



**UNIVERSIDAD NACIONAL  
PEDRO RUIZ GALLO**



**FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA Y ELÉCTRICA**

**TESIS**

**Para Optar el Título Profesional de:**

**INGENIERO MECÁNICO ELECTRICISTA**

**“Sistema de energía termoeléctrica solar para suministrar con energía eléctrica y energía térmica a una vivienda multifamiliar de la ciudad de Incahuasi”**

**Autor:**

**Br. Severino Arevalo, Waldir**

**Asesor:**

**M.Sc. Ing. Villalobos Cabrera, Jony**

**LAMBAYEQUE – PERÚ**

**2025**



# UNIVERSIDAD NACIONAL PEDRO RUIZ GALLO



FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA Y ELÉCTRICA

## TESIS

Para Optar el Título Profesional de:  
**INGENIERO MECÁNICO ELECTRICISTA**

**“Sistema de energía termoeléctrica solar para suministrar con energía eléctrica y energía térmica a una vivienda multifamiliar de la ciudad de Incahuasi”**

**Autor:**

**Bach. Severino Arévalo, Waldir**

**Aprobado por el Jurado Examinador**

**PRESIDENTE** : Dr. James Skiner Celada Padilla  
**SECRETARIO** : Dr. Daniel Carranza Montenegro  
**MIEMBRO** : M.Sc. Teobaldo Julca Orozco  
**ASESOR** : M.Sc. Ing. Jony Villalobos Cabrera

**LAMBAYEQUE – PERÚ  
2025**



**UNIVERSIDAD NACIONAL  
PEDRO RUIZ GALLO**



**FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA Y ELÉCTRICA**

**TESIS**

**TITULO:**

**“Sistema de energía termoeléctrica solar  
para suministrar con energía eléctrica y  
energía térmica a una vivienda multifamiliar  
de la ciudad de Incahuasi”**

**CONTENIDOS**

<b>CAPITULO I</b>	<b>: PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN.</b>
<b>CAPITULO II</b>	<b>: MARCO TEÓRICO.</b>
<b>CAPITULO III</b>	<b>: MARCO METODOLÓGICO.</b>
<b>CAPITULO IV</b>	<b>: ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE LOS RESULTADOS.</b>
<b>CAPITULO V</b>	<b>: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.</b>

**Bach. Severino Arévalo, Waldir**

**Dr. James Skinner Celada Padilla**  
Presidente

**Dr. Daniel Carranza Montenegro**  
Secretario

**M.Sc. Teobaldo Julca Orozco**  
Vocal

**M.Sc. Jony Villalobos Cabrera**  
Asesor

**LAMBAYEQUE – PERÚ**

**2025**



**ACTA DE SUSTENTACION N°0115-2025-FIME**



En la ciudad de Lambayeque, siendo las 12:30 a.m. del día Martes 04 de noviembre 2025. Se reunieron los miembros del jurado, designados mediante Resolución N°362-2025-D-FIME, de fecha 30 de octubre 2025, con la finalidad de Evaluar y Calificar la sustentación de la Tesis, conformado por los siguientes catedráticos:

- |  |            |
|--|------------|
| • Dr. Ing. JAMES SKINNER CELADA PADILLA  | PRESIDENTE |
| • Dr. Ing. DANIEL CARRANZA MONTENEGRO    | SECRETARIO |
| • M.Sc. Ing. TEOBALDO EDGAR JULCA OROZCO | MIEMBRO    |
| • M.Sc. Ing. JONY VILLALOBOS CABRERA     | ASESOR     |

Se recibió la Tesis titulada:

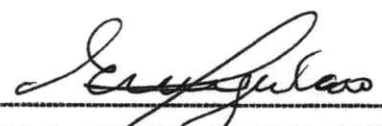
**“SISTEMA DE ENERGÍA TERMOELÉCTRICA SOLAR PARA SUMINISTRAR CON ENERGÍA ELÉCTRICA Y ENERGÍA TÉRMICA A UNA VIVIENDA MULTIFAMILIAR DE LA CIUDAD DE INCAHUASI”.**

Presentada y sustentada por su autor, Bachiller: **SEVERINO AREVALO WALDIR.**

Finalizada la sustentación de la Tesis, el sustentante respondió las preguntas y observaciones de los miembros del jurado examinador, quienes procedieron a deliberar y acordaron otorgar el calificativo de **APROBADO**, Nota ( *16* ) en la escala vigesimal, mención Bueno.  
Quedando el sustentante apto para obtener el Título profesional de Ingeniero Mecánico Electricista, de acuerdo a la Ley Universitaria 30220 y la normatividad vigente, de la Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica y la Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo.

Siendo las *13.00 hs.* del mismo día se da por concluido el acto académico, firmando la presente acta el jurado respectivo:

  
-----  
Dr. Ing. JAMES SKINNER CELADA PADILLA  
PRESIDENTE

  
-----  
M.Sc. Ing. TEOBALDO EDGAR JULCA OROZCO  
MIEMBRO

  
-----  
Dr. Ing. DANIEL CARRANZA MONTENEGRO  
SECRETARIO

  
-----  
Dr. Ing. JONY VILLALOBOS CABRERA  
ASESOR



ANEXO 01

**CONSTANCIA DE VERIFICACIÓN DE ORIGINALIDAD**

Yo, **M.Sc. Ing. Jony Villalobos Cabrera**, usuario revisor del documento titulado: **“SISTEMA DE ENERGÍA TERMOELÉCTRICA SOLAR PARA SUMINISTRAR CON ENERGÍA ELÉCTRICA Y ENERGÍA TÉRMICA A UNA VIVIENDA MULTIFAMILIAR DE LA CIUDAD DE INCAHUASI”**.

Cuyo autor es, **Severino Arevalo Waldir**, identificado con documento de identidad N° **72709039** declaro que la evaluación realizada por el Programa informático, ha arrojado un porcentaje de similitud de **19%**, verificable en el Resumen de Reporte automatizado de similitudes que se acompaña.

El suscrito analizó dicho reporte y concluyó que cada una de las coincidencias detectadas dentro del porcentaje de similitud permitido no constituyen plagio y que el documento cumple con la integridad científica y con las normas para el uso de citas y referencias establecidas en los protocolos respectivos.

Se cumple con adjuntar el Recibo Digital a efectos de la trazabilidad respectiva del proceso.

Lambayeque 26 de marzo del 2026

.....  
**M.SC. ING. JONY VILLALOBOS CABRERA**

**DNI: 16699530**

**ASESOR**

Se adjunta:

\*Resumen del Reporte automático de similitudes

\*Recibo Digital

# Sistema de energía termoeléctrica solar para suministrar con energía eléctrica y energía térmica a una vivienda multifamiliar de la ciudad de Incahuasi


## INFORME DE ORIGINALIDAD

<b>19%</b> INDICE DE SIMILITUD	<b>19%</b> FUENTES DE INTERNET	<b>2%</b> PUBLICACIONES	<b>8%</b> TRABAJOS DEL ESTUDIANTE
-----------------------------------	-----------------------------------	----------------------------	--------------------------------------

## FUENTES PRIMARIAS

<b>1</b>	<b>hdl.handle.net</b> Fuente de Internet	<b>11%</b>
<b>2</b>	<b>repositorio.unprg.edu.pe</b> Fuente de Internet	<b>2%</b>
<b>3</b>	<b>repositorio.uss.edu.pe</b> Fuente de Internet	<b>1%</b>
<b>4</b>	<b>tesis.pucp.edu.pe</b> Fuente de Internet	<b>1%</b>
<b>5</b>	<b>Submitted to Pontificia Universidad Católica del Perú</b> Trabajo del estudiante	<b>&lt;1%</b>
<b>6</b>	<b>universidadugc.edu.mx</b> Fuente de Internet	<b>&lt;1%</b>
<b>7</b>	<b>www.coursehero.com</b> Fuente de Internet	<b>&lt;1%</b>
<b>8</b>	<b>repositorio.autonoma.edu.pe</b> Fuente de Internet	<b>&lt;1%</b>
<b>9</b>	<b>repositorio.uncp.edu.pe</b> Fuente de Internet	<b>&lt;1%</b>
<b>10</b>	<b>upcommons.upc.edu</b> Fuente de Internet	<b>&lt;1%</b>
<b>11</b>	<b>dokumen.pub</b> Fuente de Internet	<b>&lt;1%</b>

  
Asesor Ing. Jony Villalobos Cabrera  
DNI: 16699530

12	<a href="http://futur.upc.edu">futur.upc.edu</a> Fuente de Internet	<1 %
13	<a href="http://documentop.com">documentop.com</a> Fuente de Internet	<1 %
14	<a href="http://helvia.uco.es">helvia.uco.es</a> Fuente de Internet	<1 %
15	<a href="http://bibdigital.epn.edu.ec">bibdigital.epn.edu.ec</a> Fuente de Internet	<1 %
16	<a href="http://repositorio.unj.edu.pe">repositorio.unj.edu.pe</a> Fuente de Internet	<1 %
17	<a href="http://repositorio.colmex.mx">repositorio.colmex.mx</a> Fuente de Internet	<1 %
18	<a href="http://www.scribd.com">www.scribd.com</a> Fuente de Internet	<1 %
19	<a href="http://www.d.umn.edu">www.d.umn.edu</a> Fuente de Internet	<1 %
20	<a href="http://repositorio.upeu.edu.pe">repositorio.upeu.edu.pe</a> Fuente de Internet	<1 %
21	Submitted to Ana G. Méndez University Trabajo del estudiante	<1 %
22	<a href="http://www.valencia.es">www.valencia.es</a> Fuente de Internet	<1 %
	 Asesor Ing. Jony Villalobos Cabrera DNI: 16699530	
23	<a href="http://www.researchgate.net">www.researchgate.net</a> Fuente de Internet	<1 %
24	Patricia Batista Grau. "Desarrollo de nanoestructuras de ZnO mediante anodizado electroquímico en diferentes condiciones para su aplicación en el área energética", Universitat Politecnica de Valencia, 2021 Publicación	<1 %

# híbridos", Universitat Politecnica de Valencia, 2023

Publicación

---

Excluir citas

Activo

Excluir coincidencias

< 15 words

Excluir bibliografía

Activo



Asesor Ing. Jony Villalobos Cabrera  
DNI: 16699530





## Recibo digital

Este recibo confirma que su trabajo ha sido recibido por Turnitin. A continuación podrá ver la información del recibo con respecto a su entrega.

La primera página de tus entregas se muestra abajo.

Autor de la entrega: Waldir Severino Arevalo  
Título del ejercicio: Quick Submit  
Título de la entrega: Sistema de energía termoeléctrica solar para suministrar con ...  
Nombre del archivo: TESIS\_FINAL\_22.09.25.docx  
Tamaño del archivo: 9.2M  
Total páginas: 110  
Total de palabras: 21,393  
Total de caracteres: 111,100  
Fecha de entrega: 26-sept-2025 02:06a. m. (UTC-0500)  
Identificador de la entrega: 2762519555



**UNIVERSIDAD NACIONAL  
PEDRO RUIZ GALLO**

FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA Y ELÉCTRICA

**TESIS**  
Para Optar el Título Profesional de:  
**INGENIERO MECÁNICO ELECTRICISTA**

"Sistema de energía termoeléctrica solar para suministrar con energía eléctrica y energía térmica a una vivienda multifamiliar de la ciudad de Incahuasi"


Autor:

Br. Severino Arevalo, Waldir

Asesor:

M.Sc. Ing. Villalobos Cabrera, Jony

**LAMBAYEQUE – PERÚ**  
2025

  
**M. Sc. Ing. JONY VILLALOBOS CABRERA**  
DNI 16699530  
Docente Asociado  
Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica  
Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo

## **DEDICATORIA**

Expreso mi gratitud a Dios por iluminar mi camino académico y otorgarme la fortaleza necesaria para culminar este proceso. A la Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo, por contribuir de manera significativa a mi formación profesional. A mi asesor, por su orientación constante y su valiosa dedicación. A mis padres, familiares y amigos, por su apoyo incondicional en cada etapa de este recorrido. Finalmente, al personal de Incahuasi cuya colaboración fue esencial para el desarrollo y concreción de esta tesis

Bach. Severino Arévalo, Waldir

## **AGRADECIMIENTO**

A Dios, por ser mi guía y fortaleza en cada etapa de este camino académico.

A mis queridos padres, por su amor incondicional, sacrificio y apoyo permanente  
que hicieron posible alcanzar este objetivo.

A mis hermanos y a mi enamorada, por su comprensión y aliento en los  
momentos más difíciles.

A la Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo, por la formación profesional y  
humana que me brindó durante estos años.

Y a todos los colaboradores que hicieron posible el desarrollo de este proyecto de  
tesis, mi más sincero agradecimiento.

Bach. Severino Arévalo, Waldir

## RESUMEN

El proyecto de investigación aborda la problemática existente en las viviendas que se encuentran muy dispersas en la ciudad de Incahuasi, pues carecen de electricidad y de agua tibia para poder cubrir sus necesidades. La metodología de investigación empleada es una metodología aplicada del tipo no experimental. Tomando como población las viviendas dispersas de la ciudad de Incahuasi, y de ahí se ha tomado una muestra no probabilística que es la vivienda del Sr. Jacobo Ventura Bernilla. Las conclusiones del presente de investigación son: Las necesidades eléctricas y térmicas de una vivienda en la ciudad de Incahuasi son: 1332,5 kW-h/día y de 2014,75 MJ. La radiación solar existente en la ciudad de Incahuasi es de 5,11 kW-h/m<sup>2</sup>. El sistema fotovoltaico estará conformado por 08 paneles solares de 300 Wp, 01 el controlador de carga MPPT modelo SRNE SR MC4885N25, 01 batería de litio Pylontech US3000C de 3.5 kWh y 01 alternador denominado Inti Power, que tiene una capacidad de 1000 W. Y el sistema térmico estará conformado por 46 tubos de calor fabricados con vidrio de borosilicato, con un tanque de almacenamiento de 0,3108 m<sup>3</sup>, el presupuesto que involucra el sistema fotovoltaico es de S/. 16,212.90, cuya evaluación económica sale inviable y el sistema térmico involucra un monto de S/. S/. 19,551.40, y como resultado de la evaluación económica no da un VAN de S/. 21715,59 y la TIR de 30%, con lo que se demuestra que es viable.

**Palabras claves:** Sistema de energía termoeléctrica solar, energía eléctrica y energía térmica

## ABSTRACT

This research project addresses the problems faced by widely dispersed households in the city of Incahuasi, which lack electricity and hot water to meet their needs. The research methodology used is a non-experimental, applied methodology. The population of the dispersed households in the city of Incahuasi was taken as the population, and from there, a non-probability sample was drawn, which was the home of Mr. Jacobo Ventura Bernilla. The conclusions of this research are: The electrical and thermal requirements of a home in the city of Incahuasi are 1332.5 kWh/day and 2014.75 MJ. The solar radiation in the city of Incahuasi is 5.11 kWh/m<sup>2</sup>. The photovoltaic system will be made up of 08 solar panels of 300 Wp, 01 the MPPT charge controller model SRNE SR MC4885N25, 01 Pylontech US3000C lithium battery of 3.5 kWh and 01 alternator called Inti Power, which has a capacity of 1000 W. And the thermal system will be made up of 46 heat pipes made of borosilicate glass, with a storage tank of 0.3108 m<sup>3</sup>, the budget involving the photovoltaic system is S /. 16,212.90, whose economic evaluation is unfeasible and the thermal system involves an amount of S /. S /. 19,551.40, and as a result of the economic evaluation it does not give a NPV of S /. 21715.59 and the IRR of 30%, which shows that it is viable.

**Keywords:** Solar thermoelectric power system, electrical energy and thermal energy

## ÍNDICE

DEDICATORIA.....	4
AGRADECIMIENTO .....	9
RESUMEN .....	10
ABSTRACT .....	11
ÍNDICE .....	12
ÍNDICE DE TABLAS .....	14
ÍNDICE DE FIGURAS .....	15
INTRODUCCIÓN .....	16
CAPITULO I: PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN.....	20
1.1. Realidad Problemática .....	20
1.2. Formulación del Problema .....	21
1.3. Delimitación de la Investigación.....	22
1.4. Justificación e Importancia del estudio .....	22
1.5. Limitaciones de la Investigación .....	23
1.6. Objetivos de estudio.....	23
CAPITULO II: MARCO TEÓRICO .....	24
2.1. Antecedentes de Estudios .....	24
2.2. Desarrollo de la temática correspondiente al tema desarrollado .....	32
CAPITULO III: MARCO METODOLÓGICO.....	45
3.1. Tipo y diseño de investigación .....	45
3.2. Población y muestra.....	46
3.3. Hipótesis.....	47
3.4. Variables - Operacionalización .....	47
3.5. Métodos y Técnicas de investigación .....	49
3.6. Descripción de los instrumentos utilizados .....	49
3.7. Análisis Estadístico e interpretación de los datos.....	50
CAPITULO IV: ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE LOS RESULTADOS .....	52
4.1. Diagnóstico de las necesidades eléctricas y térmicas de una vivienda multifamiliar de la ciudad de Incahuasi .....	52
4.2. Determinación de la radiación solar existente en la ciudad de Incahuasi .....	59
4.3. Calculo y selección de los componentes del sistema de energía termoeléctrica solar .....	66

4.4.	Evaluación económica del sistema de energía termoeléctrica solar	
	96	
	CAPITULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....	105
5.1.	Conclusiones.....	105
5.2.	Recomendaciones .....	105
	REFERENCIAS BIBLIOGRAFÍAS .....	106
	ANEXOS .....	107

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1:</b> Operacionalización de variables.....	48
<b>Tabla 2:</b> Ubicación Coordenadas UTM WGS84 de la vivienda a aplicar la investigación .	52
<b>Tabla 3:</b> Requerimientos de Energía Eléctrica en vivienda de Incahuasi .....	53
<b>Tabla 4:</b> Dotación de ACS para viviendas unifamiliares y multifamiliares .....	54
<b>Tabla 5:</b> Demanda energética de ACS mensualmente .....	58
<b>Tabla 6:</b> Radiación Solar – Datos del Solarímetro .....	61
<b>Tabla 7:</b> Cálculo de la Distribución Acumulada y Distribución de Frecuencia .....	63
<b>Tabla 8:</b> Datos que dan origen a la ecuación de la recta .....	64
<b>Tabla 9:</b> Diferentes valores de Beta ( $\beta$ ) con Valores de Radiación Media .....	65
<b>Tabla 10:</b> Datos eléctricos de módulo solar monocristalino de 300 Wp .....	69
<b>Tabla 11:</b> Especificaciones eléctricas de controlador MPPT SRNE SR MC4885N25 .....	73
<b>Tabla 12:</b> Especificaciones técnicas de batería de litio Pylontech US3000C de 3.5 kWh.	74
<b>Tabla 13:</b> Características del Inversor .....	75
<b>Tabla 14:</b> Dimensión de cableado en mm <sup>2</sup> .....	78
<b>Tabla 15:</b> Intensidad de corriente (A) según la sección de cableado AWG .....	78
<b>Tabla 16:</b> Especificaciones técnicas de un Sobretensiones CPT de 150 V .....	82
<b>Tabla 17:</b> Características técnicas del elemento seccionador de 48 VDC y 600 A.....	83
<b>Tabla 18:</b> Emisiones CO <sub>2</sub> eq. en el período 2010 – 2018 .....	86
<b>Tabla 19:</b> Área de captación del colector térmico por mes.....	88
<b>Tabla 20:</b> Costo neto de los componentes principales del SFV.....	97
<b>Tabla 21:</b> Flujo de caja anual de la inversión para el SFV.....	98
<b>Tabla 22:</b> Costos netos de los componentes principales en el sistema termo solar .....	101
<b>Tabla 23:</b> Flujo de caja anual de la inversión para en el sistema termo solar.....	103

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1:</b> Distribución de la irradiación según la franja horaria .....	35
<b>Figura 2:</b> Ángulo cenital según la posición del sol .....	36
<b>Figura 3:</b> Terma solar de tubos de calor o Heat Pipe .....	43
<b>Figura 4:</b> Vista de Planta de la vivienda seleccionada .....	52
<b>Figura 5:</b> Evaluación de la Irradiación kW-h/m <sup>2</sup> .....	62
<b>Figura 6:</b> Distribución de Frecuencias .....	63
<b>Figura 7:</b> Distribución acumulada de Weibull .....	64

## INTRODUCCIÓN

La relevancia de proporcionar tanto energía eléctrica como energía térmica a un edificio de viviendas multifamiliares ubicado en la ciudad de Incahuasi se fundamenta en múltiples aspectos esenciales que contribuyen al progreso social, al crecimiento económico y al bienestar ambiental de la comunidad en su conjunto.

La relevancia del suministro de energía eléctrica es fundamental, ya que tiene un impacto directo en la mejora de la calidad de vida de las personas. El acceso a este servicio esencial no solo se considera un derecho básico, sino que también transforma significativamente la cotidianidad de los habitantes. Gracias a la electricidad, se facilita el uso de sistemas de iluminación que permiten la realización de actividades tanto diurnas como nocturnas. Además, se hace posible el funcionamiento de electrodomésticos que ayudan en las tareas del hogar, así como el uso de equipos de comunicación y entretenimiento que enriquecen las interacciones sociales y proporcionan esparcimiento. En definitiva, el acceso a la energía eléctrica contribuye de manera considerable al bienestar social en general, al elevar la comodidad y las oportunidades de desarrollo en las distintas áreas de la vida diaria. Además de eso, la carencia de acceso a la energía eléctrica restringe notablemente el progreso tanto en el ámbito productivo como en el desarrollo humano de las comunidades afectadas. Proveer acceso a la energía eléctrica no solo facilita el desarrollo de diversas actividades económicas y educativas, sino que también contribuye de manera significativa a la mejora de las condiciones de vida en general. Además, este suministro energético juega un papel crucial en la disminución de la disparidad existente entre las áreas urbanas y las zonas rurales, promoviendo una mayor equidad y oportunidades para todos. Debido a que un

considerable número de viviendas se encuentra a una distancia considerable de las redes eléctricas tradicionales y la topografía de la región presenta características accidentadas y desafiantes, implementar energías renovables representa una alternativa tanto viable como sostenible. Entre estas opciones, destacan los sistemas de energía fotovoltaica y las minicentrales híbridas que combinan la energía solar y eólica. Estas soluciones son idóneas para proveer de energía de manera eficiente a estas comunidades que, de otro modo, tendrían dificultades para acceder a una fuente confiable de electricidad. La implementación y el uso de fuentes de energía renovables juega un papel fundamental en la protección del medio ambiente, ya que disminuye significativamente la dependencia de los combustibles fósiles, lo que a su vez se alinea con los amplios y cruciales objetivos de desarrollo sostenible que buscan un equilibrio entre el progreso económico y la conservación de nuestros recursos naturales. (Díaz Mendoza, 2017).

La relevancia de proporcionar tanto energía eléctrica como energía térmica a un edificio de viviendas multifamiliares situado en la ciudad de Incahuasi se basa en diversos factores cruciales que juegan un papel fundamental en el progreso social, económico y ambiental de la comunidad que allí habita. Estos aspectos son esenciales para garantizar una calidad de vida adecuada y contribuir al bienestar de todos los residentes.

La relevancia del suministro de energía térmica es fundamental ya que afecta directamente al bienestar y la salud de las personas. Esto es especialmente significativo en regiones que experimentan climas fríos, como sucede en ciertas áreas rurales del Perú. En tales lugares, la provisión de energía térmica a través de tecnologías adecuadas, como cocinas mejoradas o estructuras diseñadas para

mantener el calor, se convierte en un aspecto crucial. Esto no solo permite crear un entorno interno más saludable y confortable dentro de las casas, sino que también contribuye a la disminución de enfermedades asociadas al frío, mejorando así la calidad de vida de los habitantes. Además de todas las ventajas ya mencionadas, las tecnologías térmicas avanzadas y mejoradas facilitan un aprovechamiento óptimo y eficiente de los recursos disponibles para actividades como la calefacción de los hogares y la cocina. Esta eficiencia no solo se traduce en un significativo ahorro económico para las familias que las utilizan, sino que también contribuye a una reducción del impacto ambiental, lo cual es un beneficio importante en la actualidad. (Renovables, 2024)

En el primer capítulo de este extenso documento, se realiza un análisis exhaustivo y minucioso sobre la problemática que requiere atención y solución. En esta ocasión específica, el tema en cuestión es el diseño de un innovador sistema de energía térmica solar que tenga la capacidad de proporcionar tanto energía eléctrica como energía térmica a una vivienda multifamiliar situada en la ciudad de Incahuasi. Como resultado de este proceso, se realiza la elaboración del objetivo general, junto con la definición de una serie de objetivos específicos que actuarán como una guía fundamental para lograr dicho objetivo de manera eficiente y efectiva.

En el segundo capítulo de este estudio, se presentan de manera detallada los antecedentes, que incluyen una amplia variedad de investigaciones que han sido realizadas anteriormente sobre el tema en cuestión. Estos antecedentes no solo ofrecen un contexto importante, sino que también proporcionan el respaldo necesario y justifican de manera contundente la propuesta de solución que se

sugiere en esta tesis. De manera similar, se presenta de una forma minuciosa y exhaustiva la teoría que tiene una estrecha vinculación con el tema principal sobre el cual se centra la investigación que actualmente se está desarrollando.

El tercer capítulo ofrece una explicación exhaustiva y pormenorizada acerca del proceso a través del cual se llevará a cabo la recolección y la gestión de la información. Asimismo, este segmento también se dedica a detallar las diferentes herramientas y recursos que se utilizarán para facilitar y llevar a cabo esta importante tarea.

En el cuarto capítulo, se presenta de manera exhaustiva y minuciosa una explicación de los resultados que se han obtenido hasta la fecha actual, además de proporcionar información sobre el proceso de elección y selección de los diversos equipos que son indispensables para el éxito del proyecto en cuestión. Asimismo, en el informe se incorpora un análisis detallado de los costos relacionados con el sistema que ha sido diseñado y planificado. Además, se realiza una evaluación completa y minuciosa de los indicadores financieros relevantes que facilitan la medición del rendimiento económico del sistema en cuestión.

En el quinto capítulo de este documento se exponen de forma minuciosa tanto las conclusiones, así como las recomendaciones que son relevantes y pertinentes al tema tratado.

## **CAPITULO I: PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN**

### **1.1. Realidad Problemática**

La problemática de suministrar energía eléctrica y energía térmica a una vivienda multifamiliar en la ciudad de Incahuasi, se puede resumir en los siguientes puntos: La Mini Central Hidroeléctrica “La Playa” en Incahuasi tiene una potencia instalada limitada (50 kW) que actualmente abastece solo a un caserío, y el crecimiento poblacional ha generado una demanda energética que supera esta capacidad, dejando sin suministro eléctrico a caseríos aledaños. Esto evidencia la insuficiencia de infraestructura para cubrir la demanda creciente y dispersa de la población rural. Así mismo la dispersión de los caseríos y la geografía accidentada dificultan la extensión y mantenimiento de redes eléctricas convencionales, lo que limita el acceso al suministro eléctrico y aumenta los costos de implementación y operación.

En zonas como Incahuasi, la electrificación depende de sistemas aislados como minicentrales hidroeléctricas o sistemas fotovoltaicos, que requieren un diseño adecuado para garantizar la continuidad y calidad del suministro, además de enfrentar retos en almacenamiento y regulación de energía. Además, estudios en regiones similares reflejan que las pérdidas eléctricas en las redes afectan la eficiencia del suministro, incrementan costos y reducen la calidad del servicio, lo que impacta negativamente en la sostenibilidad del sistema y en el acceso de los usuarios. Aunque menos documentado específicamente para Incahuasi, la problemática general en zonas rurales incluye la falta de soluciones térmicas eficientes para calefacción y cocina, lo que afecta el confort y la salud de los habitantes, y limita el uso de tecnologías limpias.

La ciudad de Incahuasi se sitúa a 3,100 metros sobre el nivel del mar, en el distrito de Incahuasi, parte de la provincia de Ferreñafe en el departamento de Lambayeque, es una región de extrema pobreza. La temperatura en esta ciudad oscila entre los 19°C y 8°C.

Las consecuencias de la carencia de suministro de energía eléctrica y energía térmica en viviendas multifamiliares de la ciudad de Incahuasi, son la falta de energía eléctrica restringe el acceso a servicios básicos, educación, comunicación y actividades productivas, lo que perpetúa la pobreza y la exclusión social en zonas rurales como Incahuasi. Además, el deterioro en la calidad de vida y salud, pues las viviendas no pueden mantener un confort térmico necesario, lo que puede generar problemas de salud relacionados con el frío. Así mismo, la ausencia de sistemas eléctricos modernos y térmicos eficientes obliga al uso de combustibles fósiles o biomasa de manera ineficiente, incrementando la contaminación ambiental y afectando la sostenibilidad local. Finalmente, La falta de suministro eléctrico y térmico en caseríos dispersos genera una brecha significativa con zonas urbanas, afectando la equidad en el acceso a servicios esenciales y oportunidades de desarrollo.

Las variables que se investigarán son:

- Variable Dependiente: Sistema de energía termoeléctrica solar
- Variable Independiente: Energía eléctrica y energía térmica

## **1.2. Formulación del Problema**

¿Es factible diseñar un sistema de energía termoeléctrica solar que permita

suministrar con energía eléctrica y energía térmica a una vivienda multifamiliar de la ciudad de Incahuasi?

### **1.3. Delimitación de la Investigación**

#### **1.3.1. Delimitación espacial**

Una vivienda de la ciudad de Incahuasi, distrito de Incahuasi, provincia de Ferreñafe, departamento de Lambayeque.

### **1.4. Justificación e Importancia del estudio**

#### **1.4.1. Justificación tecnológica:**

En el marco de la investigación que estamos realizando actualmente, se llevará a cabo la implementación de una variedad de conceptos teóricos, así como tecnologías innovadoras que tienen una conexión directa con el proceso de suministro de energía eléctrica y térmica. Esta energía se obtendrá a través de un sistema de planta termoeléctrica solar, el cual juega un papel fundamental en el desarrollo energético sostenible.

#### **1.4.2. Justificación ambiental**

La utilización de un sistema de energía solar termoeléctrico no solo contribuirá a la preservación del medioambiente, sino que además fomentará una reducción significativa en la emisión de gases de efecto invernadero.

#### **1.4.3. Justificación económica**

El propósito fundamental de este estudio es garantizar que una residencia tenga la capacidad de conectarse y acceder de manera efectiva tanto al suministro de energía térmica como al suministro de energía eléctrica. Este acceso que se les proporcionará les ofrecerá la valiosa oportunidad de ahorrar

recursos financieros de manera significativa, dado que ya no se verán en la necesidad de adquirir este recurso natural esencial, lo que representa una carga económica que podrán evitar.

### **1.5. Limitaciones de la Investigación**

Las limitaciones y obstáculos que surgieron durante el proceso de realización de la investigación actual estuvieron mayormente vinculados con la obtención de información específica referente a una vivienda ubicada en la localidad de Incahuasi.

### **1.6. Objetivos de estudio**

#### **1.6.1. Objetivo General**

Diseñar un Sistema de energía termoeléctrica solar se suministra con energía eléctrica y energía térmica a una vivienda multifamiliar de la ciudad de Incahuasi.

#### **1.6.2. Objetivo Específicos**

- Realizar un diagnóstico de las necesidades eléctricas y térmicas de una vivienda multifamiliar de la ciudad de Incahuasi.
- Determinar la radiación solar existente en la ciudad de Incahuasi
- Calcular y seleccionar los componentes del sistema de energía termoeléctrica solar.
- Realizar la evaluación económica del sistema de energía termoeléctrica solar

## **CAPITULO II: MARCO TEÓRICO**

### **2.1. Antecedentes de Estudios**

#### **2.1.1. A nivel Internacional**

##### **A nivel internacional**

En Cuba, Monteagudo Yanes & Jiménez Borges (2023), en su investigación titulada: “Potencialidades de la energía solar en la sede central de la Universidad de Cienfuegos”, El presente documento analiza de manera detallada las diversas y potenciales ventajas que puede ofrecer la implementación de sistemas solares de energía en las instituciones universitarias. Estas instituciones, que generalmente se distinguen por su significativo consumo de energía eléctrica, poseen, como resultado del elevado número de edificios que las componen, extensas áreas de techos que podrían ser aprovechadas para la instalación de estos sistemas energéticos. Esta utilización de los espacios disponibles se presenta como una alternativa viable y efectiva, ya que no requeriría la ocupación de terrenos adicionales que podrían ser destinados a otros propósitos o actividades. El trabajo muestra que se puede satisfacer toda la demanda de agua caliente de una residencia estudiantil y de la cocina comedor, además entregar el 85% de la demanda de energía eléctrica de la institución, ello a un costo cercano a unos setecientos mil pesos, con una reducción anual de gastos en el orden de 100 000,00 lo que propicia un Período Simple de Recuperación de la Inversión de siete años. El proyecto que se ha presentado no solo asegura una disminución considerable en las emisiones de dióxido de carbono, alcanzando una cifra significativa de 570 toneladas de CO<sub>2</sub> por año, sino que también promueve la sostenibilidad energética del

campus universitario, lo cual es especialmente importante en estos tiempos complicados para la economía del país. (Monteagudo Yanes & Jiménez Borges, 2023)

En Ecuador, Orozco Pilaquina (2021), en su trabajo de investigación denominado “Diseño de un sistema de microgeneración conectado a la red para una vivienda unifamiliar utilizando paneles termo fotovoltaicos para la producción simultánea de energía eléctrica y agua caliente sanitaria en el sector del Valle De Los Chillos”, En el trabajo que se presenta a continuación, se lleva a cabo el diseño de un sistema de microgeneración que estará conectado a la red eléctrica de distribución existente. El sistema está compuesto por un panel híbrido, conocido como PVT, que tiene la capacidad de generar de manera simultánea tanto energía eléctrica como energía térmica. Su propósito principal es proporcionar una fuente de energía destinada al autoconsumo en una vivienda unifamiliar situada en la región del Valle de los Chillos. Se llevó a cabo la recopilación de información relativa a la irradiación solar, así como datos específicos sobre el consumo de agua caliente sanitaria, con el propósito de facilitar el desarrollo del diseño y permitir una simulación subsecuente. El análisis se llevó a cabo utilizando dos diferentes programas informáticos, específicamente el software PVsyst, que se emplea para realizar el estudio relacionado con sistemas fotovoltaicos, y T\*SOL, que se utiliza para llevar a cabo el estudio correspondiente a sistemas térmicos. Los resultados que se han obtenido acerca de la cantidad de energía generada anualmente indican de manera clara que el sistema es capaz de proporcionar hasta un 55 % de la energía

eléctrica necesaria, así como el 100 % de la energía térmica, para satisfacer la totalidad de la demanda energética requerida por la vivienda en cuestión. Se lleva a cabo un análisis detallado de tipo económico con el propósito de determinar la viabilidad y la factibilidad del proyecto en cuestión. Este estudio considera de manera integral diversos factores, incluyendo los gastos asociados a la inversión inicial necesaria para la implementación de la instalación, así como los costos relacionados con su mantenimiento a lo largo del tiempo. Además, se toman en cuenta aspectos importantes como la tarifa eléctrica que se aplicará en el funcionamiento de la instalación, junto con los costos vinculados al Gas Licuado de Petróleo (GLP). El análisis llevado a cabo se enfocó inicialmente en un primer escenario donde se tuvo en cuenta el subsidio otorgado para la energía eléctrica así como también el subsidio para el gas licuado de petróleo (GLP). En contraste, en un segundo escenario, se realizó un estudio que excluyó la consideración del subsidio correspondiente al GLP. En el primer escenario analizado, se logró un Tasa Interna de Retorno (TIR) que resultó ser negativa, además de un extenso periodo de recuperación que se extendió a lo largo de 25 años, en el cual se generó un ahorro anual de aproximadamente \$331,13. Por otro lado, en el segundo escenario, se observó que el TIR alcanzó un notable 18%, y el periodo de recuperación fue significativamente menor, quedando establecido en tan solo 6 años, lo que permitió disfrutar de un ahorro anual que ascendió a \$882,71. Se concluye que, en el contexto de eliminar el subsidio al gas licuado de petróleo (GLP), el proyecto se considera que tiene viabilidad económica. (Orozco Pilaquina, 2021)

En España, Villca Pozo, (2022), en el trabajo de investigación denominado: “Principales rasgos configuradores de las bonificaciones del IBI e ICIO por la instalación de sistemas de aprovechamiento térmico o eléctrico de la energía solar”, Este trabajo se dedica a la investigación y análisis de las diversas bonificaciones que pueden aplicarse al Impuesto sobre Bienes Inmuebles (IBI) y al Impuesto sobre Construcciones, Instalaciones y Obras (ICIO) específicamente por la instalación de sistemas diseñados para el aprovechamiento térmico o eléctrico de la energía solar en las viviendas. Esta exploración se lleva a cabo considerando el marco normativo establecido por el Texto Refundido de la Ley Reguladora de las Haciendas Locales (TRLHL) así como las ordenanzas fiscales correspondientes al IBI e ICIO en todos los cincuenta municipios que son capitales de provincia, además de incluir a las dos ciudades autónomas que son Ceuta y Melilla. Después de una exhaustiva revisión y análisis de las características distintivas de la regulación que se aplica en los 52 municipios, hemos logrado identificar los límites y las restricciones que aún persisten en la normativa vigente. A partir de este diagnóstico, nuestra intención es presentar un conjunto de propuestas que apunten a mejorar dicha regulación, de manera que estas bonificaciones se conviertan en un auténtico incentivo que motive a los contribuyentes. Asimismo, buscamos que estas mejoras fomenten un aumento en la adopción y uso de energías renovables en los hogares. (Villca Pozo, 2022)

En España, Castañé Portales, (2023), en su trabajo de investigación denominado “Diseño de una instalación solar térmica y fotovoltaica mediante

el uso de colectores solares híbridos”, El presente estudio se dedica a examinar de manera detallada la generación simultánea de energía eléctrica y térmica que se produce en una instalación equipada con módulos solares. Esta configuración está diseñada específicamente para satisfacer de manera efectiva las requerimientos tanto de la demanda de agua caliente sanitaria (ACS) como de electricidad, asegurando así un aprovechamiento integral de la energía solar. El objetivo es llevar a cabo un análisis detallado para dimensionar una instalación que incorpore tanto módulos fotovoltaicos como módulos térmicos, y posteriormente realizar una comparación exhaustiva con otra instalación que utilice exclusivamente módulos híbridos. Los resultados que se obtendrán tras la investigación serán analizados y comparados, y se llevará a cabo una evaluación para determinar si, en el contexto actual, estos innovadores paneles híbridos representan una opción competitiva frente a los módulos solares tradicionales que se utilizan comúnmente en la industria. Si realizamos un análisis detallado y ponemos un enfoque particular en la comparación de los resultados que han sido obtenidos, podemos llegar a la conclusión de que, en la actualidad, una instalación industrial que se compone exclusivamente de módulos híbridos muestra ciertas debilidades o deficiencias en varios aspectos. Entre estos aspectos se incluyen la capacidad de generación de energía fotovoltaica y el ahorro anual que se genera, ya que estos parámetros son sobrepasados por aquellos que se obtienen a través de la instalación de paneles solares convencionales. Sin embargo, es importante destacar que la implementación de paneles híbridos ofrece una notable ventaja en comparación con otras opciones disponibles en el mercado. Esta

ventaja se refiere específicamente a la cantidad de kilovatios hora (Kwh) que se generan por cada metro cuadrado de superficie, lo cual es un factor crucial en la evaluación de la eficiencia energética de estas tecnologías. En otras palabras, si la infraestructura de su instalación cuenta con un espacio limitado y no adecuado para la instalación de módulos solares, la alternativa más recomendable sería optar por una instalación que integre colectores híbridos, ya que esta opción se adaptaría mejor a las restricciones de superficie disponibles. Este factor contribuye a que esta instalación se presente como una opción viable dentro del mercado actual, ya que en los últimos años hemos visto un notable avance y desarrollo en las tecnologías y características de las placas híbridas. En el contexto del ámbito económico, es indiscutible que la opción más asequible en términos de inversión inicial sigue siendo la implementación simultánea de sistemas de placas térmicas junto con placas fotovoltaicas. No obstante, es importante señalar que la instalación de sistemas que combinan módulos híbridos con módulos fotovoltaicos, a pesar de tener un costo inicial considerablemente más alto, también ofrece la ventaja de un ahorro anual significativamente mayor. Por lo tanto, siempre y cuando no se presenten complicaciones inesperadas durante el proceso, estos módulos híbridos poseen un tiempo de retorno de la inversión (conocido como Pay-Back) que se aproxima de manera notable al de las instalaciones más económicas. El análisis detallado y el dimensionado de la instalación de módulos híbridos ha demostrado ser mucho más competitivo de lo que inicialmente se había previsto. Esto se debe a que, a pesar de que estos módulos presentan una eficiencia energética superior en comparación con otras alternativas

disponibles actualmente, en el mercado todavía se observan muy pocos proyectos que integren y utilicen estas tecnologías avanzadas. Sin embargo, dado que los resultados obtenidos muestran valores que son bastante comparables entre sí en casi todas las áreas evaluadas, sería necesario realizar un análisis de dimensionamiento más exhaustivo y detallado para poder establecer con certeza si los módulos híbridos resultan ser una opción rentable. La incorporación de este tipo de instalaciones en el mercado tiene el potencial de abrir una significativa oportunidad comercial en un futuro que se vislumbra cercano. Esto será especialmente cierto cuando los costos asociados a la fabricación de estos sistemas experimenten una disminución. Cabe destacar que los componentes que integran estos sistemas son de una calidad excepcional y se caracterizan por poseer niveles de fiabilidad que son muy altos. (Castañé Portales, 2023)

### **2.1.2. A nivel nacional**

En Huancayo, Pérez Estrella, (2021), en su trabajo de investigación denominado “Diseño del colector solar térmico de un sistema híbrido PVT por modelamiento y simulación”, En un sistema PVT la “electricidad y energía térmica se generan simultáneamente. La idea (...) es utilizar más la radiación solar y también recolectar el calor residual que se genera en los módulos fotovoltaicos (...) y los módulos se enfrían” (Good, 2016), De esta manera, se puede afirmar que la eficiencia del panel se incrementa considerablemente. Por esta razón, se llevó a cabo el diseño del colector solar térmico que forma parte del sistema híbrido de fotovoltaico-térmico, utilizando técnicas de modelamiento y simulación para alcanzar los objetivos

deseados. En el contexto de la investigación presentada en la tesis, se llevó a cabo el desarrollo y la validación a través de métodos experimentales de un modelo matemático dinámico. Este modelo se aplica a un sistema que incluye, entre otros componentes, un panel solar con una capacidad de 250 vatios, así como un absorbedor construido con acero, que está diseñado con un total de siete tubos de cobre de media pulgada de diámetro. Se dispone de un tanque de almacenamiento con una capacidad de 30 litros, además de una bomba que tiene una potencia de medio caballo de fuerza ( $\frac{1}{2}$  HP). En el transcurso de las mediciones, se registró la temperatura del panel solar, así como la del absorbedor, así como la temperatura del agua que entra y sale del colector solar. También se tomaron en cuenta las mediciones de la temperatura del suelo y del aire en el entorno. Adicionalmente, se llevaron a cabo mediciones relacionadas con la irradiancia solar y la velocidad del aire en las cercanías del sistema. La discrepancia observada entre las mediciones reales y las estimaciones generadas por el modelo en relación con la temperatura del panel fotovoltaico, así como la temperatura promedio del agua en el colector y el absorbedor, presenta los siguientes valores:  $-0.4778$  °C para el panel fotovoltaico,  $1.2807$  °C para el agua del colector y  $0.1664$  °C para el absorbedor. Asimismo, al analizar los diversos indicadores utilizados para la validación y la prueba de hipótesis en relación a las temperaturas, se observa que el modelo muestra una capacidad de predicción adecuada en cuanto a la temperatura del panel fotovoltaico y al promedio de la temperatura del agua en el colector. Sin embargo, es importante señalar que el modelo no logra hacer una predicción precisa de la temperatura del absorbedor. En relación con el flujo de agua que circula a través del colector solar, se observa que este

caudal varía, fluctuando entre un rango de 60 mililitros por segundo y 120 mililitros por segundo. El diámetro del absorbedor, así como la cantidad de tubos y el tipo de material utilizados, son especificados como ½ pulgada, con un rango de entre 6 y 8 tubos, elaborados en acero. Estos componentes pertenecen a un colector solar térmico que forma parte de un sistema de energía fotovoltaica térmica (PVT) y están diseñados para ser utilizados en localidades que no cuentan con conexión a la red eléctrica pública. Las diversas características y propiedades inherentes al sistema tienen un impacto significativo tanto en su temperatura como en su nivel de eficiencia operativa. (Pérez Estrella, 2021)

### **2.1.3. A nivel local**

A nivel nacional, no se cuenta con investigaciones relacionadas con el tema que se está proponiendo.

## **2.2. Desarrollo de la temática correspondiente al tema desarrollado**

### **A. La radiación solar y su efecto en zonas de altitud**

El sol opera de manera similar a un reactor nuclear, puesto que en su núcleo tienen lugar reacciones de fusión de átomos que se llevan a cabo a temperaturas extremadamente elevadas. La temperatura en la superficie del sol es aproximadamente de 6000 grados Kelvin, lo que equivale a alrededor de 5727 grados Celsius. Además, la energía que irradia desde su superficie alcanza un impresionante valor de 63,500 kilovatios por metro cuadrado; sin embargo, al llegar a la superficie de la Tierra, esta energía se reduce considerablemente, hasta llegar a aproximadamente 1.37 kilovatios por metro

cuadrado. La radiación solar se puede definir como el flujo de energía que llega a la Tierra en forma de ondas electromagnéticas provenientes de nuestra estrella, el Sol, tal como se menciona en la investigación de Ribot realizada en 1995. Es fundamental resaltar que este tipo particular de energía constituye el recurso energético que presenta la mayor disponibilidad en la región del Perú, lo que lo convierte en una opción valiosa para el desarrollo sostenible del país. Sin embargo, es importante resaltar que la energía solar, al penetrar en nuestra atmósfera, sufre ciertas pérdidas. Estas pérdidas ocurrieron como resultado de diversos fenómenos físicos, incluyendo la dispersión, la absorción y la reflexión de la luz solar. Cabe destacar que estos fenómenos no son uniformes, ya que su impacto varía dependiendo de la longitud de onda específica de los rayos solares que alcanzan la superficie de nuestro planeta. . En términos generales, se puede observar que, en las diversas regiones como la costa y la selva, se cuenta con un promedio de entre 4 y 5 kilovatios hora por metro cuadrado al día, mientras que en la región sierra, esa cifra asciende a un rango de entre 5 y 6 kilovatios hora por metro cuadrado diario. Además, se ha notado un aumento en estas cifras de generación de energía solar, que va en incremento desde la zona norte hacia la zona sur del país. (Horn, 2006)

## **B. Sistemas fotovoltaicos**

Los sistemas fotovoltaicos, comúnmente conocidos como SF, son instalaciones solares diseñadas específicamente para generar energía eléctrica. Esta energía producida es utilizada para cubrir las demandas de diversas cargas eléctricas, las cuales no tienen por qué estar necesariamente

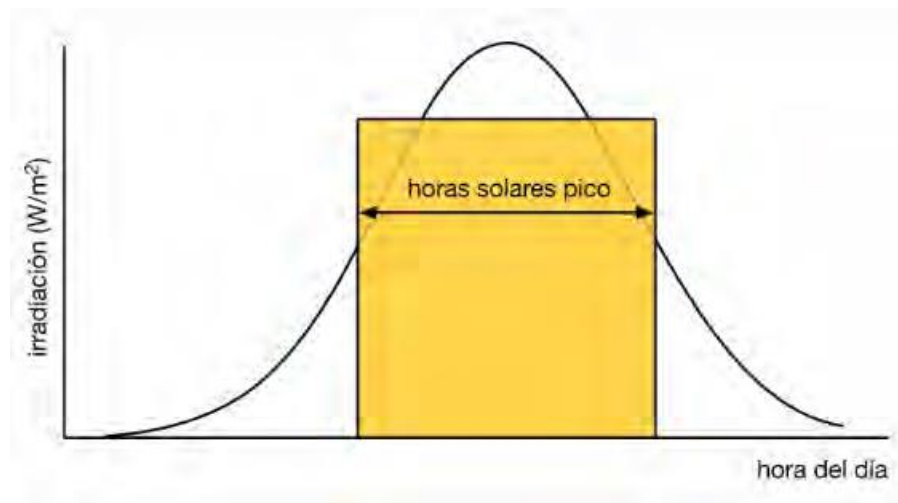
vinculadas a la red pública de distribución de energía, lo que significa que pueden operar de manera completamente autónoma. En el siguiente apartado, procederemos a detallar y explicar con mayor profundidad los componentes fundamentales que conforman un sistema fotovoltaico autónomo, conocido comúnmente como SFA. Un Sistema Fotovoltaico Autónomo (SFA) incluye una serie de componentes clave que trabajan en conjunto para generar y proporcionar energía. Este sistema abarca el panel fotovoltaico, que es responsable de capturar la luz solar y convertirla en electricidad, el controlador de carga que gestiona la cantidad de energía que se almacena, así como las baterías de almacenamiento que retienen la energía generada para su uso posterior. Finalmente, el inversor juega un papel crucial al convertir la corriente continua producida por las baterías en corriente alterna, la cual es necesaria para alimentar y hacer funcionar diversos electrodomésticos en el hogar.

### **C. Hora solar pico**

Los paneles fotovoltaicos, que son dispositivos diseñados para convertir la energía solar en electricidad, funcionan de manera óptima y generan la mayor cantidad de potencia posible en función de diversos factores, entre los cuales se incluyen las condiciones climáticas, la inclinación a la que están instalados, la orientación hacia la que apuntan y las horas de sol pico. Estas últimas, las horas solares pico, se pueden describir como el período teórico diario, medido en horas, en el cual se estima que la radiación solar alcanza un nivel de 1 000 W/m<sup>2</sup>, lo que es esencial para maximizar el rendimiento energético de los

paneles. En otras palabras, se establece un valor que se piensa que permanecerá invariable durante un período específico, en el cual se registra una incidencia de 1 kWh por metro cuadrado, tal y como se ilustra en la figura adjunta:

**Figura 1:** Distribución de la irradiación según la franja horaria



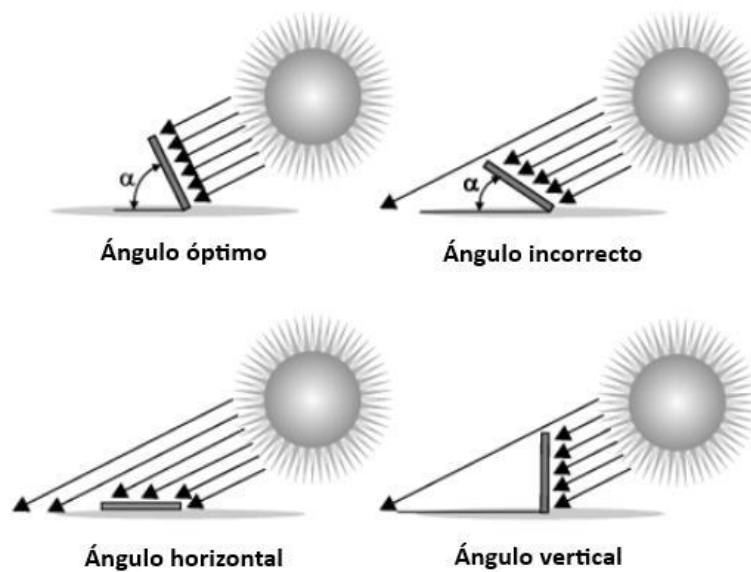
Nota: Recuperado de Eficiencia Energética (2015) Hora Solar Pico

#### **D. Inclinación y orientación de los módulos**

Un elemento esencial y de suma importancia que lleva a cabo una función relevante y determinante en el procedimiento de cálculo y en el diseño de un sistema fotovoltaico es, sin lugar a dudas, la comprensión profunda de la geometría solar. Esta comprensión no solo es necesaria, sino que también es vital para optimizar la eficiencia del sistema. Esta información específica se relaciona con la ubicación del sol en el cielo durante las diferentes horas del día y a lo largo de las distintas estaciones del año. Este conocimiento resulta fundamental para poder determinar la inclinación correcta que deben adoptar los paneles fotovoltaicos. Al ajustar adecuadamente su ángulo, se puede

optimizar su eficiencia y rendimiento, lo que a su vez contribuye a una generación de energía más efectiva. . Desde un enfoque teórico, se puede afirmar que la mayor incidencia de luz solar se produce cuando los rayos del sol inciden de forma perpendicular al plano que forma el panel fotovoltaico, algo que se ilustra claramente en la Figura 2.

**Figura 2:** El ángulo cenital se determina en función de la ubicación del sol en el cielo.



Nota: Tomado de Gradella (2012) Energía Solar Fotovoltaica

## E. Baterías

La utilización de energía y el suministro de energía que proporciona un panel fotovoltaico no permanecen estables en todo momento, ya que la cantidad de radiación solar que se recibe no es constante y tiende a fluctuar. Esta variación se presenta de manera significativa, cambiando de una hora a otra a lo largo del transcurso del día, dependiendo de factores como la ubicación geográfica, las condiciones climáticas y la posición del sol en el cielo. Debido a esta circunstancia, se vuelve extremadamente importante y esencial la puesta en marcha de baterías o dispositivos que tengan como propósito principal el

almacenamiento eficiente de energía. De este modo, podemos garantizar con confianza que se suministrará la cantidad pertinente y suficiente de energía eléctrica en respuesta a la demanda que ha sido creada por el consumo asociado a la carga. Además, en los momentos en que no se estén utilizando los dispositivos, estas baterías permitirán acumular la energía, evitando así su desperdicio. Este enfoque también encuentra justificación en situaciones como días de lluvia o en condiciones de alta nubosidad, donde la generación de energía puede ser inconsistente.

Los bancos de baterías, que son conjuntos de baterías utilizadas para almacenar energía, pueden configurarse de diferentes maneras, incluyendo arreglos eléctricos en serie o en paralelo. Al conectar las baterías en una configuración en serie, garantizamos un incremento en la tensión total del sistema. Por otro lado, al realizar las conexiones en paralelo, se facilita la acumulación de una mayor cantidad de energía, lo que significa que podemos ofrecer una mayor corriente eléctrica mientras mantenemos la misma tensión en el circuito.

La duración efectiva de una batería, conocido como su vida útil, se ve influenciada de manera significativa por la cantidad total de ciclos de carga y descarga que puede soportar. En otras palabras, la vida de la batería está directamente relacionada con el número de veces que puede ser recargada y utilizada, lo que implica un impacto directo en su rendimiento y eficiencia a lo largo del tiempo. La duración efectiva de una batería no necesariamente tiene que verse afectada negativamente si se toman las medidas adecuadas al momento de su instalación. Es fundamental asegurarse de que las baterías estén colocadas de manera correcta, evitando que operen en ambientes

donde las temperaturas sean excesivamente altas y, además, es muy recomendable utilizar un controlador de carga adecuado que regule la energía de manera eficiente.

Con el objetivo de prevenir posibles descargas eléctricas o sobrecargas en los circuitos eléctricos.

La duración efectiva de la batería que se utiliza con más frecuencia, que es del tipo plomo-ácido, tiende a disminuir significativamente a medida que la temperatura de operación aumenta. Específicamente, cuando la temperatura de uso de la batería se eleva, se observa que su vida útil se reduce en un porcentaje determinado, especialmente dependiendo de la profundidad de descarga a la que sea sometida.

#### **F. Controlador de carga**

Desde una perspectiva pragmática, es fundamental señalar que un controlador o regulador de carga se percibe como un componente vital e indispensable en el proceso de conexión e interconexión de sistemas fotovoltaicos. Su función principal es prevenir que la batería se sobrecargue, lo que podría dañar su rendimiento y su vida útil. En este contexto, se podría afirmar que un regulador de carga actúa como un guía o director de la energía, asegurando que esta fluya de manera unidireccional, es decir, desde el panel solar hacia la batería, sin permitir que regrese al sistema. Este dispositivo está vinculado de forma directa al panel solar, a las baterías, al inversor y a otros elementos relacionados, que en conjunto forman parte del sistema energético. en sus terminales.

El panel fotovoltaico, que es un dispositivo diseñado para convertir la luz solar

en energía eléctrica, no debe ser conectado directamente a las baterías que forman parte del sistema de almacenamiento de energía. En su lugar, es fundamental que primero se conecte al controlador de carga, y luego, desde ese controlador, se realice la conexión a las baterías. Este procedimiento es crucial porque el controlador de carga desempeña un papel importante en la regulación del flujo de energía; de esta manera, se previene que las baterías experimenten sobrecargas durante el proceso de carga y que se descarguen excesivamente al llegar a un cierto nivel de tensión baja. Si no se sigue este protocolo, se corre el riesgo de que la vida útil de las baterías se vea comprometida de manera significativa y se reduzca drásticamente.

Hay dos categorías principales de reguladores que se emplean con mayor frecuencia en sistemas solares. Primero que nada, nos topamos con el componente conocido como regulador PWM, que es una abreviatura que se utiliza para referirse a la técnica de modulación de ancho de pulso. Este tipo específico de regulador cuenta con la inclusión de un diodo, lo que facilita que los paneles fotovoltaicos funcionen a una tensión que es equivalente a la de las baterías. Esto asegura, por lo tanto, una carga que es altamente eficiente y efectiva. En segundo lugar, está el regulador MPPT, cuyas siglas se refieren a seguimiento del punto de máxima potencia. Como su nombre indica, este regulador tiene la función de localizar y mantener el punto de tensión en el que los paneles fotovoltaicos generan la mayor cantidad de potencia posible. Su operación continúa indefinidamente hasta que se produce alguna variación en las condiciones de operación.

En la actualidad, los controladores de seguimiento de punto de máxima potencia, comúnmente conocidos como MPPT, son los más utilizados en

sistemas de energía solar. Estos controladores proporcionan una eficiencia significativamente superior en comparación con los reguladores pulsados de ancho de modulación, más conocidos como PWM.

## **G. Inversor**

En la gran mayoría de las circunstancias, el consumidor generalmente utiliza corriente alterna, la cual es frecuentemente referida como CA, con el propósito de suministrar energía eléctrica a sus diversas cargas y dispositivos eléctricos. Debido a esta circunstancia, resulta imprescindible llevar a cabo la instalación de un aparato denominado inversor, el cual desempeña una función significativa y esencial al transformar la corriente continua, comúnmente abreviada como CC, en una corriente alterna que sea apropiada y adecuada para su posterior utilización. En el mercado actual, se puede encontrar una variada y extensa gama de inversores, los cuales pueden clasificarse según las tensiones de entrada que manejan, que son comúnmente de 12 V, 24 V y 48 V. Según el tipo de funcionamiento que ofrezcan, existen diversas categorías de inversores, tales como los de onda cuadrada, los de onda modificada y, por último, los de onda pura, que es la opción más popular y recomendada en la actualidad. Esto se debe a su notable precisión y capacidad para generar, de manera exacta, una tensión y frecuencia específicas. Además, estos inversores tienen la versatilidad de poder alimentar una variedad de cargas diferentes, que pueden incluir cargas resistivas, capacitivas o inductivas.

## **H. Sistemas térmicos solares**

Para llevar a cabo la generación de agua caliente sanitaria, comúnmente conocida como ACS, se emplea una variedad de equipos y dispositivos diseñados específicamente para este propósito. Entre estos, se pueden encontrar las termas que funcionan a gas, las termas eléctricas y, otra opción relevante, las termas solares. Estas últimas se destacan especialmente, ya que son un sistema que aprovecha una fuente de energía renovable, dado que su funcionamiento se basa en la captación de la energía proveniente del sol. La ciudad de Ayacucho, en comparación con la gran capital Lima y otras localidades del país, carece de un sistema adecuado de distribución de gas natural. Esta ausencia resulta ser un obstáculo significativo, especialmente para el uso de gas en actividades cotidianas como la cocina y la producción de agua caliente sanitaria. Como consecuencia de esta situación, la mayoría de los habitantes de Ayacucho se ven en la necesidad de recurrir a termas eléctricas, las cuales vienen en diversas capacidades y están diseñadas para conectarse a la red eléctrica pública disponible en la región. No obstante, es importante señalar que el consumo de energía es considerablemente alto cuando se utiliza un sistema durante un periodo de tiempo limitado. Adicionalmente, en esta región específica no se está utilizando de manera adecuada el recurso natural que representa la radiación solar, el cual se encuentra disponible en abundancia. Por consiguiente, es de suma importancia que se realice un diseño apropiado y una puesta en marcha efectiva de un sistema de energía solar térmica en un edificio que alberga varias viviendas, ya que esto no solo contribuye a la sostenibilidad energética, sino que también mejora la eficiencia y el bienestar de los residentes en la comunidad. El funcionamiento básico de un sistema de terma solar se basa

en el proceso de calentar agua mediante la energía proveniente de los rayos del sol. Esta energía solar incide directamente sobre el colector, o alternativamente, sobre los tubos al vacío, generando calor a través de la radiación solar. Una vez que el agua es calentada de esta manera, el fluido se transporta hacia un tanque térmico. Desde este tanque, el agua se distribuye a las diferentes áreas de la edificación, todo esto sucede gracias a la acción de la gravedad, que facilita el movimiento del agua caliente a través de las tuberías instaladas en el sistema. (Horn, 2006)

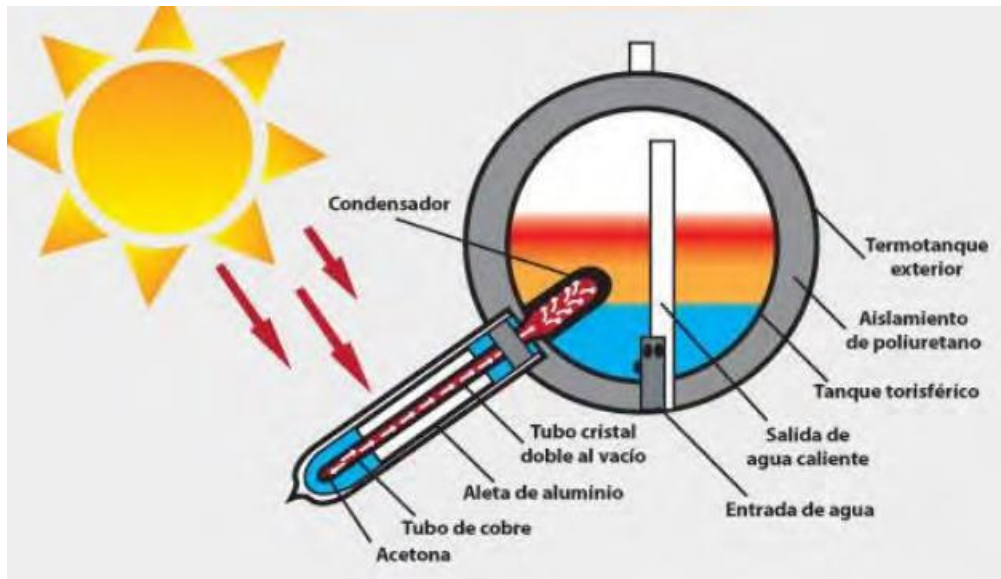
### **I. Tuberías**

Los tubos al vacío que se consideran convencionales hacen uso de un sistema de tuberías que están dispuestas de tal manera que el agua sanitaria fluye hacia abajo debido principalmente a la fuerza de la gravedad. Este diseño permite que se produzca un fenómeno conocido como convección natural, donde el vapor generado asciende hacia el tanque térmico. Este proceso resulta en un ciclo continuo de calentamiento del fluido que se encuentra en el sistema. Los tubos al vacío han sido diseñados de tal manera que se encuentran resguardados de las condiciones externas, gracias a su estructura aislante. Por esta razón, se les aconseja su uso en regiones donde se registra una mayor cantidad de nubes y temperaturas frías.

Del mismo modo, también están accesibles las termas solares que hacen uso de tubos de calor que cuentan con la tecnología de Heat Pipe. Estos son tubos termosifón bifásicos, especialmente diseñados para funcionar eficazmente bajo condiciones de alta presión. La base esencial que se encuentra en el funcionamiento de este tipo de tecnología reside en la capacidad de realizar

una transferencia de calor de manera eficiente mediante un tubo de cobre. Este tubo ha sido meticulosamente colocado dentro de otros tubos, los cuales están al vacío, los cuales son parte integral del sistema en cuestión. Los rayos del sol impactan directamente sobre los tubos, lo que provoca un fenómeno de cambio de fase en el líquido que se encuentra en el interior de los tubos de cobre. Este proceso transforma el líquido en gas y, a su vez, permite la transferencia de calor hacia el cabezal que se muestra en la Figura 3. Dado que la temperatura en el cabezal es significativamente más baja, el gas se condensa, convirtiéndose nuevamente en líquido y regresando a su estado inicial. Este ciclo se repite de manera continua y constante, asegurando la eficiencia del sistema. Los cabezales de los tubos de cobre son colocados cuidadosamente dentro del tanque que se dedica al almacenamiento de agua. Este proceso permite la transferencia de calor mediante la conducción térmica, lo cual contribuye a calentar de manera uniforme el termotanque que se encuentra situado en su interior. Posteriormente, esta acción resulta en el calentamiento eficiente del agua destinada a usos sanitarios. Las instalaciones de termas solares que utilizan tubos de calor se caracterizan por su notable capacidad de conducción del calor, lo que las hace especialmente eficientes. Además, estas estructuras son efectivas en la prevención de posibles inundaciones, un problema que podría surgir en los sistemas de termas solares que funcionan con tubos al vacío cuando el agua logra entrar en dichos tubos.

**Figura 3:** Terma solar de tubos de calor o Heat Pipe



Nota: Asociación Peruana de Energía y Medio Ambiente (2017) Terma Solar Heat Pipe

#### J. Tanque térmico de almacenamiento

El tanque térmico de acumulación de agua ha sido especialmente diseñado y concebido para realizar la importante tarea de almacenar de manera eficiente el agua que circula a través de los tubos al vacío, así como también por las tuberías que se encuentran en el interior del colector solar plano. Esta función es crucial para optimizar el aprovechamiento de la energía térmica solar. Esta situación proporciona la posibilidad de que el agua acumulada pueda estar lista y accesible para ser utilizada en el momento que sea necesario, en función de las necesidades particulares de los residentes que confían en este sistema para su vida cotidiana y sus actividades diarias. Es bastante habitual observar que el agua fría ingrese a través de la sección inferior de un sistema, mientras que el agua caliente tiende a salir por la parte superior de dicho sistema.

## **CAPITULO III: MARCO METODOLÓGICO**

### **3.1. Tipo y diseño de investigación**

#### **3.1.1. Tipo de investigación: Aplicada**

La tecnología que se centra en la captura y concentración de la energía proveniente del sol ha sido objeto de evaluación exhaustiva y ha recibido reconocimiento como una opción viable y prometedora. Esta tecnología se considera apta para ser implementada en sistemas que han sido diseñados de manera específica para proporcionar tanto electricidad como energía térmica de manera eficiente y sostenible. Un sistema de energía termoeléctrica solar se refiere a una tecnología innovadora y avanzada que tiene la capacidad de transformar la radiación solar que llega a nuestro planeta en dos formas de energía útiles: energía eléctrica y energía térmica. Este proceso se lleva a cabo mediante la concentración de la luz solar, lo que permite generar calor a partir de dicha radiación. Posteriormente, este calor se convierte en electricidad y también se utiliza para generar calor útil, que puede ser aprovechado en diversas aplicaciones. Este particular método ha sido empleado de manera habitual y constante en el proceso de generación de electricidad, capitalizando el fenómeno físico que se produce cuando el vapor, tras ser calentado a temperaturas muy elevadas, se expande y genera energía. Este vapor se desplaza cuidadosamente a través de turbinas que han sido meticulosamente diseñadas y elaboradas con el objetivo específico de optimizar y facilitar el proceso de generación de energía eléctrica.

La investigación que se está llevando a cabo en el presente momento se caracteriza por tener un enfoque que se puede considerar claramente

aplicado. Esto se debe a que el objetivo principal de este trabajo es proporcionar tanto energía eléctrica como energía térmica para una vivienda ubicada en Incahuasi. Este suministro energético se logrará a través del uso de tecnologías que aprovechan la energía solar.

### **3.1.2. Diseño de investigación: No experimental**

El tipo específico de diseño que se está implementando y utilizando en la investigación que se encuentra actualmente en curso puede ser categorizado y clasificado como perteneciente a la metodología No Experimental. La razón detrás de esto es que, en el enfoque específico que estamos considerando, no se realizan manipulaciones intencionales de las variables que están siendo evaluadas dentro del marco del estudio en cuestión. En términos más sencillos, lo que intentamos comunicar es que nos estamos refiriendo a una categoría específica de investigaciones en la que no manipulamos deliberadamente las variables independientes. Nuestro propósito principal en estas investigaciones es prestar una cuidadosa atención para observar y analizar de qué manera estas variables independientes afectan e influyen en otras variables que son relevantes y forman parte del conjunto de estudios que estamos realizando en este momento.

### **3.2. Población y muestra**

**La población:** Lo constituyen las viviendas de la ciudad de Incahuasi, distrito de Incahuasi, provincia de Ferreñafe, departamento de Lambayeque

**La muestra:** Esta conformada por una vivienda de la ciudad de Incahuasi, distrito de Incahuasi, provincia de Ferreñafe, departamento de Lambayeque.

Es una muestra no probabilística.

### **3.3. Hipótesis**

Mediante el diseño de un Sistema de energía termoeléctrica solar se suministra con energía eléctrica y energía térmica a una vivienda multifamiliar de la ciudad de Incahuasi

### **3.4. Variables - Operacionalización**

X: Variable independiente: Sistema de energía termoeléctrica solar

Y: Variable dependiente: Energía eléctrica y energía térmica

**Tabla 1.** Operacionalización de variables

TIPO	NOMBRE	DEFINICION CONCEPTUAL	DEFINICIÓN OPERACIONAL	TÉCNICA	INSTRUMENTO	INDICADORES
INDEPENDIENTE	Sistema de energía termoeléctrica solar	Un sistema de energía solar se refiere a la tecnología que utiliza la radiación solar para generar electricidad y calor. Existen dos tipos principales de sistemas solares: fotovoltaicos y térmicos. (ENEL, 2024)	Se determina la radiación solar y la energía que requiere generar.	Análisis documental	Ficha de análisis documental	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Radiación solar (kW-h/m<sup>2</sup>)</li> <li>✓ Temperatura (°C)</li> </ul>
DEPENDIENTE	Energía eléctrica y energía térmica	La energía eléctrica es una forma de energía resultante del movimiento de partículas cargadas, como electrones, a lo largo de un conductor. La energía térmica es la energía interna de un sistema relacionada con la temperatura. (Verde, 2024)	Se determina la cantidad la Potencia Eléctrica, la Máxima Demanda, la Energía Térmica requerida	Análisis documental	Ficha de análisis documental	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Energía eléctrica (kW-h)</li> <li>✓ Potencia eléctrica (kW)</li> <li>✓ Energía Térmica (kJ)</li> </ul>

### **3.5. Métodos y Técnicas de investigación**

#### **Técnicas**

##### **Búsqueda de información bibliográfica**

El proceso implica la identificación y localización de las referencias bibliográficas que se centran en un tema específico, las cuales han sido obtenidas de una variedad de fuentes de información distintas y relevantes.

La obtención de información bibliográfica resulta ser un componente fundamental para llevar a cabo una adecuada evaluación sobre la relevancia de la pregunta de investigación planteada, así como también para decidir de manera informada cuál será el tipo de diseño que se utilizará en el estudio en cuestión. Además, nos ofrece la oportunidad de adquirir conocimientos valiosos a partir de los errores o las limitaciones que se encuentran en investigaciones anteriores. Estas carencias suelen ser expresadas por los mismos autores de esos estudios en la sección dedicada a la discusión. También pueden ser reveladas a través de la correspondencia que se mantiene posteriormente a la publicación de un artículo académico. (Sanchez, Reyes, & Mejía, 2018)

### **3.6. Descripción de los instrumentos utilizados**

Se utilizaron las herramientas mencionadas a continuación, las cuales guardan una relación directa y estrecha con los métodos empleados en el proceso:

#### **Ficha de búsqueda de información bibliográfica**

Esta es una tarjeta que presenta un tamaño compacto y es diseñada con el único propósito de ser empleada para registrar y guardar información

importante relacionada con un determinado libro o un artículo específico. Los documentos en cuestión son creados para cada una de las publicaciones que se han elaborado, y no se restringen exclusivamente a aquellas que han sido localizadas o revisadas físicamente. Esto se debe a que, en un futuro no muy lejano, podrían resultar ser de suma importancia y utilidad para el avance de nuestra investigación. (Sanchez, Reyes, & Mejía, 2018)

### **3.7. Análisis Estadístico e interpretación de los datos**

La finalidad primordial de este procedimiento es realizar un análisis detallado y meticuloso de un conjunto particular de datos e información. A través de este análisis, se busca derivar conclusiones que sean relevantes y significativas, las cuales no solo aporten claridad sobre los datos que han sido recogidos, sino que también sirvan como base sólida para facilitar la toma de decisiones que sean bien fundamentadas e informadas.

En el contexto de la investigación que se está realizando actualmente, se ha llevado a cabo un meticuloso proceso de recolección de datos y información correspondiente a la cantidad de radiación solar que se encuentra presente en la ciudad de Incahuasi. En una etapa posterior, esta información que resulta ser extremadamente valiosa será sujeta a un análisis detallado mediante la aplicación de diversos métodos de estadística descriptiva, con el objetivo de conseguir conclusiones que sean realmente significativas y que aporten un conocimiento más profundo sobre el tema en cuestión. La estadística descriptiva es una rama de la estadística que se centra en la recopilación y el análisis de información de diversas fuentes. Esta disciplina tiene como objetivo principal extraer y presentar datos de forma que podamos

entender las frecuencias de aparición de diferentes elementos. Además, también permite calcular las medidas de tendencia central, que nos proporcionan un punto de referencia sobre el comportamiento general de los datos, así como las medidas de dispersión, que nos indican cuánto varían esos datos entre sí. Todo esto se realiza con relación a los datos que han sido cuidadosamente recolectados para su estudio.

La información que se ha mencionado anteriormente fue cuidadosamente organizada en una serie de diferentes intervalos o rangos, y luego fue objeto de un análisis detallado a través de la utilización de la media aritmética como herramienta principal para realizar este estudio. Este proceso nos ofreció la valiosa oportunidad de realizar una evaluación exhaustiva sobre la confiabilidad de cada una de las unidades que están siendo analizadas en este contexto. La media aritmética, la cual se puede definir de manera precisa como el resultado que se obtiene al sumar todos los valores de un conjunto y luego dividir ese total entre el número de valores que componen dicho conjunto, es ampliamente considerada como una de las medidas estadística de tendencia central más importantes y significativas dentro del ámbito de la estadística. La distinción que se presenta entre el valor máximo que ha sido documentado en un conjunto específico de datos y el valor mínimo que se ha observado en ese mismo conjunto se emplea como base para realizar el cálculo del rango. Este rango es fundamental para entender la dispersión y variabilidad de los datos analizados. Este rango, por su parte, desempeña un papel fundamental al permitir la expresión de manera cuantitativa del ancho o la amplitud de los diferentes valores que se encuentran presentes en los datos que han sido objeto de análisis.

## CAPITULO IV: ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE LOS RESULTADOS

### 4.1. Diagnóstico de las necesidades eléctricas y térmicas de una vivienda multifamiliar de la ciudad de Incahuasi

Para la realización del presente trabajo de investigación se ha seleccionado una vivienda que se encuentra alejada de la ciudad, la ubicación de dicha vivienda está en las siguientes coordenadas UTM:

**Tabla 2:** Ubicación Coordenadas UTM WGS84 de la vivienda a aplicar la investigación

<b>ESTE</b>	686994.00
<b>NORTE</b>	9310949.00
<b>ALTITUD (msnm)</b>	3078

Nota: Elaboración propia

**Figura 4:** Vista de Planta de la vivienda seleccionada



Nota: Elaboración propia

Los criterios para seleccionar esa vivienda han sido:

- Estar alejada de las redes eléctricas convencionales
- Su mayor altitud sobre el nivel del mar
- Sus requerimientos de Energía Eléctrica y Térmica

### Requerimientos de Electricidad:

Para determinar los requerimientos de electricidad se aplicó una encuesta a los propietarios de la vivienda, obteniendo los siguientes resultados:

**Tabla 3:** Requerimientos de Energía Eléctrica en vivienda de Incahuasi

Descripción	Tensión	Unid.	Potencia (W)	Pot Tot (W)	Uso diario (h)	Energía/día (Wh/día)
Foco ahorrador	220 V c.a.	8	23	184	5	920
Cargador de Celular	220 V c.a.	2	5	10	5	50
Licadora	220 V c.a.	1	250	250	0.25	62.5
Televisor	220 V c.a.	1	75	75	3	225
Radio	220 V c.a.	1	15	15	5	75
Total			368	534		<b>1332.5</b>

Nota: Elaboración propia

### Requerimientos de Energía Térmica:

De acuerdo con lo establecido en el Reglamento Nacional de Edificaciones, es importante considerar la Tabla 4 que se encuentra en dicho documento para determinar la adecuada provisión de agua caliente sanitaria (ACS) en las viviendas, ya sea que se trate de casas unifamiliares o de complejos de viviendas multifamiliares:

**Tabla 4:** Dotación de ACS para viviendas unifamiliares y multifamiliares

Número de dormitorios por vivienda	Dotación diaria en litros
1	120
2	250
3	390
4	420
5	450

Fuente: Recuperado de Reglamento Nacional de Edificaciones (2006) Decreto supremo N° 011-2006

De acuerdo con lo que se ha estipulado en el plano civil que especifica la organización y distribución de los diferentes espacios que comprenden cada uno de los departamentos ubicados dentro de la edificación, se ha tomado la decisión de que se tendrá en cuenta un suministro mínimo diario de agua caliente sanitaria (ACS) que ascenderá a un total de 420 litros por día.

Con el fin de llevar a cabo de manera efectiva el cálculo de la cantidad de masa de agua caliente que resulta ser esencial en el funcionamiento del sistema térmico solar, vamos a proceder a realizar un análisis exhaustivo y minucioso del funcionamiento integral del sistema, el cual incluye la operación del tanque térmico que juega un papel crucial dentro de este proceso.

Se lleva a cabo un proceso conocido como transferencia de calor en el instante exacto en que se produce un contacto físico directo entre el agua fría y el agua caliente, permitiendo así que el calor fluya desde el líquido más caliente hacia el más frío hasta que se alcance un equilibrio térmico. En consecuencia, se llevará a cabo la aplicación de la ecuación relacionada con el equilibrio térmico, con el objetivo específico de realizar el cálculo o la determinación de la masa correspondiente al agua que se encuentra en una condición de alta temperatura. De acuerdo con la información proporcionada por el fabricante, se ha indicado que los tubos de calor, conocidos como Heat

Pipe, tienen la capacidad de alcanzar temperaturas que se encuentran dentro del rango de 100 °C hasta 150 °C. En este proceso, el condensador del tubo desempeñará un papel fundamental al transferir el calor que ha sido adquirido.

Como resultado de la radiación solar que incide de manera directa sobre la superficie del agua, esta experimentará un aumento en su temperatura, alcanzando niveles que oscilan entre los 80 °C y los 100 °C en el interior del tanque térmico diseñado para tal propósito. Al mezclar el agua caliente con el agua fría que proviene de la red pública de suministro, se obtendrá una combinación cuya temperatura final se encontrará en un rango que oscila entre los 55 grados Celsius y los 60 grados Celsius. Es fundamental mencionar y destacar que todos estos valores estarán influenciados y, por lo tanto, podrán variar debido a una serie de diversas variables. Entre estas variables, se incluyen factores como la intensidad de la irradiación solar que se recibe, la eficiencia del sistema que se esté utilizando en ese momento, así como también la temperatura ambiental que exista en ese periodo específico.

Para poder llevar a cabo de manera efectiva nuestra estimación, determinaremos que la temperatura del agua caliente sanitaria, que comúnmente se abrevia como TACS, se fijará en un valor de 60 grados Celsius en el punto de salida del tanque. Sin embargo, es importante considerar que el agua caliente posee la habilidad de transferir su calor al agua fría que se encuentra a su alrededor. Por lo tanto, es imperativo considerar la temperatura del agua caliente, la cual se asumirá que será de 90 °C. Esta asunción es crucial para asegurar que la temperatura de salida

del agua caliente sanitaria se mantenga adecuadamente en 60 °C.

Referente al sistema 1, bajo la suposición de que se encuentra en un estado de aislamiento, lo que origina pérdidas prácticamente insignificantes en las etapas iniciales, y considerando que el sistema ha alcanzado un estado estacionario:

$$Q_{a,f} + Q_{a,c} \cong Q_{ACS}$$

$$m_{a,f} * C_p * T_{a,f} + m_{a,c} * C_p * = (m_{a,f} + m_{a,c}) * C_p * T_{ACS}$$

Donde:

- $Q_{a,f}$ : Calor absorbido por el S1 del agua caliente [kJ]
- $Q_{a,c}$ : Calor cedido por el agua caliente [kJ]
- $C_p$  : Capacidad calorífica del agua (4.186 kJ/kg °C)
- $m_{a,f}$ : Masa del agua fría [kg]
- $m_{a,c}$  : Masa del agua caliente [kg]
- $T_{a,f}$ : Temperatura del agua fría (11.7 °C)
- $T_{a,c}$ : Temperatura del agua caliente (90 °C)
- $T_{ACS}$ : : Temperatura de ACS a la salida del tanque (60 °C)

Conforme a lo que se establece en las especificaciones del Reglamento Nacional de Edificaciones, es fundamental considerar la cantidad diaria necesaria de agua caliente sanitaria que se requiere para asegurar el perfecto funcionamiento y la eficiencia de todas las instalaciones:

$$m_{a,f} + m_{a,c} = 998,2 \text{ kg } m^3 * 420 \text{ L} * 1 \text{ m}^3 / 1000 \text{ L} = 419,24 \text{ kg}$$

Se establece y calcula la cantidad de masa de agua caliente que es necesaria

para llevar a cabo el procedimiento en cuestión:

$$(419,24 \text{ kg} - m_{a,c}) * 11,7 \text{ }^{\circ}\text{C} + m_{a,c} * 90 \text{ }^{\circ}\text{C} = 419,24 \text{ kg} * 60 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$m_{a,c} = 258,61 \text{ kg}$$

Con el objetivo de determinar de manera exacta la cantidad de energía necesaria para calentar el agua fría que se utilizará para fines sanitarios, se procederá a utilizar la fórmula que se presentará a continuación. Es importante tener en cuenta un porcentaje estimado que representa la pérdida de energía que puede ocurrir tanto en las tuberías como en el aislamiento del termotanque, el cual se calcula en un 20%. (Kalogirou, 2024):

$$E_{a,c} = [m_{a,c} * C_p * (T_{a,c} - T_{H2O}) * n * \eta] / 0.8$$

Donde:

- $E_{a,c}$ : Demanda energética diaria [kJ/día]
- $m_{a,c}$ : Masa total necesaria de agua [kg]
- $C_p$ : Capacidad calorífica del agua (4,186 kJ/kg °C)
- $T_{a,c}$ : Temperatura deseada de agua caliente [°C]
- $T_{H2O}$ : Temperatura de agua sanitaria de la red [°C]
- $N$ : Número de días por mes
- $\eta$ : Porcentaje de uso

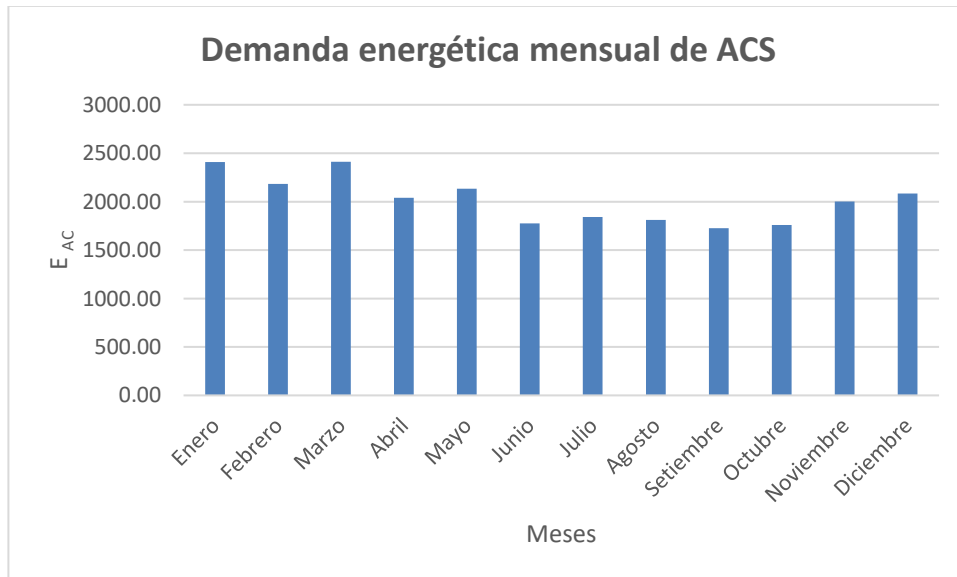
Es importante considerar que la temperatura del agua fría destinada a usos sanitarios que proviene de la red pública no ha sido registrada ni documentada de manera oficial por la empresa encargada de suministrar esta agua a la comunidad. Por lo tanto, en ausencia de información precisa, se optará por asumir que la temperatura del agua de la red es aproximadamente igual a la

temperatura del medio ambiente en el que se encuentra. Por lo tanto, se muestra de manera detallada la demanda de energía correspondiente a cada mes en la Tabla número 5.

**Tabla 5:** Demanda energética de ACS mensualmente

<b>Mes</b>	<b>m<sub>a,c</sub> (kg)</b>	<b>T<sub>H2O</sub> (°C)</b>	<b>T<sub>a,c</sub> (°C)</b>	<b>Porcentaje de uso</b>	<b>N° días (n)</b>	<b>E<sub>a,c</sub> (MJ)</b>
Enero	258.61	13.4	90	75%	31	2409.94
Febrero	258.61	13.2	90	75%	28	2182.40
Marzo	258.61	13.3	90	75%	31	2413.09
Abril	258.61	12.7	90	65%	30	2039.71
Mayo	258.61	11.7	90	65%	31	2134.97
Junio	258.61	10.5	90	55%	30	1775.03
Julio	258.61	10.2	90	55%	31	1841.12
Agosto	258.61	11.5	90	55%	31	1811.13
Setiembre	258.61	12.7	90	55%	30	1725.91
Octubre	258.61	13.7	90	55%	31	1760.37
Noviembre	258.61	14.2	90	65%	30	2000.13
Diciembre	258.61	13.6	90	65%	31	2083.16
<b>Total (Promedio anual)</b>	<b>258.61</b>	<b>12.6</b>	<b>90</b>	<b>63.33%</b>	<b>30</b>	<b>2014.75</b>

La petición mensual relacionada con el suministro de agua caliente sanitaria se presenta de manera clara y se detalla minuciosamente en el gráfico que sigue a continuación.



#### 4.2. Determinación de la radiación solar existente en la ciudad de Incahuasi

Se establece y calcula la cantidad de irradiación solar que recibe el área específica del proyecto, considerando para ello los criterios que se detallan a continuación:

- Se ha elaborado un protocolo detallado que establece los procedimientos para la medición de la irradianza solar, el cual incluye de manera específica la fecha y la hora programada para llevar a cabo la instalación de los paneles solares.
- Se llevaron a cabo mediciones de radiación solar durante el período comprendido entre diciembre de 2024 y enero de 2025, realizando estas mediciones una vez cada hora, comenzando a las 7 de la mañana y finalizando a las 6 de la tarde.
- La recolección de información relacionada con la radiación solar en el entorno natural del campo ha sido llevada a cabo utilizando un instrumento específico conocido como el Medidor Solar, modelo TM-206 (TENMARS). Este enunciado hace referencia al procedimiento que involucra la utilización manual del

dispositivo de medición solar en el momento que inicia cada nueva hora.

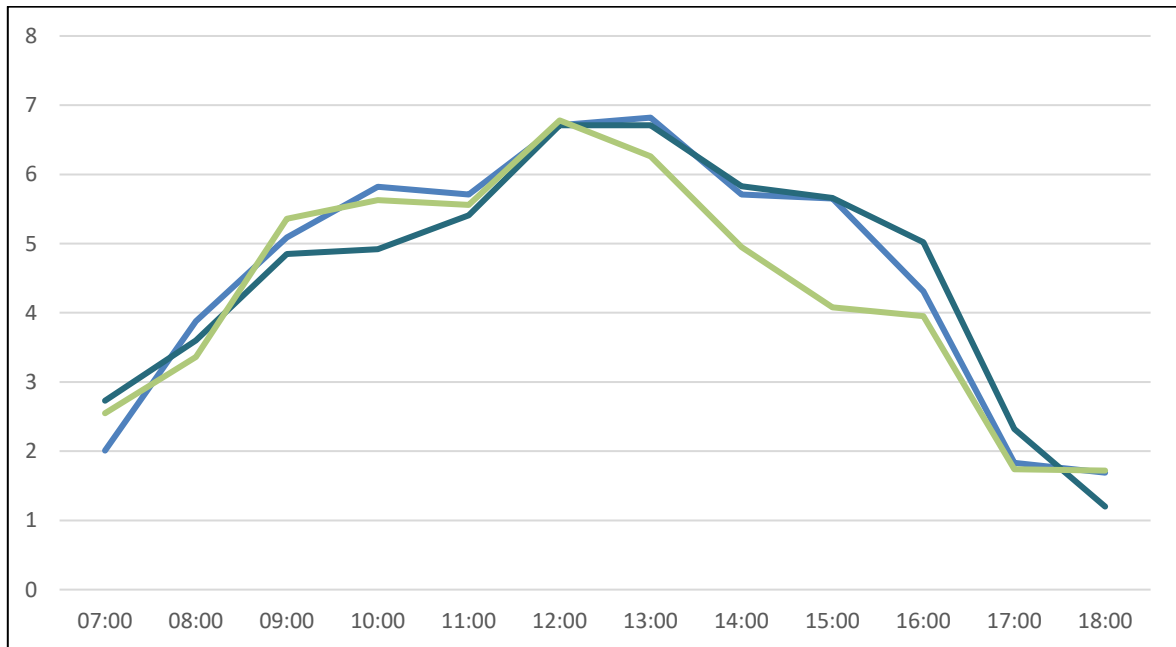
- Los valores que han sido meticulosamente medidos y posteriormente registrados se fundamentan en las directrices establecidas en el Protocolo de Radiación Solar, el cual está debidamente almacenado en una base de datos específica diseñada para tal fin. Este protocolo es utilizado para calcular la irradiancia diaria promedio que se presenta en el área, empleando la distribución estadística conocida como Weibull para realizar dicho análisis.

**Tabla 6:** Radiación Solar – Datos del Solarímetro

COORDENADAS	RADIACION SOLAR (Kw-h/m <sup>2</sup> )											
	COORDENADA GMS WGS84 ZONE 17S											
	E 686994.00 N 9310949.00											
FECHA / HORA	07:00	08:00	09:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00	18:00
6/12/2024	2,01	3,88	5,09	5,82	5,71	6,71	6,82	5,71	5,65	4,31	1,83	1,69
8/12/2024	2,73	5,16	5,09	5,7	5,6	6,72	6,09	4,34	4,35	4,57	2,01	2,04
10/12/2024	2,76	3,96	4,08	4,86	5,34	5,52	6,85	4,47	4,6	3,32	2,05	1,92
12/12/2024	2,73	4,14	5,16	5,65	5,82	5,71	6,71	5,02	4,34	3,58	2,13	2,04
14/12/2024	2,03	4,09	5,48	5,71	5,88	6,85	6,16	5,04	4,34	2,31	1,83	2,05
16/12/2024	2,01	3,9	5,16	5,7	5,6	5,74	6,26	4,35	4,08	3,95	1,74	1,72
18/12/2024	2,01	3,84	4,92	4,09	5,48	5,6	6,72	5,11	5,12	5,04	2,84	1,93
20/12/2024	2,03	3,78	3,06	4,14	5,16	6,64	6,7	5,26	2,84	2,31	2,05	1,53
22/12/2024	1,99	3,72	4,14	4,85	5,09	5,82	6,71	5,33	4,34	4,35	3,57	2,01
24/12/2024	2,41	3,66	3,06	4,14	5,16	5,65	6,82	5,71	5,02	4,34	3,58	2,13
26/12/2024	2,73	3,6	4,85	4,92	5,41	6,71	6,71	5,83	5,66	5,02	2,32	1,2
28/12/2024	1,61	3,54	3,12	3,49	4,14	5,34	6,52	5,85	5,04	4,34	2,31	1,81
3/01/2025	2,03	3,48	4,92	4,09	5,48	6,6	6,72	5,13	5,12	5,04	2,84	1,93
5/01/2025	2,32	3,42	5,29	5,77	5,78	5,85	6,26	5,75	4,34	2,31	1,93	2,05
7/01/2025	2,55	3,36	5,36	5,63	5,56	6,78	6,26	4,95	4,08	3,95	1,74	1,72
9/01/2025	2,97	3,3	4,72	4,47	5,88	6,46	6,72	5,19	5,07	5,04	2,84	1,97
11/01/2025	2,45	3,24	3,16	4,28	5,66	5,94	6,97	5,26	2,84	2,31	2,15	1,53
13/01/2025	1,99	3,18	4,64	4,65	5,89	6,32	6,51	5,33	4,34	4,35	3,57	2,16
15/01/2025	2,35	3,12	5,39	5,32	5,71	5,81	6,82	5,78	5,85	2,21	1,83	1,69
17/01/2025	2,39	3,06	5,12	5,79	5,46	5,72	6,39	4,34	4,35	3,57	2,09	2,14
19/01/2025	2,76	2,99	4,58	4,76	5,34	6,52	6,85	4,87	4,04	2,32	2,05	1,92
21/01/2025	2,73	2,94	4,35	4,62	5,41	6,77	6,31	5,83	5,66	5,58	2,32	1,12
23/01/2025	1,81	2,88	3,22	3,49	4,84	6,34	6,52	5,05	5,04	4,34	2,37	1,81
25/01/2025	2,12	2,82	4,72	4,49	5,45	6,68	6,78	5,19	5,14	5,04	2,84	1,93

Posteriormente, los gráficos ilustran de manera detallada la actividad relacionada con los recursos solares, observable en varios días distintos:

**Figura 5:** Evaluación de la Irradiación kW-h/m<sup>2</sup>



Nota: Elaborado por el autor

### **Cálculo de los parámetros de Weibull**

La distribución de frecuencias es establecida y definida por la irradiación solar nominal, la cual se sitúa en un rango específico de 1 kWh/m<sup>2</sup>. Este rango fluctúa desde niveles de 0 kWh/m<sup>2</sup> hasta alcanzar 1 kWh/m<sup>2</sup>, lo que permite que se pueda calcular de manera precisa una proporción que represente el comportamiento del Sol, tomando como referencia la superficie promedio durante cada uno de los diferentes períodos analizados.

A partir de la información presentada en la Tabla 6, la cual documenta la cantidad de radiación solar medida a lo largo de un periodo de dos meses, se ha decidido reorganizar la Tabla 7 en una disposición de fila. Esta reestructuración se realiza con el propósito de facilitar una caracterización más efectiva de los datos y así

lograr determinar la frecuencia óptima de radiación solar.

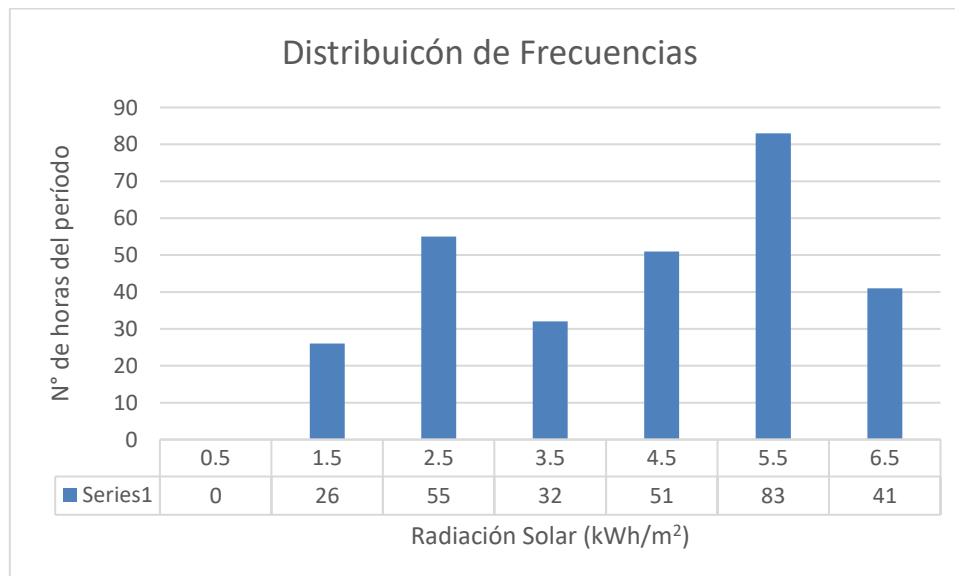
**Tabla 7:** Cálculo de la Distribución Acumulada y Distribución de Frecuencia

RADIACION (kWh/m <sup>2</sup> )	RANGO MAXIMO (kWh/m <sup>2</sup> )	RANGO MINIMO (kWh/m <sup>2</sup> )	OBSERVACIONES	DIST. DE FRECUENCIA	FRECUENCIA ACUMALADA (fa)
0,5	1	0	0	0	0
1,5	2	1	26	0,090277778	0,090277778
2,5	3	2	55	0,190972222	0,28125000
3,5	4	3	32	0,111111111	0,392361111
4,5	5	4	51	0,177083333	0,569444444
5,5	6	5	83	0,288194444	0,857638889
6,5	7	6	41	0,142361111	1
<b>TOTAL DE DATOS</b>			<b>288</b>		

Nota: Elaborado por el autor

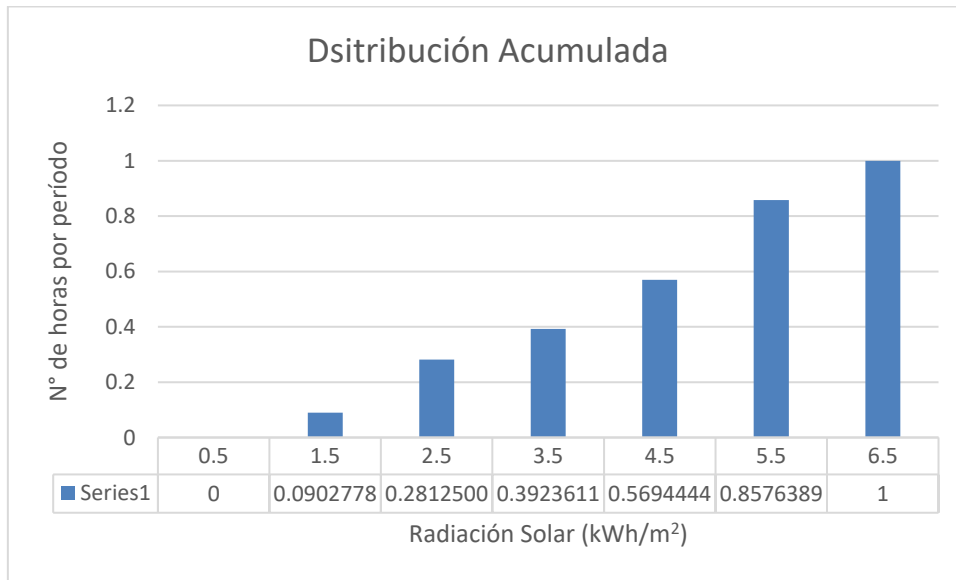
Con la información que hemos recopilado hasta este momento, procedemos a elaborar la siguiente representación gráfica:

**Figura 6:** Distribución de Frecuencias



Nota: Elaborado por el autor

**Figura 7:** Distribución acumulada de Weibull



Nota: Elaborado por el autor

Con el fin de poder determinar las constantes que son necesarias en la ecuación de la forma  $y = \beta x^b$ , procedemos a utilizar la información que se encuentra en la tabla que se presenta a continuación:

**Tabla 8:** Datos que dan origen a la ecuación de la recta

RADIACION PROMEDIO	DISTRIBUCIÓN ACUMULADA
$x = \ln(v)$	$y = \ln(-\ln(1-F(v)))$
-0,693147181	
0,405465108	-2,357928934
0,916290732	-1,107930508
1,252762968	-0,696804849
1,504077397	-0,171169278
1,704748092	0,667515689
1,871802177	

Nota: Elaboración propia

Con los valores que hemos obtenido, conseguimos establecer la siguiente ecuación:

$$y = 2,728180 x - 3.302074$$

Para luego, obtener los valores de  $\beta$  y b:

$$\beta = 2,728180$$

$$b = -3.302074$$

$$\theta = e^{-\left(\frac{b}{\beta}\right)} \quad \theta = 4,1505 \text{ kW-h/m}^2$$

Con estos valores, obtenemos  $\Gamma = 0,861786147$  aproximado, de acuerdo a la Tabla 9:

**Tabla 9:** Diferentes valores de Beta ( $\beta$ ) con Valores de Radiación Media

$\beta$	$\Gamma(1+1/k)=\bar{v}/c$
1	1,205623598
1,25	1,085061239
1,5	1,004686332
1,6	0,979569174
1,7	0,957406975
1,8	0,937707243
1,9	0,920081167
2	0,904217699
2,1	0,889865037
2,2	0,876817162
2,3	0,864903886
2,4	0,853983382
2,5	0,843936519
2,6	0,834662491
2,7	0,826075429
2,8	0,818101727
3	0,803749066
3,5	0,775043742
4	0,753514749
4,5	0,736769977
5	0,723374159
5,5	0,712413945

Nota: Elaborado por el autor

De este modo, al emplear un valor de  $\beta$  igual a 2,3285 y aplicar el método de interpolación lineal, se puede determinar el valor de gamma, el cual se obtiene cuando se considera que la radiación media tiene un valor de  $\Gamma$  que equivale

a 0,861786147. De esta manera, se establece la medición de la radiación promedio, que se denota como ( $\theta_{med}$ ):

$$\theta_{med} = \theta \cdot \Gamma \left( 1 + \frac{1}{\beta} \right)$$

$$\theta_{med} = 5.112965145 \text{ kWh/m}^2$$

$$\theta_{med} = 5,11 \text{ kWh/m}^2$$

### 4.3. Cálculo y selección de los componentes del sistema de energía termoeléctrica solar

#### A. Energía Fotovoltaica

##### a. Potencia mínima de instalación

La capacidad mínima necesaria para llevar a cabo la instalación del sistema fotovoltaico será definida y restringida por los siguientes criterios:

$$P_{mín} = E_{h,total} HSP * R$$

Donde:

- $E_{h,total}$  : Demanda energética diaria total (1332,5 W-h/día)
- HSP : Horas solar pico del mes crítico
- R : Coeficiente global de pérdidas

De acuerdo con la información que ha sido proporcionada por Censolar, el cual es ampliamente conocido como el Centro de Estudios de Energía Solar, es de suma importancia resaltar que durante el desarrollo de su curso especializado, que está enfocado en las Instalaciones de Energía Solar, resulta fundamental tomar en cuenta el factor conocido como el global de pérdidas, ya que este elemento tiene un impacto significativo en el rendimiento y eficiencia del sistema fotovoltaico en cuestión. Este factor global de pérdidas se representa de la siguiente manera:

$$R = (1 - k_b - k_c - k_r - k_v) * (1 - k_a * N / P_d)$$

Donde:

- kb : El coeficiente que se utiliza para medir las pérdidas en el rendimiento de un acumulador, específicamente en el caso de acumuladores que son nuevos y que no han experimentado descargas intensas, se establece en un valor de 0,050.
- ka : El porcentaje de energía que se disipa debido al proceso de autodescarga, específicamente en el contexto de las baterías estacionarias utilizadas para el almacenamiento de energía solar, se establece en un valor de 0,005.
- kc : El coeficiente que refleja las pérdidas asociadas al rendimiento del inversor indica que, en situaciones donde el rendimiento supere el 90%, se asigna un valor específico de 0,050.
- kr : El coeficiente que se utiliza para medir las pérdidas en el controlador de carga, en situaciones donde dicho controlador de carga presenta una buena eficiencia, típicamente se establece en un valor de 0,100.
- kv : Las pérdidas que no han sido tenidas en cuenta en análisis anteriores, siempre y cuando no se lleve a cabo una investigación exhaustiva y minuciosa sobre las pérdidas que pueden ocurrir en el cableado o en los equipos, poseen un valor de 0,050.
- N : El total de días de autonomía que estamos considerando para este análisis es de uno..
- Pd : La profundidad máxima de descarga que se permite, tomando en cuenta que se ha establecido una descarga máxima del setenta por ciento, es equivalente a un valor de 0.700.

$$R = (1 - 0,050 - 0,050 - 0,100 - 0,050) * (1 - 0,005 * 1/ 0,700) = 0,7446$$

La cantidad de horas de sol pico se refiere al total de horas durante las cuales se espera recibir una irradiación de 1000 W/m<sup>2</sup>, en términos teóricos. En el contexto específico de nuestro estudio, de acuerdo con los resultados presentados en el punto 4.2, se ha determinado que la irradiación solar corregida es particularmente alta en agosto, alcanzando 5,11 kWh/m<sup>2</sup> por día. Por ende, se tiene:

$$HSP = [5,11 \text{ kWh } / \text{m}^2 * \text{ día} * 1000 \text{ Wh} / 1 \text{ kWh}] / 1000 \text{ W} / \text{m}^2 = 5,11 \text{ h día}$$

$$P_{\text{mín}} = [1,332 \text{ kWh día} * 0,9] / [5,11 \text{ h día} * 0,7446] = 0,315 \text{ kW} = 315 \text{ W}$$

Este valor se compara con la potencia máxima que ha sido registrada, la cual alcanzó un nivel de demanda de 534,00 W. Al hacer esta comparación, observamos que hay una diferencia de 219,00 W entre ambos valores. Por esta razón, se optará por utilizar el valor más alto en este contexto, que en este caso específico es el de 534,00 W.

$$P'_{\text{mín}} = 534,00 \text{ kW}$$

#### **b. Número de paneles solares**

Con el fin de realizar de manera adecuada el cálculo que se requiere respecto a la cantidad de paneles solares que serán necesarios para la correcta ejecución de nuestro proyecto, es fundamental que primero definamos claramente la tensión eléctrica que emplearemos en nuestro sistema fotovoltaico.

En este caso específico, hemos decidido que la tensión utilizada será de 48 voltios. Se elige un panel solar monocristalino con una potencia de 300 Wp debido a que

este tipo de panel es conocido por su mayor eficiencia en comparación con un panel policristalino. Además, es importante destacar que la cantidad de paneles que se utilicen debe ser adaptable para poder hacer arreglos tanto en serie como en paralelo. Esto nos proporcionará la capacidad de regular y gestionar tanto la tensión como la corriente de salida del sistema fotovoltaico de manera efectiva. A continuación, se presenta la ficha técnica detallada del panel:

**Tabla 10:** Datos eléctricos de módulo solar monocristalino de 300 Wp

Parámetro	Valor
Modelo	G-XH-604
Potencia máxima (Pmax)	300W
Voltaje de operación (Vmp)	36V
Corriente máxima (Imp)	8.3A
Voltaje circuito abierto	41V
Corriente cortocircuito	8.7A
Dimensiones	172 x 113 x 3 cm
Tipo de celda	Monocristalino
Temperatura funcionamiento	-40°C a 85°C
Vida útil	25 años
Peso	20 kg (aprox.)
Protección	IP67 (conector MC4)

Nota: [https://pormayor.pe/shop/pv4mar-g-xh-604-panel-solar-monocristalino-de-300-w-3620?srsltid=AfmBOooY-gQorifJ6Abfb8pNkNBd\\_xTd2gVRFH5BgbbsFS\\_8liFXidNQs](https://pormayor.pe/shop/pv4mar-g-xh-604-panel-solar-monocristalino-de-300-w-3620?srsltid=AfmBOooY-gQorifJ6Abfb8pNkNBd_xTd2gVRFH5BgbbsFS_8liFXidNQs)

Por esta razón, se puede afirmar que la cantidad de carga en amperios-hora (Ah) que es generada por un panel solar en el transcurso de un día específico es la siguiente, de acuerdo a lo que menciona Censolar en su publicación del año 1991:

$$Q_p = I_{mp} * HSP$$

$$Q_p = 8,3 A * 5,11 h = 42,43 Ah$$

La cantidad total de energía que se requiere consumir a lo largo de un día es:

$$Q_n = P_{min} * HSP / V_{sis}$$

$$Q_n = 534 * 5,11 / 12 = 227,395 \text{ Ah/día}$$

La cantidad total de paneles que será necesaria para satisfacer las demandas específicas se determinará mediante la operación de división entre los dos requerimientos establecidos, de acuerdo con la fórmula que se presenta en la referencia citada (Censolar, 1991):

$$N_p = Q_n / (Q_p * R)$$

Donde:

- R : Coeficiente global de pérdidas

$$N_p = 227,395 \text{ Ah} / (42,43 \text{ Ah} * 0,7446) = 7.197 \text{ paneles}$$

Este primer cálculo que hemos realizado nos evidencia de manera clara y contundente la imperante necesidad de disponer de un total de 8 paneles fotovoltaicos que poseen una capacidad de 300 Wp cada uno, y que son de tipo monocristalino.

### **c. Selección del regulador de carga**

Se dispone de un total de ocho paneles fotovoltaicos, los cuales se pueden organizar en diferentes configuraciones o arreglos para determinar de manera óptima la tensión y la corriente que el regulador o controlador de carga será capaz de manejar. Es importante mencionar que colocar todos los paneles en paralelo podría resultar menos conveniente, ya que esto requeriría elegir un controlador de carga que sea capaz de soportar una corriente total bastante elevada y, a su vez, una tensión que sería considerablemente más baja. Por lo tanto, se han considerado cuatro configuraciones potenciales para el arreglo de los paneles: la primera opción consiste en disponer dos paneles en serie y los restantes cuatro en

paralelo; la segunda opción, en cambiar la disposición a cuatro paneles en serie y dos en paralelo; la tercera opción implicaría conectar todos los ocho paneles en serie; y, por último, la opción final consiste en colocar todos los ocho paneles en paralelo. Para llevar a cabo el proceso de determinación de la corriente que sale de los paneles solares, así como la tensión que también se genera en esos paneles, es necesario tener en cuenta que se debe considerar una intensidad de corriente que sea, como mínimo, un 10 % mayor que la salida en condiciones normales de los paneles fotovoltaicos, de acuerdo con la información proporcionada por Censolar en el año 1991:

$$I_{reg} = I_{sc} * N_{pp} * 1.1$$

$$V_{reg} = V_{oc} * N_{ps}$$

Donde:

- $I_{sc}$  : Corriente de cortocircuito del panel fotovoltaico (8.7 A)
- $V_{oc}$  : Tensión del circuito abierto del panel fotovoltaico (41 V)
- $N_{ps}$  : Número de paneles dispuesto en serie
- $N_{pp}$  : Número de paneles dispuesto en paralelo

Existen cuatro alternativas viables para la disposición o configuración de elementos.

- 4 paneles en paralelo y 2 paneles en serie:

$$I_{reg} = 8,7 A * 4 * 1,1 = 38,28 A$$

$$V_{reg} = 41 V * 2 = 82 V$$

- 2 paneles en paralelo y 4 paneles en serie:

$$I_{reg} = 8,7 A * 2 * 1.1 = 19,14 A$$

$$V_{reg} = 41 V * 4 = 164 V$$

- 8 paneles en serie:

$$I_{reg} = 8,7 A * 1.1 = 9,57 A$$

$$V_{reg} = 41 V * 8 = 328 V$$

- 8 paneles en paralelo:

$$I_{reg} = 8,7 A * 8 * 1.1 = 76,56 A$$

$$V_{reg} = 41 V * 1 = 41 V$$

Para llevar a cabo la selección del controlador de carga adecuado, se considerará, en primer lugar, la tensión que proporcionan los paneles solares. En aquellos escenarios y circunstancias en los cuales las condiciones meteorológicas se encuentren caracterizadas por la presencia de lluvia o cielos nublados, el dispositivo conocido como regulador de carga tendrá la habilidad y la capacidad técnica para convertir el remanente de la tensión eléctrica que se produce en ese momento en corriente eléctrica utilizable. De este modo, se asegura que el sistema fotovoltaico mantenga un suministro constante y suficiente de energía, independientemente de las inclemencias del tiempo. Además, será fundamental evaluar el espacio que hay disponible en el techo de la edificación para asegurar una correcta instalación de los paneles y demás componentes del sistema. Se ha elegido el controlador de carga MPPT modelo SRNE SR MC4885N25, el cual cuenta con una capacidad máxima de 250 voltios, que proviene del arreglo fotovoltaico diseñado para operar a un voltaje de 48V, formando parte integral del sistema en cuestión.

**Tabla 11:** Especificaciones eléctricas de controlador MPPT SRNE SR MC4885N25

Model	SR-MC4885N15	SR-MC48100N15	SR-MC4885N25	SR-MC48100N25
System voltage	12V/24/36/48V			
Static power consumption	0,54W			
Maximum input voltage of solar energy (25°C)	150V		250V	
Voltage Range at MPP (Maximum Power Point)	Battery voltage +2- 120V		Battery voltage +2- 180V	
Charging current	85A	100A	85A	100A
Solar panel power (12V battery)	1100W	1300W	1100W	1300W
Solar panel power (24V battery)	2200W	2600W	2200W	2600W
Solar panel power (48V battery)	4400W	5200W	4400W	5200W

Nota: Recuperado de AutoSolar Perú (2023) Reguladores de carga

### c. Dimensionamiento de las baterías de almacenamiento

Se emplearán baterías de litio, dado que estas cuentan con una capacidad de descarga más profunda, que oscila entre el 80% y el 90%. También poseen un mayor número de ciclos de carga y descarga, lo que significa que su vida útil, dependiendo del fabricante específico, se extenderá más allá de una década. Adicionalmente, estas baterías son las más comúnmente utilizadas en las diversas instalaciones de sistemas fotovoltaicos. Con el fin de poder calcular y establecer el número total de baterías, se empleará la siguiente fórmula o expresión:

$$N_b = E_{h,total} * N * Q_{bat} * V_{bat} * P_d$$

Donde:

- $N_b$  : Número total de baterías
- $E_{h,total}$  : Consumo de energía eléctrica hipotética diaria total [kWh]
- $N$  : Número de días de autonomía (1)
- $P_d$  : Profundidad de descarga recomendada (80 %)
- $V_{bat}$  : Tensión de las baterías (48 V)
- $Q_{bat}$  : Capacidad de la batería escogida [Ah]

Para llevar a cabo este proyecto de diseño, se optará por utilizar una batería de litio que cuenta con una capacidad de 3.5 kWh, operando a un voltaje de 48 V y con una capacidad de 74 Ah. Esta elección se basa en que se trata de una de las opciones más utilizadas y comunes que se pueden encontrar actualmente en el mercado local.

**Tabla 12:** Especificaciones técnicas de batería de litio Pylontech US3000C de 3.5 kWh



Basic Parameters	US2000C	US3000C	Phantom-S
Nominal Voltage (V)	48	48	48
Nominal Capacity (Wh)	2400	3552	2400
Usable Capacity (Wh)	2280	3374.4	2200
Dimension (mm)	442*410*89	442*420*132	440*440*88.5
Weight (Kg)	24	32	24
Discharge Voltage (V)	44.5 ~ 53.5	44.5 ~ 53.5	44.5 ~ 53.5
Charge Voltage (V)	52.5 ~ 53.5	52.5 ~ 53.5	52.5 ~ 53.5

Nota: Recuperado de AutoSolar Perú (2023) Baterías de almacenamiento

Por lo tanto, la cantidad total de baterías que se encontrarán configuradas en paralelo es la siguiente:

$$N_b = [1,332 \text{ kWh} * 1] / [(74 \text{ Ah} * 48 \text{ V})/1000 * 80 \%] = 0,5 \cong 1$$

Se necesitarán 1 batería en total.

#### d. Selección del inversor DC/AC

En el proceso de elección del inversor adecuado, es importante considerar que, según los datos obtenidos en los experimentos, la potencia máxima calculada alcanza un valor de 0,534 W. Por esta razón, se implementará un factor de seguridad del 25 %, con el objetivo de garantizar que se cuente con un margen suficiente para manejar eventuales picos de potencia que puedan ocurrir durante el arranque de equipos que demandan una carga superior.

$$P_{inv} > P_{mín} * F. S.$$

$$P_{inv} > 0,534 W * 1,25 = 0,668 W$$

Se elige el inversor y cargador denominado Inti Power, que tiene una capacidad de 1000 W y es capaz de llevar a cabo una conversión de corriente continua de 48 VDC a corriente alterna de 230 VA. En la siguiente sección, se detallarán las características técnicas del inversor que ha sido elegido para este proyecto:

**Tabla 13:** Características del Inversor

**Características principales**

Marca	INTI POWER
Modelo	IP-1000P
Voltaje mínimo de entrada - Voltaje máximo de entrada	48V - 52V
Voltaje mínimo de salida - Voltaje máximo de salida	220V - 230V

**Peso y dimensiones**

Altura	7 cm
Ancho	15 cm
Largo	31 cm
Peso	5 kg

Nota: IntiPower

El inversor que ha sido elegido para este proyecto no solo cumple la función de convertir la energía solar en electricidad, sino que también actúa como un cargador. Esta característica es fundamental, ya que garantiza que las baterías se puedan recargar utilizando energía eléctrica que proviene de la red pública. Esto resulta particularmente útil en situaciones en las que, debido a condiciones climáticas desfavorables, los paneles fotovoltaicos no pueden generar suficiente energía para satisfacer las necesidades de las baterías. Además, esta opción está diseñada para ser utilizada en aquellos momentos en que existe un aumento considerable en la

demanda de energía por parte de los dispositivos conectados a las cargas.

#### **e. Dimensionamiento de los conductores eléctricos**

De acuerdo con lo que se menciona en el estudio realizado por Energías Renovables (Ortega, 1999), para poder establecer de manera correcta y efectiva la sección idónea del cableado que se debe utilizar en cada uno de los tramos de un sistema fotovoltaico, es fundamental restringir las pérdidas o las caídas de tensión máximas ( $\Delta U$ ) que pueden presentarse, ya que estas no deberían exceder ciertos valores críticos. Esto se encuentra respaldado por la ecuación que se presenta a continuación:

$$\Delta U = 2 * I_{cable} * \rho_{cu} * L_{cable} / [S_{cable} * U_{entrada}]$$

Donde:

- $\Delta U$  : Caída de tensión (%)
- $I_{cable}$  : Corriente que pasa por el cable eléctrico [A]
- $\rho_{cu}$  : Resistividad del cobre 0,0172 [ $\Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$ ]
- $L_{cable}$  : Longitud del cable eléctrico [m]
- $S_{cable}$  : Área o sección del cable escogido [ $\text{mm}^2$ ]

En relación con las áreas específicas que han sido asignadas para cada uno de los diferentes componentes situados en la azotea del edificio, es sumamente importante considerar y cumplir con las regulaciones que han sido previamente establecidas por el Reglamento Técnico correspondiente a la Dirección Regional de Electricidad, que forma parte del Ministerio de Energía y Minas del país peruano. Este conjunto de normativas resulta ser de particular importancia para todos aquellos hogares que están considerando la posibilidad de instalar sistemas

fotovoltaicos con el objetivo de generar su propia energía renovable. Las especificaciones que están claramente descritas en el reglamento mencionado establecen límites exactos y concretos sobre las caídas de tensión máximas que se permiten en un Sistema Fotovoltaico (SFV) a lo largo de sus diversos segmentos o tramos. Los valores de estos límites son los siguientes:

- Se establece un límite de caída de tensión máxima que no debe exceder el 3 % en la línea que proviene del generador o del panel fotovoltaico.
- El nivel máximo permitido de caída de tensión en la línea que conecta las baterías no debe exceder el 1 por ciento.
- La disminución máxima permitida en la tensión a lo largo de la línea que conecta con la carga no debe superar el 5 por ciento.

Conforme a la fórmula que se utiliza para calcular la caída de tensión, se procederá a establecer el tamaño mínimo del cable que es necesario emplear con el fin de asegurar que se pueda soportar la corriente máxima sin exceder el límite permitido de caída de tensión en cada uno de los tramos del circuito. Los valores correspondientes a esta información están presentados de manera clara y organizada en la Tabla 14.

**Tabla 14:** Dimensión de cableado en mm<sup>2</sup>

AWG / MCM	SECCIÓN MÉTRICA CORRESPONDIENTE	SECCIÓN
	mm <sup>2</sup>	mm <sup>2</sup>
20 AWG	0,518	0,75
18 AWG	0,823	1
16 AWG	1,31	1,5
14 AWG	2,08	2,5
12 AWG	3,31	4
10 AWG	5,26	6
8 AWG	8,37	10
6 AWG	13,3	16
4 AWG	21,2	25
3 AWG	26,7	25*

Nota: Recuperado de National Electrical Code (2023) Sección de cableado

De igual manera, la Tabla 15 presenta de forma detallada la cantidad de carga eléctrica que puede manejar sin dificultad una sección específica de cable AWG. De este modo, es posible verificar y confirmar la corriente máxima que el cable seleccionado es capaz de soportar adecuadamente sin comprometer su funcionamiento.

**Tabla 15:** Intensidad de corriente (A) según la sección de cableado AWG

Sección del conductor AWG o kcmil (MCM)	Capacidad de carga en A para una temperatura continua admisible en el conductor		
	60 °C (140 °F)	75 °C (167 °F)	90 °C (194 °F)
18	-	-	14*
16	-	-	18*
14	15*	20*	25*
12	20*	25*	30*
10	30*	35*	40*
8	40	50	55
6	55	65	75
4	70	85	95
3	85	100	115
2	95	115	130
1	110	130	145

Nota: Recuperado de National Electrical Code (2023) Sección de cableado

### **Tramo 1: Paneles fotovoltaicos – regulador de carga**

$$3 \% = [2 * (2 * 8,3 A) * 0,0172 \Omega. mm^2 /m * 6 m] / [S_{cable} * 48 V]$$

$$S_{cable} = 2,38 mm^2$$

Se elige la sección del cable de mayor dimensión que sea de manera consecutiva, que en este caso es de 4 mm<sup>2</sup> o 12 AWG. Además, se lleva a cabo una verificación para confirmar que esta sección de cable es capaz de soportar una corriente de hasta 25 amperios cuando se trabaja a una temperatura de 30 grados Celsius. Por lo tanto, se toma la decisión de seleccionar el siguiente calibre, que es 4 mm<sup>2</sup>.

### **Tramo 2: Regulador de carga – banco de baterías**

$$1 \% = [2 * 50 A * 0,0172 \Omega. mm^2 /m * 2 m] / [S_{cable} * 48 V]$$

$$S_{cable} = 7,14 mm^2$$

Se elige la sección de cable que sea de mayor tamaño y que sea continua, optando por una medida de 10 mm<sup>2</sup> o su equivalente en 8 AWG. Es importante también confirmar que dicha sección de cable no tiene la capacidad para manejar una corriente superior a 50 amperios cuando se encuentra operando a una temperatura de 75 grados Celsius. Por lo tanto, se decide seleccionar un cable de calibre 8 AWG o 10 mm<sup>2</sup>, ya que este tipo de cable tiene la capacidad de soportar una corriente de hasta 55 amperios.

### **Tramo 3: Regulador de carga – Inversor cargador**

$$1 \% = [2 * 50 A * 0,0172 \Omega. mm^2 /m * 1.5 m] / [S_{cable} * 48 V]$$

$$S_{cable} = 10,75 mm^2$$

Se selecciona la sección del cable que es mayor y consecutiva, la cual puede ser de 10 mm<sup>2</sup> o 8 AWG. Además, se confirma que esta sección de cable es incapaz de manejar una corriente superior a 50 amperios cuando se encuentra a una temperatura de trabajo de 75 grados Celsius. Por lo tanto, se opta por una sección de cable de calibre 8 AWG o 10 mm<sup>2</sup>, la cual tiene la capacidad de soportar hasta un total de 55 amperios de corriente sin sobrecalentarse.

#### **Tramo 4: Inversor cargador – Tablero general**

Para el análisis de esta sección en particular, es fundamental considerar que la corriente eléctrica en este caso es de tipo alterna. Por lo tanto, se procederá a emplear la siguiente fórmula o expresión:

$$\Delta U = [ 2 * I_{cable} * \rho_{cu} * L_{cable} * \cos\varphi ] / [ S_{cable} * U_{entrada} ]$$

Donde:

- $\Delta U$  : Caída de tensión (%)
- $I_{cable}$  : Corriente que pasa por el cable eléctrico [A]
- $\rho_{cu}$  : Resistividad del cobre 0,0172 [ $\Omega \cdot mm^2/m$ ]
- $L_{cable}$  : Longitud del cable eléctrico [m]
- $\cos \varphi$  : Factor de potencia (0,9)
- $S_{cable}$  : Área o sección del cable escogido [ $mm^2$ ]

$$5 \% = [ 2 * 1000 W 230 V * 0,0172 \Omega \cdot mm^2/m * 25 m * 0,9 ] / [ S_{cable} * 230 V ]$$

$$S_{cable} = 0,29 m^2$$

Se elige la sección de cable más grande que sea continua, específicamente de 2.5 mm<sup>2</sup> o 14 AWG. Además, se lleva a cabo una comprobación para asegurarse de que este tipo de cable tiene un límite de corriente que no excede los 20 amperios

cuando se encuentra operando a una temperatura de 75 grados Celsius.

#### **f. Cálculo de elementos de protección**

Para realizar de manera adecuada y efectiva la instalación de un sistema fotovoltaico, resulta de suma importancia tener en cuenta la incorporación de varios elementos o dispositivos electrónicos que desempeñen un papel clave en la protección del sistema. De esta forma, se podrá prevenir la ocurrencia de cortocircuitos o cualquier tipo de fallas que puedan afectar negativamente a los equipos principales del sistema.

#### **Fusibles**

Para poder determinar las especificaciones necesarias y adecuadas del fusible que se requiere, utilizamos la tensión que debe tener dicho fusible.

$$U_{fus} = V_{oc} * N_{ps}$$

$$U_{fus} = 41 V * 4 = 164,0 V$$

Corriente del fusible necesaria:

$$I_{fus} = I_{sc} * N_{pp} * 1.25$$

$$I_{fus} = 13.93 A * 2 * 1.25 = 34.83 A$$

Se elige un fusible que tiene una capacidad de 63 amperios y unas dimensiones de 22 por 58 milímetros. De manera similar, se lleva a cabo la selección del portafusibles de corriente continua (DC) que tiene unas dimensiones específicas de 22 milímetros de ancho por 58 milímetros de largo, el cual ha sido elegido específicamente para complementar el fusible cilíndrico que ha sido previamente seleccionado para esta aplicación. Este dispositivo, conocido como portafusibles, cuenta con características notables que le permiten ser ignífugo y autoextinguible, lo que significa que tiene la capacidad de resistir el fuego y, en caso de un incendio,

se extinguirá por sí mismo sin necesidad de intervención externa.

### Protección magneto - térmica

Las especificaciones técnicas y las capacidades operativas de la protección magneto-térmica que se decida implementar en este sistema deben ser semejantes a las del fusible cilíndrico que se ha escogido previamente. Esto se debe a que ambas soluciones de protección estarán diseñadas para funcionar en conjunto, asegurando de manera eficaz la protección adecuada del conjunto de paneles fotovoltaicos.

$$U_{mag} = 45,55 V * 4 = 182.2 V$$

$$I_{mag} = 13.93 A * 2 * 1.25 = 34.83 A$$

Por lo tanto, se ha optado por elegir un interruptor magnetotérmico de la marca Legrand, que cuenta con dos polos y tiene una capacidad de 63 amperios.

### Protección de sobretensión

Con el fin de prevenir la ocurrencia de sobretensiones en el sistema de alimentación del centro de servicio (SFV), se implementará un dispositivo de protección conocido como un protector de circuitos de sobretensión (CPT), el cual corresponde a la norma DIN 2C y tiene una clasificación de 150 voltios.

**Tabla 16:** Especificaciones técnicas de un Sobretensiones CPT de 150 V

Modelo / Model / Código / Code	DIN 150V-2C 77 840 925	DIN 48V-2C 77 840 920	DIN 24V-2C 77 840 915	DIN 12V-2C 77 840 910	DIN 6V-2C 77 840 905	DIN 485-2C 77 840 805
Número de hilos protegidos / Numbers of protected wires	1					
Tensión nominal / Nominal voltage <i>Un</i>	150 V	48 V	24 V	12 V	6 V	12 V
Tensión máxima de servicio / Maximum service voltage <i>Uc</i>	180 V	56 V	27 V	16 V	7 V	16 V
Corriente nominal / Nominal current <i>In</i>	100mA					
Corriente máx. de descarga / Maximum current discharge <i>I<sub>max</sub> (8/20)</i>	10kA					
Corriente nominal de descarga / Nominal current discharge <i>I<sub>n</sub> (8/20)</i>	5kA					

Nota: Recuperado de CPT (2023) Protector contra sobretensiones

### g. Seccionador de baterías

El dispositivo conocido como seccionador tiene la función de cortar el flujo de energía que llega al banco de baterías. Este procedimiento se lleva a cabo con el fin de llevar a cabo tareas de mantenimiento que han sido planificadas con anticipación, sustituir las baterías antiguas por unas nuevas, o también para proceder con desconexiones que no estaban previstas. Como resultado de las consideraciones realizadas, se opta por la elección de un interruptor seccionador que cuente con dos posiciones, el cual está diseñado para operar a un voltaje de 48 VDC y una corriente máxima de 600 A.

**Tabla 17:** Características técnicas del elemento seccionador de 48 VDC y 600 A

Modelo	700.12.01.C321121	700.12.01.C281121	700.12.01.B281121	700.12.01.C301121
Posiciones	2 (ON-OFF)	4 (ON-OFF-ON-OFF)	4 (ON-OFF-ON-OFF)	4 (OFF-BAT1-AMBAS-BAT2)
Tipo	Bloqueable con candado	Interruptor fijo	Con llave retirable	Interruptor fijo
DC continua	600A	300A	300A	300A

Nota: Recuperado de AutoSolar (2023) Interruptor desconectador de batería

### h. Puesta a tierra

De acuerdo con lo dispuesto en el Código Nacional de Electricidad, se establece que el cable destinado a la puesta a Tierra tiene que tener un tamaño mínimo que no debe ser inferior a 10 mm<sup>2</sup> o a 8 AWG. Basado en la información que se encuentra en la Tabla 16, este tipo de cable puede soportar descargas eléctricas de hasta 50 amperios. La corriente generada por el conjunto de paneles solares no excede el límite establecido de 41.79 amperios, lo que conduce a la decisión de seleccionar un calibre específico de varilla de cobre. Esto se debe a que se trata de un sistema de baja tensión, cuyo voltaje nominal es de 48 voltios.

## **i. Inclinación y orientación de los paneles fotovoltaicos**

De acuerdo con lo estipulado en el Reglamento Nacional de Edificaciones, uno de los aspectos fundamentales que se deben tener en cuenta al momento de llevar a cabo la instalación de sistemas de energía solar es la inclinación de los paneles solares. Esta inclinación debe ser cuidadosamente diseñada para asegurar que los rayos del sol impacten en la superficie de los paneles de manera casi perpendicular. Para determinar el ángulo adecuado de inclinación, se realiza un cálculo que toma en consideración la latitud específica del área donde se procederá con la instalación, añadiendo a este valor un margen adicional de 10 grados. En lo que sigue, se van a detallar las coordenadas geográficas que corresponden a la ubicación de la localidad en cuestión:

- Este : 686994.00
- Longitud : 9310949.00
- Altitud : 3078 m.s.n.m.
- Zona horaria : - 5

Como resultado de los cálculos realizados, se ha determinado que la inclinación óptima de los paneles solares debería ser de 13.15 grados, a los que se suman 10 grados adicionales, lo que nos da un total de 23.15 grados. Sin embargo, por motivos relacionados con el diseño estético y funcional, se ha decidido que la inclinación final se establecerá en 23 grados.

La disposición de los paneles solares debe ser orientada hacia el norte, pero con una inclinación que apunte en dirección al Ecuador. Esto se hace con el propósito de maximizar la recolección de la mayor cantidad de energía solar posible, aprovechando al máximo la luz del sol durante el día.

#### **j. Estructura de soporte**

Con el propósito de llevar a cabo un diseño adecuado y efectivo de la estructura que será responsable de soportar de forma segura los paneles fotovoltaicos, es de vital importancia considerar de manera exhaustiva el Reglamento Nacional de Edificaciones (RNE). Este reglamento establecerá las dimensiones que deberán ser observadas, las cuales estarán determinadas por diversos factores, incluyendo el tipo de material seleccionado, los perfiles estructurales que se opten por implementar, así como la técnica de soldadura que se utilizará para unir todos los componentes de la estructura. Además, este proceso de diseño se complementará con el cumplimiento de las normas técnicas específicas NTE 0.20 y NTE 0.30, las cuales también regulan aspectos relevantes en el contexto de la construcción y la seguridad estructural. Además, se llevará a cabo una simulación estática utilizando el software Autodesk Inventor, con el propósito de poder establecer de manera precisa la posible deflexión y los esfuerzos máximos que pueden presentarse en la estructura.

#### **k. Reducción de la huella de carbono en el SFV**

Es fundamental llevar a cabo un cálculo exhaustivo que permita determinar la reducción máxima que se puede alcanzar en la huella de carbono durante la implementación del Sistema de Fotovoltaica (SFV). Esto se debe a que esta información es crucial y juega un papel determinante en el proceso de toma de decisiones relacionadas con la planificación y ejecución futura del proyecto en cuestión. De acuerdo con la información proporcionada por el Ministerio de Energía y Minas en su artículo titulado "Factores de Emisión Nacionales Asociados con el Consumo de Electricidad del Sistema Eléctrico Interconectado Nacional," Es

evidente que las emisiones asociadas con la huella de carbono, que se expresan en términos de dióxido de carbono equivalente, lo cual es una medida que incluye diversas emisiones de gases de efecto invernadero (GEI), tales como el dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), el metano (CH<sub>4</sub>) y el óxido nitroso (N<sub>2</sub>O), las cuales se generan anualmente en el transcurso del proceso de producción de electricidad, están claramente enumeradas y analizadas en la Tabla 18.

**Tabla 18:** Emisiones CO<sub>2</sub> eq. en el período 2010 – 2018

<b>Año</b>	<b>FE (tCO<sub>2</sub>eq/MWh)</b>
2010	0.240
2011	0.230
2012	0.224
2013	0.209
2014	0.207
2015	0.203
2016	0.222
2017	0.184
2018	0.151

Nota: Recuperado de MINEM (2019)  
Factores de Emisión Nacionales Asociados  
con el Consumo de Electricidad del Sistema  
Eléctrico Interconectado Nacional

Con el propósito de calcular o establecer la disminución en la cantidad de dióxido de carbono equivalente (CO<sub>2</sub> eq.). Se tomará en consideración el valor más bajo que se muestra en el periodo reflejado en la Tabla 19, que corresponde a una cantidad de 0,151 toneladas de CO<sub>2</sub> equivalente por megavatio hora. Este valor se confirma y se respalda en una investigación que se presenta en la tesis titulada "Cálculo del factor de emisión del sistema eléctrico interconectado nacional utilizando la metodología GHG PROTOCOL", la cual abarca el periodo desde el año 2019 hasta el año 2021. De acuerdo con los resultados obtenidos en este

análisis, se determinó que en el año 2024 se registró una emisión de 0,1242 toneladas de CO<sub>2</sub> equivalente por megavatio hora (t CO<sub>2</sub> eq./MWh).

El sistema fotovoltaico que se ha sugerido tiene la capacidad de producir un total de 486,18 kilovatios hora (kWh) en el transcurso de un año. Como resultado de esta generación de energía limpia, se logra una notable disminución en la huella de carbono, que se traduce en una reducción de aproximadamente 60,485 kilogramos de dióxido de carbono equivalente (CO<sub>2</sub> eq) durante ese mismo periodo de 12 meses. Durante el periodo proyectado de funcionamiento del sistema, que se estima será de 24 años, se calcula que las emisiones totales equivalentes de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) alcanzarán un total de 1,45 toneladas.

## **B. Diseño Del Sistema Térmico Solar**

### **a. Área de captación del colector**

La superficie neta que se requerirá para recoger la cantidad adecuada de energía que se necesita para el suministro será determinada, y para ello se empleará la siguiente fórmula o expresión que se presentará a continuación. (Duffie & Beckman, 2013)

$$A_c = E_{a,c} / [H_c * \eta_s]$$

Donde:

- $A_c$  : Área de captación neta [m<sup>2</sup>]
- $E_{a,c}$  : Demanda energética de agua caliente [kJ]
- $H_c$  : Irradiación solar promedio corregida [kWh/m<sup>2</sup>/día]
- $\eta_s$  : Eficiencia del sistema

La efectividad y eficiencia del sistema estarán influenciadas por una variedad de factores, entre los cuales se incluyen los tipos de materiales que se utilizan en la

fabricación de los tubos. En el caso específico de las termas solares que utilizan tecnología de Heat Pipe comercial, esta eficiencia suele situarse en un aproximado del 80%. Por lo tanto, se tomará en cuenta este porcentaje para llevar a cabo la estimación del área que se necesita.

Después de haber determinado y calculado de manera detallada la cantidad de energía requerida para el suministro de agua caliente sanitaria (ACS), junto con los valores promedio de la irradiación solar ajustada así como el factor de corrección que se relaciona específicamente con los tubos al vacío, se procede a realizar de forma metódica el cálculo del área de captación solar que será indispensable para satisfacer las necesidades de energía solar para cada uno de los meses que componen el año. Como consecuencia de llevar a cabo este exhaustivo análisis, se tendrá la capacidad de identificar y establecer cuál es el mes que resulta ser el más crítico, considerando las necesidades particulares relacionadas con la demanda de energía térmica.

**Tabla 19:** Área de captación del colector térmico por mes

Mes	$m_{a,c}$ (kg)	$T_{H_2O}$ (°C)	$T_{a,c}$ (°C)	Porcentaje de uso	N° días (n)	$E_{a,c} * 10^3$ (kJ/mes)	$E_{a,c}$ (kJ/día)	$E_{a,c}$ (kWh/día)	Hc (kWh/m <sup>2</sup> /día)	$\eta_s$	Ac (m <sup>2</sup> )
Enero	258,61	13,4	90	75%	31	2409,94	77740,01	21,59	5,11	75%	3,2
Febrero	258,61	13,2	90	75%	28	2182,40	77942,99	21,65	5,11	75%	3,2
Marzo	258,61	13,3	90	75%	31	2413,09	77841,50	21,62	5,11	75%	3,4
Abril	258,61	12,7	90	65%	30	2039,71	67990,37	18,89	5,11	75%	2,8
Mayo	258,61	11,7	90	65%	31	2134,97	68869,93	19,13	5,11	75%	2,8
Junio	258,61	10,5	90	55%	30	1775,03	59167,66	16,44	5,11	75%	2,4
Julio	258,61	10,2	90	55%	31	1841,12	59390,93	16,50	5,11	75%	2,4
Agosto	258,61	11,5	90	55%	31	1811,13	58423,41	16,23	5,11	75%	2,4
Setiembre	258,61	12,7	90	55%	30	1725,91	57530,31	15,98	5,11	75%	2,3
Octubre	258,61	13,7	90	55%	31	1760,37	56786,07	15,77	5,11	75%	2,3
Noviembre	258,61	14,2	90	65%	30	2000,13	66671,02	18,52	5,11	75%	2,7
Diciembre	258,61	13,6	90	65%	31	2083,16	67198,76	18,67	5,11	75%	2,7

Nota: Elaboración propia

A partir de la información presentada en la tabla que hemos examinado anteriormente, podemos llegar a la conclusión de que el área necesaria para nuestros propósitos es de 3,4 metros cuadrados.

Se refiere a la superficie necesaria para satisfacer adecuadamente la demanda de agua caliente en términos de energía térmica que requiere el edificio, especialmente durante el mes más crítico del año, que es marzo. Por esta razón, se establece una definición clara de esta área:

$$Q_{a,c} = E_{a,c} / n$$

Donde:

- $Q_{a,c}$ : Demanda de calor necesaria para abastecer agua caliente [kJ/día]
- $n$ : Número de días del mes crítico

$$Q_{a,c} = 2413,09 * 10^3 \text{ kJ} / 31 \text{ días} = 77841,50 \text{ kJ/día}$$

#### **b. Número de tubos de calor (Nt)**

Para lograr determinar de manera precisa y exacta la cantidad total de tubos de calor que se necesitan, es absolutamente esencial y vital, en primer lugar, llevar a cabo un cálculo minucioso del área efectiva que cada uno de estos conductos de calor presenta. Para llevar a cabo este procedimiento, haremos uso de la expresión que se presentará a continuación:

$$A_t = D_i * (L - L_i)$$

Donde:

- $A_t$ : Área proyectada del tubo de calor [m<sup>2</sup>]
- $D_i$ : Diámetro interior del tubo de calor [m]
- $L$ : Longitud del tubo de calor [m]

- $L_i$  : Longitud de la tubería insertada en el tanque térmico [m]

Es fundamental resaltar y enfatizar que las dimensiones de los tubos de calor están sujetas a un proceso de estandarización y regulación que se lleva a cabo en el ámbito del mercado nacional:

$$D_i = 0,047 \text{ m}$$

$$L = 1,80 \text{ m}$$

$$L_i = 0,050 \text{ m}$$

Por lo tanto, la superficie útil que se puede emplear en cada uno de los tubos es la siguiente:

$$A_t = 0,047 \text{ m} * (1,80 \text{ m} - 0,050 \text{ m}) = 0,082 \text{ m}^2$$

La cantidad de tubos de calor que se requiere para un funcionamiento óptimo se establece en función de varios factores, que son los siguientes:

$$N_t = A_c * F_s / A_t$$

Donde:

- $A_c$  : Área de captación neta [m<sup>2</sup>]
- $F_s$  : Factor de seguridad de dimensionamiento (10%)
- $A_t$  : Área proyectada del tubo heat pipe [m<sup>2</sup>]

$$N_t = 3,4 \text{ m}^2 * 1,1 / 0,082 \text{ m}^2 = 45,61 \cong 46 \text{ tubos}$$

Se establece que se requiere un total de 46 tubos de calor fabricados con vidrio de borosilicato.

### **c. Dimensionamiento del tanque térmico de almacenamiento**

#### **c.1. Calor entregado al sistema térmico**

Después de haber establecido con precisión el total de tuberías que se van a utilizar, el siguiente paso consistirá en calcular el calor que incide sobre el sistema térmico, o más específicamente, el calor que es proporcionado al sistema debido a la radiación solar, aplicando para ello la siguiente fórmula matemática. (Duffie & Beckman, 2013):

$$Q_e = H_c * A_t * N_t * \eta_s$$

$$Q_e = 5,11 \text{ kWh/ m}^2 \text{ día} * 0,082 \text{ m}^2 * 46 * 0,80 = 15,42 \text{ kWh/día} = 55 511,77 \text{ kJ día}$$

### c.2. Pérdida de calor por radiación en los tubos Heat Pipe

La cantidad total de calor que se introduce en el sistema y que posteriormente se entrega a él sufre pérdidas significativas, y esto se debe al proceso de radiación que tiene lugar en los materiales que conforman los tubos de calor utilizados en dicho sistema. Por consiguiente, con el propósito de poder llevar a cabo un registro adecuado y realizar las correcciones necesarias para mitigar estas pérdidas, se emplea la siguiente fórmula que se utiliza para describir el proceso de transferencia de calor. (Cengel & Afshin, 2011).

$$Q_{p,tub} = \varepsilon_{tub} * \sigma * A_{t,s} * N_t * (T_{t,hp4} - T_{a4})$$

Donde:

- $Q_{p,tub}$  : Pérdida de calor en los tubos de calor [kJ]
- $A_{t,s}$  : Área de los tubos superficial [m<sup>2</sup>]
- $\sigma$  : Constante de Stefan – Boltzmann  $5,67 * 10^{-8}$  [W/m<sup>2</sup>K<sup>4</sup>]
- $T_{s,hp}$  : Temperatura de la superficie del tubo de calor (15,7 °C = 288,7 K)
- $T_a$  : Temperatura del medio ambiente (8 °C = 281 K)
- $\varepsilon_{tub}$  : Emisividad de los tubos de calor (0,88)

Hemos llevado a cabo una acción para calcular y determinar el área que corresponde a la superficie que emite radiación:

$$A_{t,s} = \pi * D_i * (L - L_i)$$

$$A_{t,s} = \pi * 0,047 \text{ m} * (1,80 \text{ m} - 0,050 \text{ m}) = 0,2584 \text{ m}^2$$

Tomando en cuenta el hecho de que la temperatura externa del tubo heat pipe varía aproximadamente entre 4 °C y 5 °C, se establece que esta se aproxima a 4 °C por encima de la temperatura ambiental. Por lo tanto, se puede concluir que la pérdida de energía o calor en los tubos de calor es la siguiente:

$$Q_{p,tub} = 0,88 * 5,67 * 10^{-8} \text{ W/m}^2\text{K}^4 * 0,2584 \text{ m}^2 * 46 * ((288,7 \text{ K})^4 - (281 \text{ K})^4)$$

$$Q_{p,tub} = 0,422 \text{ kW}$$

### **c.3. Volumen del tanque térmico**

Considerando que la cantidad de agua caliente requerida diariamente es de 258,61 kilogramos, se determina una masa de abastecimiento que incluye un margen adicional del 20% para asegurar que haya suficiente agua disponible. Como resultado de este cálculo, se llega a un volumen total necesario para el almacenamiento de 0,3108 metros cúbicos.

El tipo de material que se empleará en la fabricación de la plancha de conformación que será utilizada en el tanque destinado al almacenamiento de líquidos será acero inoxidable de la especificación ASTM A240, específicamente de calidad 500 L. Este particular tipo de acero es elegido debido a sus excelentes propiedades que permiten la soldadura, así como su alta resistencia a la corrosión, lo que lo hace ideal para soportar tanto el contacto con agua a temperatura ambiente como con agua caliente. Además, es importante destacar que este material puede ser

trabajado con baja presión, ya que el sistema diseñado incluirá un tanque de almacenamiento superior. En este sistema, la presión del agua en el tanque será significativamente menor en comparación con la presión existente en la red de suministro.

#### **c.4. Longitud y diámetro interno del tanque de almacenamiento**

Al contar con un total de 46 tubos de calor en el sistema en cuestión, se optará por la inclusión de 2 termas solares, cada una de ellas equipada con 23 tubos de calor. De acuerdo con el diseño establecido, la separación entre los tubos de vacío se ha determinado en 30 mm, mientras que el diámetro exterior de dichos tubos es de 58 mm. Con esta información, se puede determinar que la longitud del tanque térmico es la siguiente:

$$L_t: 23 * 58 \text{ mm} + 18 * 30 \text{ mm} = 1,87 \text{ m}$$

Se considerará  $L_t = 1.9 \text{ m}$  por diseño de una tema solar.

$$V_t = \pi * D_{i,t}^2 * L_t / 4$$

Donde:

- $V_t$  : Volumen del tanque térmico de almacenamiento [ $\text{m}^3$ ]
- $D_{i,t}$ : Diámetro interior del tanque térmico [m]

$$0,1554 \text{ m}^3 = \pi * D_{i,t}^2 * 1,9 \text{ m} / 4$$

$$D_{i,t} = 0.322 \text{ m}$$

Se tomará en cuenta que el diámetro interior será de 0,35 metros.

#### **d. Estructura de soporte**

La infraestructura que actuará como soporte fundamental para el sistema de calentamiento de agua mediante energía solar, comúnmente conocido como tema

solar, será llevada a cabo con un estricto apego a las directrices y requisitos establecidos en el Reglamento Nacional de Edificaciones (RNE), asegurando así la calidad y la seguridad de la construcción. Las dimensiones precisas de esta construcción o estructura específica serán establecidas y definidas por una variedad de factores influenciadores, entre los cuales se encuentran el tipo de material que se utilizará en la edificación, los perfiles estructurales que se elegirán para soportar la carga, así como el método de soldadura que se implementará para unir de manera efectiva los distintos componentes de la estructura. Además, esta construcción se complementará con las normativas técnicas específicas NTE 0.20 y NTE 0.30, que proporcionan directrices adicionales para garantizar la calidad y seguridad de la instalación.

#### **e. Inclinación y orientación del sistema térmico solar**

Conforme a lo que se establece en el Reglamento Nacional de Edificaciones, uno de los aspectos más cruciales que resulta necesario considerar al proceder con la instalación de sistemas destinados a la captación de energía solar es la inclinación de los diversos componentes implicados. En este caso particular, esta inclinación se refiere específicamente a los tubos al vacío que son utilizados en dichos sistemas. Esta inclinación debe ser diseñada cuidadosamente para asegurar que los rayos solares incidan sobre la superficie con un ángulo que se aproxime lo más posible a la perpendicularidad en relación a la zona de incidencia. Para determinar este ángulo adecuado, se realiza un cálculo que incluye el valor de la latitud del área específica donde se llevará a cabo la instalación, sumando además un adicional de 10 grados para optimizar la captación de energía solar. En los párrafos que siguen a continuación, se proporcionarán las coordenadas geográficas

correspondientes a la ubicación o localidad específica que estamos analizando:

- Este : 686994.00
- Longitud : 9310949.00
- Altitud : 3078 m.s.n.m.
- Zona horaria : - 5

Por lo tanto, es importante tener en cuenta que la inclinación de los tubos diseñados para funcionar en un ambiente de vacío debe ser establecida en un ángulo de 13,15 grados, añadiendo a esto un margen adicional de 10 grados. En consecuencia, el ángulo total de inclinación requerido es de 23,15 grados en total. Sin embargo, debido a diferentes factores que están vinculados con el diseño de la instalación, se ha tomado la decisión de que la inclinación final se fijará en un ángulo preciso de 23 grados.

### **Reducción de huella de carbono en el sistema termo solar**

Es fundamental tener en cuenta la disminución de la huella de carbono asociada al sistema de energía solar térmica, ya que este aspecto se convierte en un valor añadido significativo y relevante cuando se está evaluando la posibilidad de llevar a cabo la implementación de dicho sistema. Se aplicarán los valores de las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) de manera comparable a lo que se hizo en el contexto del sistema fotovoltaico, según lo establecido por el Ministerio de Energía y Minas (MINEM) en la Tabla 5.6. Este valor se confirma y se respalda en la tesis titulada "Cálculo del factor de emisión del sistema eléctrico interconectado nacional", la cual utiliza la metodología conocida como GHG PROTOCOL y abarca el periodo de tiempo comprendido entre los años 2019 y

2021. En particular, los resultados obtenidos durante estos años fueron los siguientes: en el año 2019, se registró una emisión de 0,175 toneladas de CO<sub>2</sub> equivalente por megavatio-hora (t de CO<sub>2</sub> eq./MWh); en 2020, esta cifra disminuyó a 0,158 t de CO<sub>2</sub> eq./MWh; mientras que, en el año 2021, el valor se reportó en 0,174 t de CO<sub>2</sub> eq./MWh. Además, para el año 2024, se anticipa una cifra aún más baja de 0,1242 t de CO<sub>2</sub> eq./MWh. Se tomará en cuenta el valor más bajo registrado durante el periodo que se ha presentado, el cual corresponde a un total de 0,1242 toneladas de dióxido de carbono equivalente (t CO<sub>2</sub> eq.) / MWh.

El sistema termosolar tiene la capacidad de producir una impresionante cantidad de energía térmica, alcanzando un total de 80,660.23 kilovatios hora (kWh) en un periodo de un año. Esto implica que, gracias a esta generación de energía limpia y renovable, se logra una notable disminución en la huella de carbono, que se estima en aproximadamente 10,02 toneladas de dióxido de carbono equivalente (t CO<sub>2</sub> eq) a lo largo de ese mismo año. Durante un período estimado de 20 años, que corresponde a la vida útil proyectada del sistema, se anticipa que se generará un total de 200,4 toneladas de dióxido de carbono equivalente (CO<sub>2</sub> eq).

#### **4.4. Evaluación económica del sistema de energía termoeléctrica solar**

##### **A. Sistema fotovoltaico**

###### **a. Cálculo de costos del sistema fotovoltaico**

**Tabla 20:** Costo neto de los componentes principales del SFV.

ITEM	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO PARCIAL (S/.)	PRECIO TOTAL (S/.)
<b>1.0</b>	<b>SUMINISTRO</b>				<b>9212.90</b>
	<b>Componentes principales</b>				<b>4875.00</b>
1.1	Panel fotovoltaico 300 Wp	Und.	8	300.00	2400.00
1.2	Regulador de carga SR MC4885N25 1000 W	Und.	1	875.00	875.00
1.3	Batería de litio 3.5 kWh / 48 V	Und.	1	800.00	800.00
1.4	Inversor cargador 1000 W	Und.	1	800.00	800.00
	<b>Estructura del sistema</b>				<b>864.00</b>
1.5	Perfil tubular cuadrado 40 x 40 x 2 mm	m	4	70.00	280.00
1.6	Perfil tubular cuadrado 25 x 25 x 2.5 mm	m	2	50.00	100.00
1.7	Plancha de base 200 x 200 x 1.5 mm	m2	0.24	100.00	24.00
1.8	Pernos de anclaje 5/8" x 4"	Und.	24	2.50	60.00
1.9	Estructura de fijación de paneles	Und.	1	400.00	400.00
	<b>Conductores y Elementos de Protección</b>				<b>1304.95</b>
1.10	Conductor	m	15	2.23	33.45
1.11	Conductor	m	4	15.50	62.00
1.12	Conductor	m	50	2.05	102.50
1.13	Portafusibles 63 A	Und.	2	50.00	100.00
1.14	Fusible 63 A 22x58	Und.	2	6.00	12.00
1.15	Interruptror. Termomagnético 63 A	Und.	1	80.00	80.00
1.16	Seccionador de baterías 100 A	Und.	1	100.00	100.00
1.17	Protector de sobretensiones 63 A	Und.	1	150.00	150.00
1.18	Caja de protección ICP	Und.	1	25.00	25.00
1.19	Repartidor de conexiones en paralelo 100 A	Und.	1	110.00	110.00
1.20	Cable puesta a tierra	Und.	1	130.00	130.00
1.21	Varilla de cobre 5/8"	Und.	1	400.00	400.00
<b>2.0</b>	<b>MONTAJES</b>				<b>3000.00</b>
2.1	Técnicos	Glb.	1	3000.00	3000.00
<b>3.0</b>	<b>TRANSPORTES</b>				<b>500.00</b>
3.1	Transporte	Glb.	1	500.00	500.00
			<b>Total</b>		<b>16212.90</b>

Nota: Elaboración propia

La cantidad de dinero que se requiere para hacer la inversión inicial necesaria para llevar a cabo la implementación del sistema fotovoltaico es de S/. 16,212.90 se ha registrado, en la siguiente etapa de este análisis, se llevará a cabo el cálculo del flujo de caja, el cual se fundamentará en la producción de energía eléctrica que es generada por el Sistema Fotovoltaico (SFV). Esta energía producida se registra y contabiliza en una cantidad total de 486,180 kilovatios hora de forma anual. .

## b. Flujo de caja y LCoE

A continuación, se ofrece una tabla minuciosamente elaborada que proporciona información detallada sobre el flujo de caja. Esta tabla se ha creado considerando específicamente que el precio de la electricidad que se aplica en la localidad de Incahuasi, ha sido catalogado bajo la opción tarifaria BT5B, la cual está destinada para el uso residencial. Este tipo de tarifa establece un costo unitario de S/ 0,6642 por cada kilovatio-hora (kWh) consumido. No obstante, es importante señalar que este costo no incluye diversos cargos adicionales. Entre ellos se encuentran conceptos como el interés compensatorio, el gasto en alumbrado público, los costos de mantenimiento, el impuesto general a la venta, así como el aporte referente a la Ley N° correspondiente. El monto de 28749, que efectivamente se incluye como un cargo adicional en la facturación mensual de los usuarios, junto con todos los aspectos mencionados previamente, hace que el costo neto que deben abonar por el suministro de electricidad sea de S/ 26,37 cada mes. Es necesario llevar a cabo un reemplazo de las baterías de litio cada 12 años, mientras que la electrónica requerirá su cambio una vez cada 24 años a lo largo de la proyección de su vida útil. Además, se estima que los costos de mantenimiento anuales alcanzarán el 4% del total de la inversión inicial realizada. También se tendrá en cuenta que se producirá una disminución en la generación de energía fotovoltaica del 1.5% cada año.

En la Tabla 21, se muestra de manera detallada y clara el flujo de caja correspondiente.

**Tabla 21:** Flujo de caja anual de la inversión para el SFV.

Año	INGRESOS	EGRESOS
-----	----------	---------

	<b>Generación eléctrica con reducción de 1.5% anual [kW-h]</b>	<b>Ingresos x venta de energía al año</b>	<b>Inversión Inicial</b>	<b>Mantenimiento anual (0.5 % de inversión inicial)</b>	<b>Cambio de las baterías (en el año 12)</b>	<b>Flujo de caja anual</b>
0			-16212,90			-16212,90
1	486,18	320,9		-81,1		239,8
2	478,89	316,1		-81,1		235,0
3	471,70	311,3		-81,1		230,3
4	464,63	306,7		-81,1		225,6
5	457,66	302,1		-81,1		221,0
6	450,79	297,5		-81,1		216,5
7	444,03	293,1		-81,1		212,0
8	437,37	288,7		-81,1		207,6
9	430,81	284,3		-81,1		203,3
10	424,35	280,1		-81,1		199,0
11	417,98	275,9		-81,1		194,8
12	411,71	271,7		-81,1	-800,00	-609,3
13	486,18	320,9		-81,1		239,8
14	478,89	316,1		-81,1		235,0
15	471,70	311,3		-81,1		230,3
16	464,63	306,7		-81,1		225,6
17	457,66	302,1		-81,1		221,0
18	450,79	297,5		-81,1		216,5
19	444,03	293,1		-81,1		212,0
20	437,37	288,7		-81,1		207,6

Nota: Elaboración propia

Se procederá a calcular el LCoE, que se traduce como el Costo Estandarizado de Energía, el cual representa el costo medio total asociado a cada unidad de energía, expresada en kilovatios hora (kWh), durante la vida útil estimada del sistema fotovoltaico que se está analizando. Es de suma importancia tener en cuenta todos los costos involucrados, los cuales abarcan no solo la inversión inicial necesaria para poner en marcha el proyecto, sino también el mantenimiento anual que se va acumulando a lo largo del tiempo. Adicionalmente, se deben incluir los gastos asociados al reemplazo de baterías, así como también aquellos relacionados con

el cambio de componentes electrónicos que puedan requerirse. Por otro lado, es fundamental considerar el total acumulado de la generación eléctrica a lo largo de los 20 años que se han proyectado para evaluar adecuadamente la viabilidad y el retorno de esta inversión.

Esto nos brindará la oportunidad de realizar un análisis detallado y establecer comparaciones entre los distintos valores que son proporcionados por la empresa que opera en la red pública, así como los gastos que conlleva la adquisición dentro de un espacio de fabricación virtual (SFV).

$$LCoE = \frac{\text{Inversión inicial} + \Sigma \text{Mantenimiento} + \Sigma \text{Cambio de componentes}}{\Sigma \text{Generación eléctrica anual}}$$

$$LCoE = \frac{16212,90 + 1621,29 + 800,00}{9067,37}$$

$$LCoE = 2,06 \text{ S/./kW-h}$$

### **c. Viabilidad económica del proyecto**

De una manera parecida a cómo se lleva a cabo el análisis económico del sistema fotovoltaico, se procederá a la identificación y cálculo de los indicadores financieros conocidos como Valor Actual Neto (VAN) y Tasa Interna de Retorno (TIR) a lo largo de un período de proyección que abarca un total de 20 años. Los indicadores económicos resultantes son una VAN S/.-14 764,01, con lo que se demuestra que la inversión no es rentable.

## **B. Sistema térmico solar**

**Tabla 22:** Costos netos de los componentes principales en el sistema termo solar

ITEM	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO PARCIAL (S/.)	PRECIO TOTAL (S/.)
<b>1.0</b>	<b>SUMINISTRO</b>				<b>12313,40</b>
	<b>Componentes principales</b>				<b>3995,00</b>
1.1	Tubos de calor con heat pipe	Und.	46	67,00	3082,00
1.2	Plancha de acero 3 mm (tanque interno)	m <sup>2</sup>	1	6,00	6,00
1.3	Plancha de acero 3 mm (tanque externo)	m <sup>2</sup>	1	7,00	7,00
1.4	Poliuretano	lts.	15	60,00	900,00
1.5	Ánodo de magnesio (antisarro) de 30 cm	Und.	2	110,00	220,00
1.6	O-ring de ajuste (tubos al vacío)	Und.	72	10,00	720,00
1.7	Fabricación de los tanques térmicos	Und.	1	1000,00	1000,00
	<b>Estructura del sistema</b>				<b>1874,00</b>
1.6	Perfil tubular rectangular 40 x 60 x 2 mm	m	14	95,00	1330,00
1.7	Plancha de base 200 x 200 x 1.5 mm	m <sup>2</sup>	2	95,00	190,00
1.8	Plancha de base 200 x 200 x 1.5 mm	m <sup>2</sup>	0,24	100,00	24,00
1.9	Pernos de anclaje 5/8" x 4"	Und.	96	2,50	240,00
1.10	Soldadura 6011 1/8"	kg	6	15,00	90,00
	<b>Accesorios y Tuberías</b>				<b>1434,20</b>
1.11	Tubería PVC 3/4"	m	18	2,90	52,20
1.12	Tubería CPVC 1/2"	m	20	6,00	120,00
1.13	Tubería CPVC 3/4"	m	16	10,00	160,00
1.14	Tee de PVC 3/4"	Und.	4	4,80	19,20
1.15	Codo de PVC 3/4"	Und.	12	3,80	45,60
1.16	Válvula bola PVC 3/4"	Und.	4	12,00	48,00
1.17	Válvula bola CPVC 1/2"	Und.	4	22,00	88,00
1.18	Válvula check bronce 1/2"	Und.	8	70,00	560,00
1.19	Codo de CPVC 1/2"	Und.	16	2,00	32,00
1.20	Codo de CPVC 3/4"	Und.	4	3,80	15,20
1.21	Niple CPVC 1/2"	Und.	16	1,80	28,80
1.22	Niple PVC 3/4"	Und.	8	3,40	27,20
1.23	Pegamento CPVC	Und.	4	28,50	114,00
1.24	Pegamento PVC	Und.	4	31,00	124,00
<b>2.0</b>	<b>MONTAJES</b>				<b>3000,00</b>
2.1	Técnicos	Glb.	1	3000,00	3000,00
<b>3.0</b>	<b>TRANSPORTES</b>				<b>500,00</b>
3.1	Transporte	Glb.	1	500,00	500,00
			<b>Total</b>		<b>19551,40</b>

Nota: Elaboración propia

La adición de todos los subtotales que hemos calculado nos da como resultado un

total que equivale a la cantidad de S/. 19,551.40 corresponde a la inversión inicial necesaria para llevar a cabo la implementación del sistema de energía solar térmica. Se llevará a cabo una evaluación detallada para establecer el flujo de caja, el cual deberá considerar los ingresos potenciales que se podrían obtener al producir energía térmica. Asimismo, es crucial que se tomen en cuenta los gastos relacionados con la inversión inicial, así como los costos asociados al mantenimiento anual, que se estima en un 10% del monto total de la inversión inicial. Dentro de este mantenimiento, es necesario verificar el estado de las empaquetaduras, conocidas como o-rings, que son parte de los tubos Heat Pipe. Además, será imprescindible realizar una limpieza interna de los sistemas cada tres meses y comprobar la calidad de los materiales utilizados. También se deben incluir los gastos relacionados con la sustitución de los tubos Heat Pipe y la adquisición de nuevos termotanques.

#### **a. Flujo de caja y LCoE**

A continuación, se muestra la Tabla 23, que proporciona una descripción detallada del flujo de caja proyectado que se espera a lo largo de un extenso período de 20 años. Esta proyección toma en consideración la generación de energía térmica, y también incorpora el hecho de que se espera una disminución anual del 2% en la producción de dicha energía:

**Tabla 23:** Flujo de caja anual de la inversión para en el sistema termo solar.

Año	Generación de energía térmica con reducción de 2% anual [kW-h]	INGRESOS		EGRESOS		Flujo de caja anual
		Ingresos hipotéticos	Inversión Inicial	Mantenimiento anual (10 % de inversión inicial)	Cambio de los componentes (tubos heat pipe, tanques)	
0			-19551,40			-19551,40
1	6715,82	8260,5		-1955,1		6305,3
2	6581,50	8095,2		-1955,1		6140,1
3	6449,87	7933,3		-1955,1		5978,2
4	6320,88	7774,7		-1955,1		5819,5
5	6194,46	7619,2		-1955,1		5664,0
6	6070,57	7466,8		-1955,1		5511,7
7	5949,16	7317,5		-1955,1		5362,3
8	5830,18	7171,1		-1955,1		5216,0
9	5713,57	7027,7		-1955,1		5072,6
10	5599,30	6887,1		-1955,1	-5000	-68,0
11	6715,82	8260,5		-1955,1		6305,3
12	6581,50	8095,2		-1955,1		6140,1
13	6449,87	7933,3		-1955,1		5978,2
14	6320,88	7774,7		-1955,1		5819,5
15	6194,46	7619,2		-1955,1		5664,0
16	6070,57	7466,8		-1955,1		5511,7
17	5949,16	7317,5		-1955,1		5362,3
18	5830,18	7171,1		-1955,1		5216,0
19	5713,57	7027,7		-1955,1		5072,6
20	5599,30	6887,1		-1955,1		4932,0

Nota: Elaboración propia

Se estima que el costo de la electricidad que se aplica en la región de Lambayeque se clasifica dentro de una opción tarifaria específica, denominada BT5B Residencial. Esta tarifa tiene un precio establecido de S/ 0.9242 por cada kilovatio-hora (kWh). No obstante, es importante señalar que este importe no incluye diversos conceptos adicionales que pueden aumentar el total a pagar, tales como el interés compensatorio, los cargos por alumbrado público, los gastos de mantenimiento, el impuesto general a la venta, ni tampoco aquellos aportes que se

derivan de la Ley Nro. El número 28749, que efectivamente se considera como un cargo adicional que se suma al cobro mensual que deben pagar los usuarios, junto con toda la información que hemos enumerado previamente, indica que el costo neto de la electricidad se establece en S/ 1.2323 por cada kilovatio-hora (kWh) consumido. De la misma manera, se procederá a calcular el Costo Estandarizado de Generación (LCoE por sus siglas en inglés), con el propósito de poder realizar una comparación efectiva del precio asociado a la generación de energía específicamente en el ámbito de las plantas de energía solar térmica:

$$LCoE = \frac{\text{Inversión inicial} + \Sigma \text{Mantenimiento} + \Sigma \text{Cambio de componentes}}{\Sigma \text{Generación eléctrica anual}}$$

$$LCoE = \frac{19551,40 + 39102,80 + 5000}{122850,62}$$

$$LCoE = 0,518 \text{ S/./kW-h}$$

#### **b. Viabilidad económica del proyecto**

De una manera parecida a cómo se lleva a cabo el análisis económico del sistema fotovoltaico, se procederá a la identificación y cálculo de los indicadores financieros conocidos como Valor Actual Neto (VAN) y Tasa Interna de Retorno (TIR) a lo largo de un período de proyección que abarca un total de 20 años. El VAN resultó S/. 21715,59 y la TIR 30%, con lo que se concluye que el proyecto resulta viable.

## **CAPITULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

### **5.1. Conclusiones**

Las conclusiones del presente de investigación son:

- Las necesidades eléctricas y térmicas de una vivienda en la ciudad de Incahuasi son: 1332,5 kW-h/día y de 2014,75 MJ.
- La radiación solar existente en la ciudad de Incahuasi es de 5,11 kW-h/m<sup>2</sup>
- El sistema fotovoltaico estará conformado por 08 paneles solares de 300 Wp, 01 el controlador de carga MPPT modelo SRNE SR MC4885N25, 01 batería de litio Pylontech US3000C de 3.5 kWh y 01 alternador denominado Inti Power, que tiene una capacidad de 1000 W. Y el sistema térmico estará conformado por 46 tubos de calor fabricados con vidrio de borosilicato, con un tanque de almacenamiento de 0,3108 m<sup>3</sup>,
- El presupuesto que involucra el sistema fotovoltaico es de S/. 16,212.90, cuya evaluación económica sale inviable y el sistema térmico involucra un monto de S/. S/. 19,551.40, y como resultado de la evaluación económica no da un VAN de S/. 21715,59 y la TIR de 30%, con lo que se demuestra que es viable.

### **5.2. Recomendaciones**

Se recomienda evaluar la posibilidad de emplear las excretas de ganado para producir biogás y emplearlo en la cocción de alimentos. Además, se recomienda que se realice investigaciones de como obtener agua potable para su propio consumo.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Castañé Portales, E. (2023). Diseño de una instalación solar térmica y fotovoltaica mediante el uso de colectores solares híbridos. . España: Universidad Politécnica de Catalunya.
- Díaz Mendoza, J. (2017). Diseño de un sistema fotovoltaico para suministrar energía eléctrica al caserío Laquipampa Bajo Incahuasi, 2017. Lima: Universidad Cesar Vallejo. Obtenido de <https://hdl.handle.net/20.500.12692/17253>
- ENEL. (2024). ¿Qué es un sistema fotovoltaico y qué es un sistema térmico y cómo funciona?
- Horn, M. (2006). El estado actual del uso de la energía solar em el Perú: situación y perspectivas de la energía solar en el Perú. Lima, Perú: Revista Perú Económico.
- Monteagudo Yanes, J. P., & Jiménez Borges, R. (2023). Potencialidades de la energía solar en la sede central de la Universidad de Cienfuegos. . Cuba: Universidad de Cienfuegos “Carlos Rafael Rodríguez”.
- Orozco Pilaquinga, I. V. (2021). Diseño de un sistema de microgeneración conectado a la red para una vivienda unifamiliar simultánea de energía eléctrica y agua caliente sanitaria en el sector del Valle De Los Chillos. Ecuador: Escuela Politécnica Nacional.
- Pérez Estrella, M. (2021). Diseño del colector solar térmico de un sistema híbrido PVT por modelamiento y simulación. . Junín, Perú: Universidad del Centro del Perú.
- Renovables, E. (2024). Casas térmicas y cocinas mejoradas para combatir el frío en zonas altoandinas. Obtenido de <https://www.energias-renovables.com/panorama/casas-termicas-y-cocinas-mejoradas-para-combatir-el>
- Sanchez, H., Reyes, C., & Mejía, K. (2018). Manual de términos en investigación científica, tecnológica y humanística:. Lima: Universidad Ricardo Palma. Obtenido de <https://www.urp.edu.pe/pdf/id/13350/n/libro-manual-de-terminos-en-investigacion.pdf>
- Verde, E. (2024). Qué es la energía eléctrica y energía térmica.
- Villca Pozo, M. (2022). Principales rasgos configuradores de las bonificaciones del IBI e ICIO por la instalación de sistemas de aprovechamiento térmico o eléctrico de la energía solar. . España: Revista Catalana Ambiental.

## ANEXOS

### Anexo 01: Equipos de medición

#### MODELO TM-206 (TENMARS)



#### MEDIDOR DE ENERGÍA SOLAR

El medidor de energía solar M-206 es ideal para medir la radiación solar emitida por el sol a partir de una reacción de fusión nuclear que crea energía electromagnética.

El espectro de radiación solar es similar al de un cuerpo negro con una temperatura de aproximadamente 5800 K. Alrededor de la mitad de la radiación se encuentra en la parte visible de onda corta del espectro electromagnético. La otra mitad está principalmente en la parte del infrarrojo cercano, con algunos en la parte ultravioleta del espectro.

#### CARACTERÍSTICAS

- Aplicaciones de meteorología, agrícolas, laboratorios de física y óptica.
- Medición de la radiación solar.
- Medición de la transmisión solar.
- Investigación de energía solar.
- Identifica ventanas de alto rendimiento.
- Útil para configurar paneles solares fotovoltaicos en ángulos óptimos de incidencia.
- Útil para la medición de intensidad de luz para las ventanillas del coche.

## ESPECIFICACIONES TÉCNICAS

MODELO	TM-207
Pantalla	3 1/2 dígitos con la lectura máxima de 2000.
Rango	2000 W/m <sup>2</sup> , 634 BTU/(ft <sup>2</sup> ×h)
Resolución	0.1 W/m <sup>2</sup> , 0.1 BTU/(ft <sup>2</sup> ×h)
Exactitud	Exactitud: Típicamente dentro +/- 10 W/m <sup>2</sup> [+/- 3 BTU/(ft <sup>2</sup> ×h)] o +/- 5% cualquiera que sea mayor a la luz del Sol. Error de temperatura incluido +/- 0.38 W/m <sup>2</sup> /°C [+/- 0.12 BTU/(ft <sup>2</sup> ×h)] desviación de 25°C
Exactitud angular	Coseno corregido
Deriva	<± 2% por Año
Sobre entrada	Muestra "OL"
Tiempo de muestreo	0.25 segundos
Temperatura y humedad de operación	5°C~40°C; 80%HR
Fuente de alimentación	Batería 9 V
Dimensiones	130x 55x 39 mm
Peso	150 g

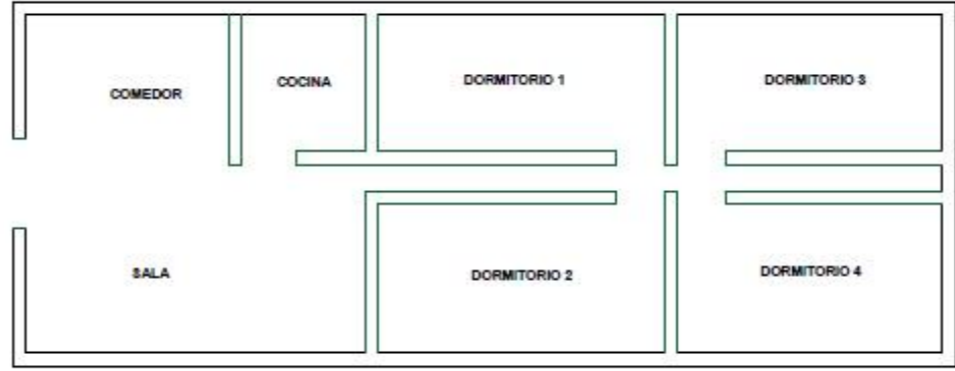
## Anexo 02: Planos



Vivienda en donde se instalará el Sistema de energía termoeléctrica solar para suministrar con energía eléctrica y energía térmica

**Tabla 2:** Ubicación Coordenadas UTM WGS84 de la vivienda a aplicar la investigación

<b>ESTE</b>	688904.00
<b>NORTE</b>	9310949.00
<b>ALTITUD (msnm)</b>	3078



**UNIVERSIDAD NACIONAL PEDRO RUIZ GALLO**  
Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica

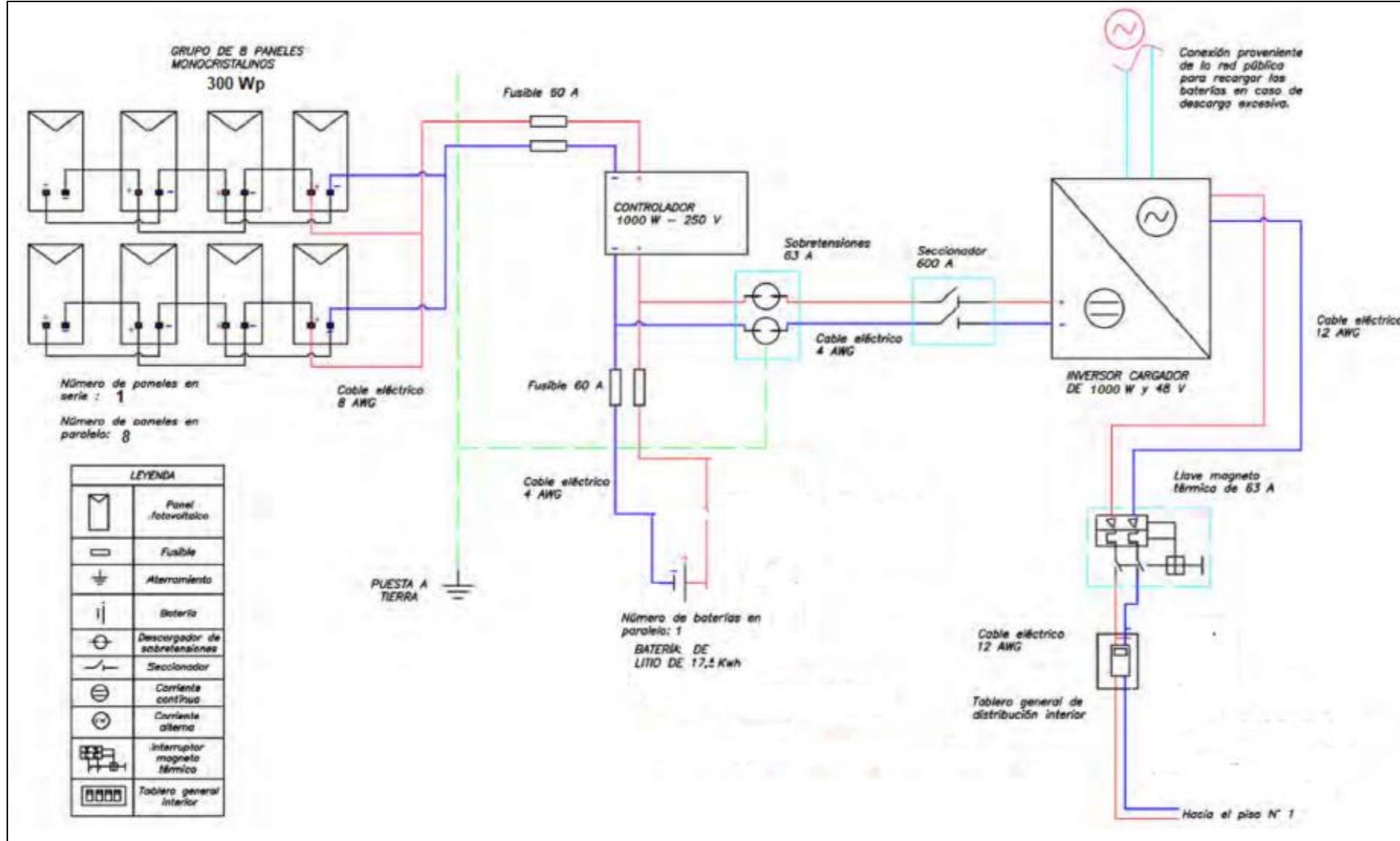
TESIS: Sistema de energía termoeléctrica solar para suministrar con energía eléctrica y energía térmica a una vivienda multifamiliar de la ciudad de Incahuasi

PLANO: Ubicación de la vivienda donde se instalará el sistema de energía termoeléctrica

ALUMNO: Bach. Severino Anevalo, Waldir

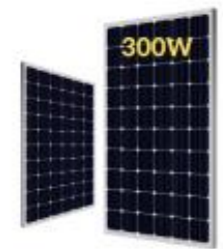
CAD: SAW | ESCALA: 1/1000 | FECHA: 23.03.25

PLANO Nº: **P-03**



LEYENDA

	Panel fotovoltaico
	Fusible
	Aterramiento
	Bateria
	Descargador de sobretensiones
	Seccionador
	Corriente continua
	Corriente alterna
	Interruptor magneto térmico
	Tablero general interior



PANEL SOLAR MONOCRISTALINO DE 300 W



REGULADOR DE CARGA MPPT SR-MC



Batería Litio 3.5kWh Pylontech US3000C 48V



Inversor Onda Pura 48v A 220v 1000w



UNIVERSIDAD NACIONAL PEDRO RUIZ GALLO  
Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica

TESIS: Sistema de energía termoelectrica solar para suministrar con energía eléctrica y energía térmica a una vivienda multifamiliar de la ciudad de Incahuasi

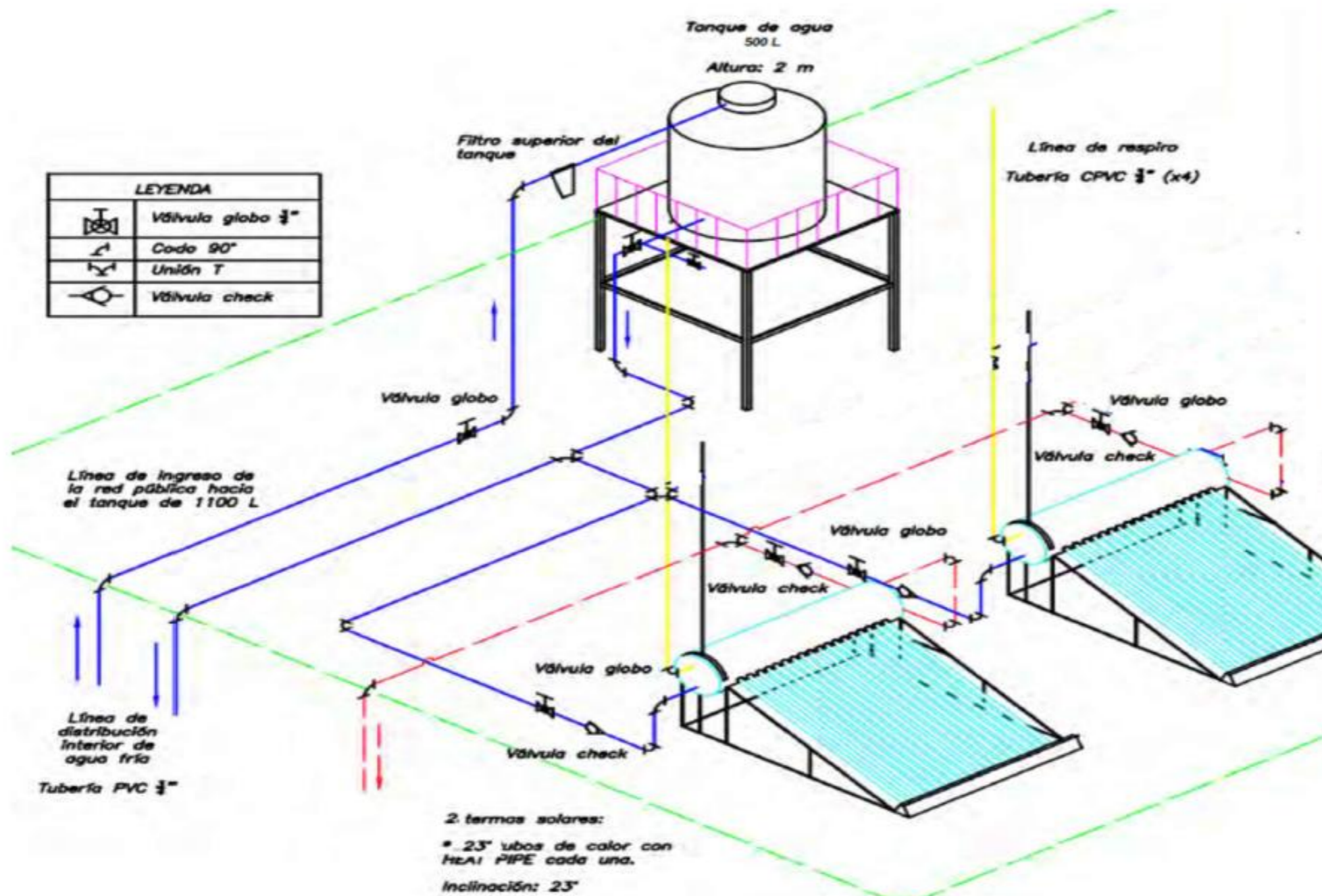
PLANO: Diagrama de instalación sanitaria del sistema fotovoltaico

ALUMNO: Badi. Severino Arevalo, Walter

CAD: SAW ESCALA: 1/1000 FECHA: 23.09.25

PLANO Nº: **P-02**

LEYENDA	
	Válvula globo 3/4"
	Codo 90°
	Unión T
	Válvula check



2 termas solares:  
 \* 23° tubos de calor con  
 HeA1 PIPE cada una.  
 Inclinación: 23°



	<b>UNIVERSIDAD NACIONAL PEDRO RUIZ GALLO</b> Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica	
	TESIS: Sistema de energía termoelectrica solar para suministrar con energía eléctrica y energía térmica a una vivienda multifamiliar de la ciudad de Incahuasi	
	PLANO: Diagrama de instalación sanitaria del sistema térmico solar para ACS	PLANO Nº:
	ALUMNO: Sach. Severino Arevalo, Waldir	<b>P-01</b>
CAD: SAW	ESCALA: 1/1000	FECHA: 23.09.25



