>
- IEEE Computational Intelligence Society. Philippines Chapter, & Institute of Electrical and Electronics Engineers. (n.d.-a). *2019 IEEE 11th International Conference on Humanoid, Nanotechnology, Information Technology, Communication and Control, Environment, and Management (HNICEM)*.

- IEEE Computational Intelligence Society. Philippines Chapter, & Institute of Electrical and Electronics Engineers. (n.d.-b). *2019 IEEE 11th International Conference on Humanoid, Nanotechnology, Information Technology, Communication and Control, Environment, and Management (HNICEM)*.
- IEEE Computer Society. Malaysia Chapter, & Institute of Electrical and Electronics Engineers. (n.d.). *2018 International Conference on Computational Approach in Smart Systems Design and Applications (ICASSDA): 15-17 Aug. 2018*.
- Implementacion-de-circuito-para-medir-la-eficiencia-en-la-produccion-de-energia-en-los-paneles-solares*. (n.d.).
- INFORME DE CALCULOS PARA SISTEMA SOLAR FOTOVOLTAICO PROYECTO* Nombre de la Organización: Asociación Municipal de Colonos del Pato-AMCOP. (n.d.). <https://new.abb.com/drives/es/eficiencia-energetica>.
- Institute of Electrical and Electronics Engineers. (n.d.). *2020 21st International Conference on Thermal, Mechanical and Multi-Physics Simulation and Experiments in Microelectronics and Microsystems (EuroSimE)*.
- Institute of Electrical and Electronics Engineers, & Université Echahid Hamma Lakhdar d'El Oued. (n.d.-a). *International Conference on Communications and Electrical Engineering: proceedings: December 17-18, 2018, El Oued, Algeria*.
- Institute of Electrical and Electronics Engineers, & Université Echahid Hamma Lakhdar d'El Oued. (n.d.-b). *International Conference on Communications and Electrical Engineering: proceedings: December 17-18, 2018, El Oued, Algeria*.
- Jerez, J. E. N., Alfaro, M., Alfaro, I., & Guerra, R. (2020). Determining the efficiency of a mini photovoltaic solar panel: A laboratory experience in renewable energy. *Educación Química*, 31(2), 22–37. <https://doi.org/10.22201/fq.18708404e.2020.2.70300>
- Jesus Huaman Romoacca Para Optar Título Profesional De, B. el, Luis Jimenez Troncoso, I., & Nacional San Antonio Abad Del Cusco, U. de. (n.d.). *UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO FACULTAD DE INGENIERÍA ELÉCTRICA ELECTRÓNICA INFORMÁTICA Y MECÁNICA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA TESIS PRESENTADO POR: "ESTUDIO COMPARATIVO DE POTENCIA GENERADA POR PANELES FOTOVOLTAICOS MONOCRISTALINOS Y POLICRISTALINOS EN LA*.
- Jiang, S., He, X., & Sun, Q. (2018). The Measurement of Solar Panel's Sunshine Factors and Design of the Best Dip Angle; The Measurement of Solar Panel's Sunshine Factors and Design of the Best Dip Angle. In *2018 37th Chinese Control Conference (CCC)*.
- Kalair, A. R., Seyedmahmoudian, M., Mekhilef, S., & Stojcevski, A. (2022). *Dynamic Analysis of Solar Heat Stimulated Residential Absorption Cooling with Integrated Thermal Wall for Space Heating*. 1–5. <https://doi.org/10.23919/splitech55088.2022.9854291>
- Kalaiselvan, S., Karthikeyan, V., Rajesh, G., Sethu Kumaran, A., Ramkiran, B., & Neelamegam, P. (2018). Solar PV Active and Passive Cooling Technologies-A Review. *7th IEEE International Conference on Computation of Power, Energy, Information and Communication, ICCPEIC 2018*, 166–169. <https://doi.org/10.1109/ICCPEIC.2018.8525185>



- Kalasalingam University. IEEE Student Branch., Institute of Electrical and Electronics Engineers. Madras Section, & Institute of Electrical and Electronics Engineers. (n.d.). *Proceedings of the 2017 IEEE International Conference on Intelligent Techniques in Control, Optimization & Signal Processing, INCOS'17: 23rd-25th March 2017.*
- Laseinde, O. T., & Ramere, M. D. (2021). Efficiency Improvement in polycrystalline solar panel using thermal control water spraying cooling. *Procedia Computer Science*, 180, 239–248. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2021.01.161>
- Lopez, E. (n.d.). *Caida de tension VII BETCON Related papers.*
- Minakova, K., & Zaitsev, R. (2021). Photovoltaic thermal PV/T systems: Increasing efficiency method. *2021 IEEE 2nd KhPI Week on Advanced Technology, KhPI Week 2021 - Conference Proceedings*, 303–306. <https://doi.org/10.1109/KhPIWeek53812.2021.9570090>
- Modelado y estudio del impacto de sombras sobre paneles solares.* (n.d.).
- Molina, L. A., & de Ciencias, F. (n.d.). *UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA La UNALM es titular de los derechos patrimoniales de la presente investigación (Art. 24-Reglamento de Propiedad Intelectual).*
- Mowafy, A. G. E. M. I. (2021). Water-based Photovoltaic-Thermal Hybrid system. *2021 IEEE 62nd International Scientific Conference on Power and Electrical Engineering of Riga Technical University, RTUCON 2021 - Proceedings.* <https://doi.org/10.1109/RTUCON53541.2021.9711742>
- Nhut, L. M., & Linh, D. T. T. (2020). Effects of the Relative Humidity on the Performance of Thermoelectric Freshwater Generator using Solar Power Source. *Proceedings of 2020 5th International Conference on Green Technology and Sustainable Development, GTSD 2020*, 232–235. <https://doi.org/10.1109/GTSD50082.2020.9303119>
- Oyola, J. S., & Gordillo, G. (n.d.). *Estado del arte de los materiales fotovoltaicos y de la tecnología solar fotovoltaica Recibido: Julio 15 de 2007-Aceptado: septiembre 30 de 2007.*
- Peres, A. C., Calili, R., & Louzada, D. (2020). Impacts of photovoltaic shading devices on energy generation and cooling demand. *Conference Record of the IEEE Photovoltaic Specialists Conference, 2020-June* 1186–1191. <https://doi.org/10.1109/PVSC45281.2020.9300488>
- Por, P., Luis, E., & Vallejo, C. (n.d.). *UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN CRISTOBAL DE HUAMANGA FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS ESCUELA DE FORMACION PROFESIONAL DE AGRONOMIA CALCULO E INSTALACION DE PANELES SOLARES FOTOVOLTAICOS-PAQUICHARI-LA MAR-AYACUCHO Tesis para Obtener el Título Profesional de INGENIERO AGRONOMO.*
- Prasetyani, L., Arifianto, M. J. F., Subagio, D., Sarfat, W., & Aprilyanto. (2020). Experimental Analysis Design of Solar Panel Energy Monitoring Prototype. *7th International Conference on Information Technology, Computer, and Electrical Engineering, ICITACEE 2020 - Proceedings*, 236–240. <https://doi.org/10.1109/ICITACEE50144.2020.9239166>
- PROYECTO DE NORMA TÉCNICA COLOMBIANA NTC 2050 (Primera actualización) CÓDIGO ELÉCTRICO COLOMBIANO.* (n.d.-a).

*PROYECTO DE NORMA TÉCNICA COLOMBIANA NTC 2050 (Primera actualización) CÓDIGO ELÉCTRICO COLOMBIANO.* (n.d.-b).

- Rahim, M. S. B. A., Tajuddin, M. F. N. bin, Saad, M. S., Nalini, C., Edaris, Z. L. B., & Hasanuzzaman, M. (2021). Power Generation Improvement using Active Water Cooling for Photovoltaic (PV) Panel. *2021 4th International Conference on Electrical, Computer and Communication Technologies, ICECCT 2021*.  
<https://doi.org/10.1109/ICECCT52121.2021.9616889>
- Rakino, S. A., Suherman, S., Hasan, S., Rambe, A. H., & Gunawan. (2019). A Passive Cooling System for Increasing Efficiency of Solar Panel Output. *Journal of Physics: Conference Series, 1373*(1). <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1373/1/012017>
- Reza, N., & Mondol, N. (2021a, July 8). Design and implementation of an automatic single axis tracking with water-cooling system to improve the performance of solar photovoltaic panel. *2021 International Conference on Automation, Control and Mechatronics for Industry 4.0, ACMI 2021*. <https://doi.org/10.1109/ACMI53878.2021.9528189>
- Reza, N., & Mondol, N. (2021b, July 8). Design and implementation of an automatic single axis tracking with water-cooling system to improve the performance of solar photovoltaic panel. *2021 International Conference on Automation, Control and Mechatronics for Industry 4.0, ACMI 2021*. <https://doi.org/10.1109/ACMI53878.2021.9528189>
- Ruiz, R., Profesor, O., & Salas Merino, V. (n.d.). *ANÁLISIS DE LA CORRECCIÓN DE LAS CURVAS CARACTERÍSTICAS I-V DE MÓDULOS FOTOVOLTAICOS*.
- Saeedi, M., & Effatnejad, R. (2021). A modern design of dual-axis solar tracking system with ldr sensors by using the wheatstone bridge circuit. *IEEE Sensors Journal, 21*(13), 14915–14922. <https://doi.org/10.1109/JSEN.2021.3072876>
- Santiago, A., Morales, R., & Mauricio Hernández Gómez, O. (n.d.). *Síntesis de la Normatividad Colombiana Para Instalaciones Solares Fotovoltaicas*.
- Shrivastava, A., Prakash Arul Jose, J., Dilip Borole, Y., Saravanakumar, R., Sharifpur, M., Harasi, H., Abdul Razak, R. K., & Afzal, A. (2022). A study on the effects of forced air-cooling enhancements on a 150 W solar photovoltaic thermal collector for green cities. *Sustainable Energy Technologies and Assessments, 49*. <https://doi.org/10.1016/j.seta.2021.101782>
- Singh, R., Patel, S. K., Kumar, N., Singh, R., Singh, B., & Dhingra, A. (2021). Photovoltaic Module Efficiency Improvement via Integration of Water Fountain. *2021 IEEE 8th Uttar Pradesh Section International Conference on Electrical, Electronics and Computer Engineering, UPCON 2021*. <https://doi.org/10.1109/UPCON52273.2021.9667593>
- Sociedad, U. Y., Morales, C. H., Yanes, J. P. M., Dala, H. E., & Borges, R. J. (2020). *Volumen 12 / Número 6 / Noviembre-diciembre*.
- Tirsu, M., Covalenco, N., Zaitsev, D., Negura, I., Gavrilas, M., & Neagu, B. C. (2021). Photovoltaic-Thermal System for Trigenerating Electricity, Hot Water and Cold. *SIELMEN 2021 - Proceedings of the 11th International Conference on Electromechanical and Energy Systems, 92–96*. <https://doi.org/10.1109/SIELMEN53755.2021.9600378>

Xu, R., Liu, H., Liu, C., Sun, Z., Lam, T. L., & Qian, H. (2020). A Novel Solar Tracker Driven by Waves: From Idea to Implementation\*. In *2020 IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA)*. [https://doi.org/10.0/Linux-x86\\_64](https://doi.org/10.0/Linux-x86_64)

Yong, E. E. D., Fulge, S. M. R., Lisaca, J. E. R., Olarte, D. M., & Rosario, J. M. (2019, March 12). Development of a water-based PV cooling system a cooling system. *2018 IEEE 10th International Conference on Humanoid, Nanotechnology, Information Technology, Communication and Control, Environment and Management, HNICEM 2018*. <https://doi.org/10.1109/HNICEM.2018.8666387>

### ANEXO1

Nombre del artículo	Resumen	Aporte al proyecto
Diseño, construcción y evaluación de un sistema de refrigeración para el panel fotovoltaico SP150P (Rahim et al., 2021)	Este trabajo se propuso aportar al mejoramiento de los sistemas fotovoltaicos, mediante el diseño y construcción de un sistema de refrigeración para el panel fotovoltaico SP150P.	Dimensionamiento de los dispositivos y evaluación del sistema por medio de variables estadísticas
Un sistema de enfriamiento pasivo para aumentar la eficiencia de la producción del panel solar. (Jerez et al., 2020)	Dado que el sistema de enfriamiento activo absorbe la corriente generada, este documento considera el sistema pasivo como el más económico. Se propone la combinación de sistema de refrigeración por agua y disipador de calor.	Diseño y metodología de medición de las variables del sistema para determinar el comportamiento de la eficiencia del sistema fotovoltaico con combinación de sistema de refrigeración por agua y disipador de calor.
Mejora de la eficiencia en panel solar policristalino mediante refrigeración por aspersion de agua de control térmico. (Yong et al., 2019)	El objetivo de este artículo se centra en una opción de optimización de un método de rociado de agua automatizado que ha abordado de manera efectiva una brecha importante experimentada por el panel solar en condiciones de clima cálido.	Optimización del sistema para el aumento de la eficiencia

<p>Tecnologías de refrigeración activa y pasiva de energía solar fotovoltaica: una revisión. (Guerrero Delgado et al., 2018)</p>	<p>Este documento ofrece la comparación de diferentes técnicas de enfriamiento (dinámicas y estáticas) y también sugiere qué tipo de enfriamiento se puede adoptar para la energía solar fotovoltaica considerando varios aspectos.</p>	<p>Análisis del rendimiento de la eficiencia presentes en las técnicas de enfriamiento activo y pasivo.</p>
<p>Determinación de la eficiencia de un mini panel solar fotovoltaico: una experiencia de laboratorio en energías. (Institute of Electrical and Electronics Engineers &amp; Université Echahid Hamma Lakhdar d'El Oued, n.d.-a)</p>	<p>Este artículo describe las características de un mini panel solar fotovoltaico midiendo la relación entre la densidad de corriente y el voltaje (J-V) utilizando una carga resistiva variable que además permite determinar el punto de máxima potencia del mini panel solar.</p>	<p>Dimensionamiento a escala a través de un software sencillo y de uso diario.</p>
<p>Anteproyecto de sistema solar fotovoltaico en el hotel universitario de posgrado de la universidad de Cienfuegos   [Anteproyecto de sistema solar fotovoltaico en hotel universitario de posgrado en la universidad de Cienfuegos] (Kalaiselvan et al., 2018)</p>	<p>El presente trabajo aborda las ventajas de utilizar un sistema solar fotovoltaico. Conociendo las características y dimensiones del edificio y su cubierta, se logró simular el funcionamiento del sistema solar fotovoltaico, utilizando el software Pvsyst 6.</p>	<p>Dimensionamiento a través del programa PVSYS para conocer la capacidad del consumo energético.</p>
<p>Enfoque de toma de decisiones: un modelo simplificado para la evaluación del rendimiento energético de los módulos fotovoltaicos. (Reza &amp; Mondol, 2021a)</p>	<p>Este estudio presenta un modelo explícito y simplificado para determinar la curva característica IV de los módulos fotovoltaicos mediante un enlace directo con los datos disponibles en los catálogos de los fabricantes.</p>	<p>Modelo para evaluar el rendimiento energético y determinar la curva de los campos solares fotovoltaicos.</p>
<p>Mejora de la generación de energía mediante el uso de refrigeración activa por agua para paneles</p>	<p>Esta investigación tiene como objetivo estudiar la mejora de potencia de la refrigeración por agua activa en paneles fotovoltaicos (PV).</p>	<p>análisis del aumento de potencia con refrigeración activa a través de pruebas con instalación de paneles solares.</p>

fotovoltaicos (PV) (Peres et al., 2020)		
Impactos de los dispositivos de protección solar fotovoltaicos en la generación de energía y la demanda de refrigeración. (Rakino et al., 2019)	El objetivo de este artículo es simular diferentes dispositivos de protección solar, cambiando su diseño y configuraciones.	Simulación en software de módulos solares para el estudio del desempeño de la energía y la reducción de diseños ineficientes.
Mejora de la eficiencia del módulo fotovoltaico a través de la integración de la fuente de agua. (Fakouriyan et al., 2019a)	En el presente estudio, se ha propuesto un diseño innovador para mejorar la eficiencia operativa de los paneles fotovoltaicos mediante la integración de un sistema de fuente basado en refrigeración por agua.	Estudio experimental del sistema fuente para disminuir la temperatura del agua que fluye en el circuito
MPPT basado en Neuro-Fuzzy para sistema de enfriamiento híbrido de panel solar fotovoltaico. (IEEE Computer Society. Malaysia Chapter & Institute of Electrical and Electronics Engineers, n.d.)	Este estudio proporciona la comparación de tres configuraciones diferentes, que incluye el uso de un sistema híbrido de refrigeración por aire y refrigeración por agua y un controlador de carga MPPT basado en neuro-fuzzy.	Comparación de tres escenarios para evaluar la eficiencia de los módulos presentes para obtener un diseño rentable
Desarrollo de un sistema de enfriamiento fotovoltaico a base de agua Un sistema de enfriamiento. (Sociedad et al., 2020)	El objetivo de los investigadores es crear un sistema de enfriamiento fotovoltaico de agua automatizado, eficiente en términos de energía, rentable y sostenible para mantener el panel solar en o por debajo de su funcionamiento nominal y producir una mayor eficiencia energética que las células fotovoltaicas sin sistemas de enfriamiento.	Este proyecto aporta las formas e instrumentos de medición para las diferentes variables a conocer para determinar el comportamiento del sistema solar fotovoltaico.

<p>Evaluación experimental y simulada del efecto de la temperatura en el rendimiento de eficiencia del panel con refrigeración por agua frontal. (Singh et al., 2021)</p>	<p>En el presente trabajo, se ha diseñado y desarrollado un sistema de enfriamiento por aspersión de agua frontal simple y eficiente en un panel fotovoltaico para introducir enfriamiento activo con el fin de eliminar el calor.</p>	<p>Modelo desarrollado en Simulink que permite conocer curvas de potencia y curvas de voltaje actual.</p>
<p>Diseño e implementación de un sistema de seguimiento automático de un solo eje con refrigeración por agua para mejorar el rendimiento del panel solar fotovoltaico. (IEEE Computational Intelligence Society. Philippines Chapter &amp; Institute of Electrical and Electronics Engineers, n.d.-a)</p>	<p>El objetivo principal de este trabajo es diseñar e implementar un sistema de seguimiento solar automático de un solo eje basado en un microcontrolador con un sistema automático de refrigeración por agua.</p>	<p>Integración de los dos sistemas para el aumento de la eficiencia del panel, método de análisis de costos.</p>
<p>Mejora de la potencia de salida de la celda fotovoltaica mediante enfriamiento y reducción de las pérdidas por reflexión del espejo. (Reza &amp; Mondol, 2021a, 2021b)</p>	<p>Un nuevo modelo para la mejora de la potencia de salida de la celda o panel fotovoltaico mediante la combinación del amplificador de espejo y el sistema de enfriamiento y monitoreo automatizado basado en la red neuronal artificial (ANN).</p>	<p>Incremento de la eficiencia por medio de las técnicas de seguimiento del punto de máxima potencia, perturbación y observación.</p>
<p>Diseño y análisis de rendimiento del sistema de energía solar fotovoltaica con eficiencia de panel mejorada mediante nanofluido. (Laseinde &amp; Ramere, 2021)</p>	<p>En la mejora de la eficiencia del panel, por lo que el modelo de panel fotovoltaico primero se desarrolla y simula en el software MATLAB/Simulink.</p>	<p>Modelo de panel fotovoltaico a través de un análisis de rendimiento del sistema utilizando un software.</p>
<p>Estudio preliminar de un sistema fotovoltaico refrigerado por agua. (IEEE Computer Society. Malaysia Chapter &amp; Institute of</p>	<p>Este trabajo trata de mejorar la eficiencia de los paneles fotovoltaicos mediante refrigeración por agua.</p>	<p>Código CFD para la realización de cálculos considerando todas las variables del intercambio de</p>

Electrical and Electronics Engineers, n.d.)		calor para el sistema de enfriamiento.
Análisis experimental del efecto de un sistema de refrigeración sobre la eficiencia de paneles fotovoltaicos y su producción de agua de precalentamiento. (Fakouriyani et al., 2019b)	Este trabajo aborda un sistema de enfriamiento de baja complejidad y alta eficiencia aplicable en un sistema fotovoltaico (PV) que conduce a mejorar la eficiencia eléctrica y proporcionar agua precalentada.	Modelos de simulación para describir el comportamiento del sistema y la comparación con las variables reales.
Mejora de la eficiencia de sistemas térmicos solares fotovoltaicos mediante análisis experimental y numérico. (Institute of Electrical and Electronics Engineers & Université Echahid Hamma Lakhdar d'El Oued, n.d.-b)	En este trabajo, se estudiaron las posibles técnicas de enfriamiento, realizando análisis numéricos y experimentales para modelar sistemas más mejorados.	Por medio de la integración de un sistema de refrigeración se puede observar la mejora de la eficiencia eléctrica y el aumento de esta.
Sistema híbrido fotovoltaico-térmico en base agua. (Mowafy, 2021)	este estudio se presenta y describe un enfoque matemático para calcular las eficiencias térmicas y eléctricas y un modelo de simulación construido en el software OpenModelica.	Se realizaron diversas comparaciones en los módulos fotovoltaicos de silicio policristalino y vidrio-Tedlar.
Sistema Fotovoltaico-Térmico de Trigeneración de Electricidad, Agua Caliente y Fría. (Tirsu et al., 2021)	Este proyecto propone crear un sistema de regeneración basado en energía solar, un sistema de refrigeración a base de tuberías de polipropileno, y una bomba de calor agua-agua.	Esta combinación de equipos permite aumentar la eficiencia de los paneles fotovoltaicos para la producción de electricidad del sistema.
Sistemas Térmicos Fotovoltaicos FV/T: método de eficiencia creciente. (Minakova & Zaitsev, 2021)	El objetivo principal de la investigación propuesta es considerar un método para aumentar la eficiencia y la vida útil de los sistemas fotovoltaicos	por medio de las simulaciones se observaron los comportamiento y soluciones técnicas para maximizar la producción de

		energía de los sistemas fotovoltaicos
Identificación de la importancia del factor en una sección de tubería de enfriamiento de agua utilizando ANSYS CFD a través de un diseño factorial completo de experimento. (Institute of Electrical and Electronics Engineers & Université Echahid Hamma Lakhdar d'El Oued, n.d.-b)	Este estudio simuló una sección de tubería de un sistema de refrigeración por agua utilizando la dinámica de fluidos computacional (CFD) de ANSYS mediante la manipulación del caudal másico.	Diseño de experimento factorial completo para analizar el caudal másico y la temperatura por medio de una prueba de independencia de malla
Simulación de deformación a nivel de panel de placas de circuito impreso que comprenden componentes eléctricos. (Institute of Electrical and Electronics Engineers, n.d.)	Este proyecto realizara pruebas de materiales y la implementación de las propiedades medidas de los materiales en el software de elementos finitos Abaqus/CAE	Por medio de las simulaciones de elementos finitos se puede identificar la deformación en la placa.
Diseño y construcción de un destilador solar de múltiples etapas acoplado a un colector solar de tubos de calor concentrado. (IEEE Computational Intelligence Society. Philippines Chapter & Institute of Electrical and Electronics Engineers, n.d.-b)	En el presente trabajo se evaluará el rendimiento del destilador a través de su productividad; así como evaluar la calidad del agua fresca destinado al consumo humano.	un estudio teórico y experimental a nivel de laboratorio para determinar los parámetros de diseño de un destilador de múltiples etapas



<p>Un estudio sobre los efectos de las mejoras de refrigeración por aire forzado en un colector térmico solar fotovoltaico de 150 W para ciudades verdes. (Shrivastava et al., 2022)</p>	<p>estudio de eficiencia energética y exergetica para diferentes mejoras de enfriamiento de aire de colectores térmicos solares fotovoltaicos</p>	<p>se enfoca en determinar el efecto de las diferentes configuraciones para lograr una mayor eficiencia térmica de los colectores térmicos</p>
<p>Análisis dinámico de refrigeración por absorción residencial estimulada por calor solar con pared térmica integrada para calefacción de espacios. (Kalair et al., 2022)</p>	<p>un análisis detallado del desempeño térmico y eléctrico utilizando parámetros como la fracción solar, la eficiencia térmica del colector, la energía fraccionada no comprada y otros.</p>	<p>Por medio de las simulaciones en el software TRNSYS se puede observar el sistema térmico modelado para ver su energización.</p>
<p>Un nuevo diseño de sistema de seguimiento solar de doble eje con sensores LDR mediante el uso del circuito de puente de Wheatstone. (Saeedi &amp; Effatnejad, 2021)</p>	<p>Este estudio tiene como objetivo diseñar e implementar un seguidor solar de doble eje (DAST) para aumentar la potencia de salida del panel fotovoltaico</p>	<p>Este sistema seguimiento presenta una alta eficiencia, debido a que los datos son procesados por microcontrolador y ajusta el panel en función de la radiación.</p>
<p>Una unidad de control simple para enfriamiento forzado de agua dependiente de la temperatura en colectores solares CPV/T. (Baskaran et al., 2022)</p>	<p>En el presente estudio se sugiere un sistema de enfriamiento por agua forzada para el colector de Concentración Fotovoltaica o Térmica (CPV/T)</p>	<p>Por medio de las pruebas realizadas se observa que la combinación de refrigeración por agua mejora la potencia de salida.</p>
<p>Sistema automático de limpieza de paneles solares Diseño. (al Dahoud et al., 2021)</p>	<p>Este trabajo tiene como objetivo desarrollar un 1 automático sistema de limpieza para paneles solares fotovoltaicos (PV) instalados en el techo de la facultad de TI de la Universidad Al-Zaytoonah en Jordania.</p>	<p>A través de los equipos se podrá escanear toda la superficie del panel para conocer y controlar las variaciones que afectan al sistema.</p>

<p>Efectos de la humedad relativa en el rendimiento del generador termoeléctrico de agua dulce que utiliza una fuente de energía solar. (Nhut &amp; Linh, 2020)</p>	<p>El objetivo principal de este estudio es evaluar los efectos de la humedad relativa (HR) en el rendimiento del generador termoeléctrico de agua dulce que utiliza una fuente de energía solar.</p>	<p>Por medio de los estudios experimentales se infiere que, en cada nivel de humedad relativa, la cantidad de agua condensada aumenta en proporción a la corriente.</p>
<p>Un nuevo seguidor solar impulsado por olas: de la idea a la implementación. (Xu et al., 2020)</p>	<p>Este proyecto presenta un diseño novedoso de seguidor solar para el entorno oceánico</p>	<p>La simulación se realiza en MATLAB/SIMULINK dónde se calcula el movimiento de los paneles solares</p>
<p>Diseño de análisis experimental del prototipo de monitoreo de energía del panel solar. (Prasetyani et al., 2020)</p>	<p>Este diseño de análisis experimental del papel prototipo de monitoreo de energía de paneles solares es una discusión inicial y global sobre el diseño de monitoreo de energía de paneles solares.</p>	<p>Análisis experimental comparado en las mediciones de corriente y voltaje en la salida de CC y CA</p>
<p>Diseño y Construcción de un Seguidor Solar de Bajo Costo de Dos Grados de Libertad (DOF) Basado en Arduino. (Beily et al., 2020)</p>	<p>Un sistema de seguimiento solar de bajo costo que aumenta la eficiencia energética en comparación con el sistema estático simple</p>	<p>El aumento de la energía fotovoltaica producida por los paneles solares se determinó mediante la evaluación de la eficiencia</p>
<p>La medición de los factores de luz solar del panel solar y el diseño del mejor ángulo de inclinación. (Jiang et al., 2018)</p>	<p>Estudiar la teoría de la radiación solar y el método de cálculo del movimiento solar y la intensidad de la radiación.</p>	<p>Por medio de un sistema de servocontrol se conoce que la eficiencia del sistema solar se optimiza aún más y se reduce la eficiencia energética del sistema</p>
<p>Un nuevo diseño de bloques de enfriadores para sistemas térmicos fotovoltaicos y evaluación del rendimiento utilizando diseño factorial. (Gelis et al.,</p>	<p>En el presente estudio, se llevó a cabo una revisión detallada de la literatura para tales diseños de colectores térmicos y luego se desarrolló, fabricó y probó un nuevo diseño de enfriador que es</p>	<p>Los experimentos demostraron que la eficiencia era mayor que los sistemas fotovoltaicos tradicionales</p>

2022; Saeedi & Effatnejad, 2021)	diferente de los diseños existentes en la literatura.	
Diseño de un Emulador Solar Simple y de Bajo Costo para Estudios de Laboratorio. (Hayakwong & Matarach, 2021)	El simulador solar propuesto puede probar la generación de energía solar conectando paneles solares en serie y en paralelo para uso en laboratorio a un nivel satisfactorio a partir de los resultados experimentales.	Al realizar la prueba de generación de electricidad se encontró que la irradiación no se distribuye por todo el panel de manera uniforme.
Modelado y optimización de colector solar térmico fotovoltaico tipo serpentina con sistema de almacenamiento de energía térmica para generación de agua caliente y electricidad para edificio residencial único. (Kalasalingam University. IEEE Student Branch. et al., n.d.)	En este estudio se utilizó un diseño de tubo de serpentina de circulación forzada de circuito cerrado del sistema de agua de enfriamiento para la gestión efectiva de la temperatura superficial de los paneles fotovoltaicos.	Por medio del estudio de optimización se descubrió que es un ahorro en el costo de electricidad.