



**UNIVERSIDAD NACIONAL DE JULIACA**  
**FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA**  
**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA EN**  
**ENERGÍAS RENOVABLES**



**DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN PROTOTIPO DE MÁQUINA**  
**PARA LA TRANSFORMACIÓN DE BOTELLAS PET EN PLACAS**  
**DE BALDOSAS ACCIONADO CON ENERGÍA SOLAR**  
**FOTOVOLTAICA EN AYABACAS - UNAJ, 2024**

**Bach. Percy Gabriel Zambrano Mara**  
**Bach. Elyan Yakelin Sucapuca Hilasaca**

**TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE INGENIERO EN ENERGÍAS**  
**RENOVABLES**

**Asesor : M.Sc. Reynaldo Condori Yucra**  
**Co-asesor: Mg. Wilson Jose Pampa Vilca**



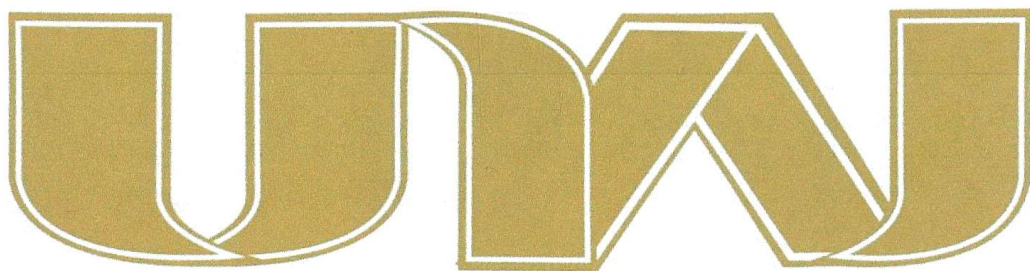
**JULIACA, PERÚ**

**2025**





**UNIVERSIDAD NACIONAL DE JULIACA**  
**FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA**  
**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA EN ENERGÍAS**  
**RENOVABLES**



**DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN PROTOTIPO DE MÁQUINA  
PARA LA TRANSFORMACIÓN DE BOTELLAS PET EN PLACAS  
DE BALDOSAS ACCIONADO CON ENERGÍA SOLAR  
FOTOVOLTAICA EN AYABACAS – UNAJ, 2024**

**Bach. Percy Gabriel Zambrano Mara**  
**Bach. Elyan Yakelin Sucapuca Hilasaca**

**TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE INGENIERO EN ENERGÍAS  
RENOVABLES**

**Asesor: M.Sc. Reynaldo Condori Yucra**  
**Co-asesor: Mg. Wilson Jose Pampa Vilca**



**JULIACA, PERÚ**

**2025**



**UNIVERSIDAD NACIONAL DE JULIACA**  
**FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA**  
**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA EN ENERGÍAS**  
**RENOVABLES**



**DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN PROTOTIPO DE MÁQUINA**  
**PARA LA TRANSFORMACIÓN DE BOTELLAS PET EN PLACAS**  
**DE BALDOSAS ACCIONADO CON ENERGÍA SOLAR**  
**FOTOVOLTAICA EN AYABACAS – UNAJ, 2024**

Bach. Percy Gabriel Zambrano Mara  
Bach. Elyan Yakelin Sucapuca Hilasaca

TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE INGENIERO EN ENERGÍAS  
RENOVABLES

Asesor: M.Sc. Reynaldo Condori Yucra  
Co-Asesor: Mg. Wilson Jose Pampa Vilca

Juliaca, 2025

## **FICHA CATALOGRÁFICA**

Sucapuca, E. & Zambrano, P. (2025). *Diseño y construcción de un prototipo de máquina para la transformación de botellas PET en placas de baldosas accionado con energía solar fotovoltaica en Ayabacas – UNAJ, 2024*  
(Tesis de pregrado). Universidad Nacional de Juliaca.

**Autor:** Elyan Yakelin Sucapuca Hilasaca, Percy Gabriel Zambrano Mara

**Título:** Diseño y construcción de un prototipo de máquina para la transformación de botellas PET en placas de baldosas accionado con energía solar fotovoltaica en Ayabacas – UNAJ, 2024

**Publicación:** Juliaca, 2025

**Descripción:** Cantidad de páginas (148 pp)

**Nota:** Tesis de la Escuela Profesional de Ingeniería en Energías Renovables – Universidad Nacional de Juliaca

**Código:** 02-000050-02/Z25

**Nota:** Incluye bibliografía

**Asesor:** M. Sc. Reynaldo Condori Yucra

**Co – asesor:** Mg. Wilson Jose Pampa Vilca

**Palabras Clave:** Botellas PET, Energía solar fotovoltaica, Prototipo, Baldosas, Temperatura, Sostenibilidad.

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE JULIACA**  
**FACULTAD DE CIENCIAS DE INGENIERÍAS**  
**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA EN ENERGÍAS RENOVABLES**  
**DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN PROTOTIPO DE MÁQUINA PARA LA**  
**TRANSFORMACIÓN DE BOTELLAS PET EN PLACAS DE BALDOSAS**  
**ACCIONADO CON ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA**  
**EN AYABACAS – UNAJ, 2024**

TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE INGENIERO EN ENERGÍAS RENOVABLES

Presentado por:

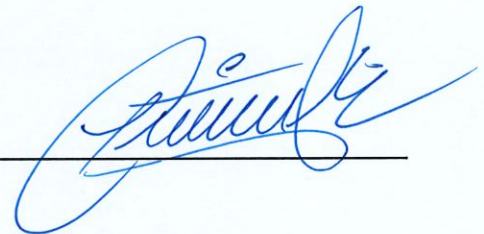
Bach. Elyan Yakelin Sucapuca Hilasaca

Bach. Percy Gabriel Zambrano Mara

**Sustentada y aprobada ante el siguiente jurado:**

M. Sc. Jhon Eduardo Abarca Suca

**PRESIDENTE DE JURADO**



M. Sc. Alex Mario Lerma Coaquira

**JURADO (Secretario)**



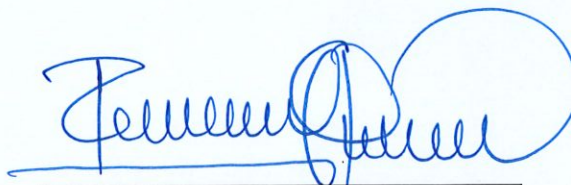
**2° MIEMBRO**

Mtro. Josmell Tito Calderon

**JURADO (Vocal)**



**3° MIEMBRO**



M. Sc. Reynaldo Condori Yucra

**ASESOR DE TESIS**

# Percy Gabriel Zambrano Mara Elyan Yakelin Sucap... DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN PROTOTIPO DE MÁQUINA PARA LA TRANSFORMACIÓN DE BOTELLAS PET EN PLACAS ...

 Universidad Nacional de Juliaca

## Detalles del documento

Identificador de la entrega

trn:oid::3117:546411145

152 páginas

Fecha de entrega

15 ene 2026, 9:33 a.m. GMT-5

28.779 palabras

Fecha de descarga

15 ene 2026, 9:40 a.m. GMT-5

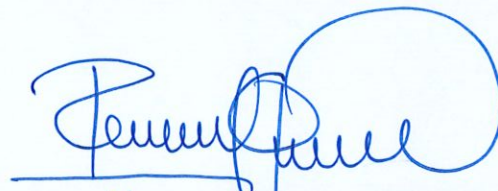
166.169 caracteres

Nombre del archivo

TESIS\_ELYAN\_YAKELIN\_SUCAPUCA\_HILASACA. PERCY\_GABRIEL\_ZAMBRANO\_MARA (2).pdf

Tamaño del archivo

6.2 MB



Mg. REYNALDO CONDORI YUGRA  
ASESOR




## 13% Similitud general

El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas, para ca...

### Filtrado desde el informe

- ▶ Bibliografía
- ▶ Texto citado
- ▶ Texto mencionado
- ▶ Coincidencias menores (menos de 10 palabras)

### Fuentes principales

- 12%  Fuentes de Internet
- 1%  Publicaciones
- 5%  Trabajos entregados (trabajos del estudiante)

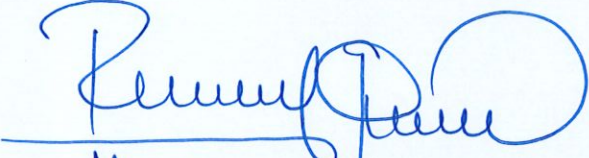
### Marcas de integridad

#### N.º de alertas de integridad para revisión

No se han detectado manipulaciones de texto sospechosas.

Los algoritmos de nuestro sistema analizan un documento en profundidad para buscar inconsistencias que permitirían distinguirlo de una entrega normal. Si advertimos algo extraño, lo marcamos como una alerta para que pueda revisarlo.

Una marca de alerta no es necesariamente un indicador de problemas. Sin embargo, recomendamos que preste atención y la revise.



Mg. REYNALDO CONDORI YUGRA  
ASESOR

## **DEDICATORIA**

*A Dios, por ser mi guía, mi fuerza y mi esperanza en cada paso que doy. Su presencia fue necesaria para no rendirme incluso en momentos difíciles de la vida.*

*A mis padres, Elber y Roxana, por su amor incondicional y por inculcarme el valor del esfuerzo, la humildad. Y la perseverancia. Agradezco cada sacrificio, cada palabra de aliento y su constante apoyo, que me han brindado un sentido de pertenencia en todo momento. No Dispongo de las palabras adecuadas para expresar mi agradecimiento por todo lo que han realizado en mi favor.*

*A mi hermano, Richard, por ser mi apoyo, mi impulso y, sobre todo, mi ejemplo a seguir. Tu fuerza, tu determinación y tu manera de enfrentar la vida me han inspirado siempre. Gracias por mostrarme con tu propio camino que los sueños se alcanzan con dedicación y valentía.*

*A mis ángeles en el cielo, abuelito Juan, abuelita María y Yhoel, aunque ya no estén físicamente, su presencia vive en mi corazón. Su amor, sus enseñanzas y sus recuerdos me acompañan cada día, dándome la fortaleza que a veces me falta. Siento que caminan conmigo y que su luz me guía.*

**Elyan Yakelin Sucapuca Hilasaca**

## **DEDICATORIA**

*A Dios, por su infinito amor, por iluminar mis pasos y concederme la fortaleza necesaria para no rendirme incluso en los momentos más desafiantes. Su presencia ha sido mi guía constante y el fundamento de cada logro alcanzado en mi vida.*

*A mis padres, Percy y Toribia, quienes, con su ejemplo de perseverancia, humildad y sacrificio, sembraron en mí la convicción de que los sueños se conquistan con disciplina y valentía. A ellos, que fueron mi refugio, mi impulso y mi inspiración diaria; que me brindaron apoyo incondicional, palabras de aliento y una fe inmensa en mis capacidades. Este logro es tanto mío como suyo, porque sin su amor y dedicación, este camino no habría sido posible.*

*A mis hermanos, Abril y Rodrigo, quienes con su inocencia, cariño y admiración me dieron un motivo más para esforzarme y ser mejor cada día. Ellos fueron luz en mis días cansados y alegría en cada avance que lograba. En cada paso, recordé que ellos miran el camino que recorro, y eso me motivó a convertirme en un ejemplo para ellos.*

**Percy Gabriel Zambrano Mara**

## **AGRADECIMIENTOS**

*A Dios, por otorgarme la vida, por dirigir mis pasos y por proporcionarme la sabiduría y Fortaleza necesaria para concluir esta etapa significativa de mi formación profesional. Su presencia constante constituyó un apoyo y una guía en cada desafío.*

*A mi Asesor de Tesis, M. Sc. Reynaldo Condori Yucra, y Co-asesor Ing. Wilson Jose Pampa Vilca, por compartir sus enseñanzas y acompañarme en este proceso de investigación.*

*A la Escuela Profesional de Energías Renovables, por el apoyo brindado durante el proceso de investigación, al facilitar el acceso a los equipos, ambientes y laboratorios necesarios para una ejecución adecuada y rigurosa del proyecto.*

*A mis amistades cercanas, Jholby y Angélica, gracias por su amistad sincera y por acompañarme en momentos que marcaron mi vida. Su apoyo, sus palabras de ánimo y su capacidad de estar presentes incluso en los días más difíciles han sido un regalo invaluable.*

*A Edson una persona especial al cual aprecio mucho, gracias por estar en este camino, por siempre darme palabras de aliento, consejos para continuar estudiando y por ayudarme a ser fuerte en esta vida.*

**Elyan Yakelin Sucapuca Hilasaca**

## **AGRADECIMIENTOS**

*A Dios, por darme la vida, por guiar mis pasos y por brindarme la sabiduría y fortaleza necesarias para culminar esta etapa tan importante de mi formación profesional. Su presencia constante fue mi apoyo y mi guía en cada desafío.*

*A mi Asesor de Tesis, M. Sc. Reynaldo Condori Yucra, y Co-asesor Ing. Wilson Jose Pampa Vilca por confiar en mi capacidad y acompañarme con su orientación, experiencia y dedicación. Sus enseñanzas y sugerencias fueron fundamentales para fortalecer el desarrollo de esta investigación.*

*A la Escuela Profesional de Energías Renovables, por el apoyo brindado durante el proceso de investigación, al facilitar el acceso a los equipos, ambientes y laboratorios necesarios para una ejecución adecuada y rigurosa del proyecto.*

*A mis compañeros de clase, quienes compartieron conmigo este camino académico lleno de retos y aprendizajes. Gracias por su apoyo e intercambio de ideas. Su compañía hizo este proceso más llevadero y significativo.*

**Percy Gabriel Zambrano Mara**

# ÍNDICE GENERAL

	Pág.
DEDICATORIA .....	i
AGRADECIMIENTOS .....	ii
INDICE GENERAL.....	iii
INDICE DE TABLAS .....	vi
INDICE DE FIGURAS.....	vii
INDICE DE ANEXO .....	ix
ACRONIMOS.....	xi
LISTA DE SIMBOLOS .....	xii
RESUMEN.....	15
ABSTRACT .....	16
INTRODUCCION .....	17

## CAPÍTULO I PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

	Pág.
1.1 Formulación del problema .....	19
1.1.1 Problema general .....	19
1.1.2 Problemas específicos.....	19
1.2 Objetivos de la investigación.....	19
1.2.1 Objetivo general .....	19
1.2.2 Objetivos específicos.....	19
1.3 Justificación de la investigación .....	20
1.3.1 Justificación técnica.....	20
1.3.2 Justificación económica.....	20
1.3.3 Justificación ambiental .....	20
1.3.4 Justificación social.....	21

## CAPÍTULO II REVISIÓN DE LA LITERATURA

2.1 Antecedentes.....	22
2.1.1 Internacional .....	22

2.1.2	Nacional.....	26
2.1.3	Regional.....	27
2.2	Bases teóricas de la investigación.....	27
2.2.1	Botellas de plástico (PET).....	27
2.2.2	Sistemas de transformación del plástico PET.....	28
2.2.3	Energía Solar Fotovoltaica.....	31
2.2.4	Irradiancia.....	32
2.2.5	Tipos de radiación captada por los paneles solares.....	32
2.2.6	Radiación solar aplicada y Hora solar pico en la UNAJ – AYABACAS.....	33
2.2.7	Sistemas Fotovoltaicos.....	35
2.2.8	Constante Solar.....	36
2.3	Bases conceptuales de la investigación.....	37
2.3.1	Voltaje.....	37
2.3.2	Corriente Eléctrica.....	37
2.3.3	Potencia.....	37
2.3.4	Temperatura.....	38
2.3.5	Cableado.....	38
2.3.6	Emisividad Térmica.....	39
2.3.7	Transferencia de Calor en Hornos industriales.....	39
2.3.8	Microcontroladores.....	41
2.3.9	Diodos de Temperatura Resistivos (RTD).....	42
2.3.10	Control PID.....	42
2.3.11	Resistencias Calefactoras Industriales.....	43

## **CAPITULO III**

### **MATERIALES Y MÉTODOS**

3.1	Formulación de hipótesis.....	44
3.1.1	Hipótesis general.....	44
3.1.2	Hipótesis específico.....	44
3.2	Metodología de la investigación.....	44
3.2.1	Tipo, nivel y diseño de investigación.....	44
3.2.2	Secuencia de la Metodológica.....	45
3.2.3	Población y Muestra.....	45
3.3	Recursos, Materiales y/o Equipos.....	46
3.3.1	Ubicación del proyecto.....	46

3.3.2	Materiales e instrumentos para la estructura y fabricación del Prototipo .....	47
3.3.3	Materiales y componentes Eléctricos del Prototipo .....	49
3.3.4	Materiales y componentes del Sistema Fotovoltaico Aislado.....	54
3.3.5	Softwares para el desarrollo .....	61
3.4	Procedimiento de la Metodología.....	63
3.4.1	Diseño del Prototipo .....	64
3.4.2	Cálculo de la producción del Sistema fotovoltaico para el prototipo.....	77
3.4.3	Implementación del Prototipo Oveinier .....	85
3.4.4	Análisis Económico del Prototipo .....	91

## **CAPÍTULO IV**

### **RESULTADOS Y DISCUSIONES**

4.1	Resultado de temperatura del prototipo y moldeo de la baldosa.....	100
4.2	Energía solar fotovoltaica necesaria para suministrar al prototipo Ovenier.....	111
4.3	Análisis Económico obtenidas a nivel prototipo de maquina.....	112
4.4	Discusión de la Investigación.....	113

## **CAPÍTULO V**

### **CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

5.1	Conclusiones.....	116
5.2	Recomendaciones .....	117

<b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>118</b>
---	------------

<b>ANEXOS .....</b>	<b>124</b>
---------------------	------------

## ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
<i>Tabla 1 Características Térmicas de las botellas PET</i> .....	28
<i>Tabla 2 Datos de la irradiación solar anual promedio.</i> .....	35
<i>Tabla 3 Tabla de materiales de construcción que se usó para el prototipo.</i> .....	48
<i>Tabla 4 Datos que nos da la Ficha Técnica de la Resistencia</i> .....	52
<i>Tabla 5 Características del módulo fotovoltaico</i> .....	55
<i>Tabla 6 Especificaciones de la Batería LPBF48100-M.</i> .....	56
<i>Tabla 7 Especificaciones del Inversor Híbrido IVGM10048</i> .....	57
<i>Tabla 8 Componentes de control y protección.</i> .....	57
<i>Tabla 9 Datos y parámetros para el cálculo de pérdidas de calor en la pared y Temperatura de superficie.</i> .....	67
<i>Tabla 10 Iteraciones para hallar la Temperatura en la Superficie del prototipo.</i> .....	70
<i>Tabla 11 Tabla de Conexiones del LCD 12C y el Arduino UNO</i> .....	75
<i>Tabla 12 Conexión de los Componentes al Arduino Uno</i> .....	75
<i>Tabla 13 Verificación de límites de la Configuración del generador fotovoltaico e inversor</i> 80	
<i>Tabla 14 Verificación de límite del inversor hacia la carga</i> .....	81
<i>Tabla 15 Resumen de los cálculos del dimensionamiento del sistema fotovoltaico</i> .....	83
<i>Tabla 16 Presupuesto de la construcción del prototipo.</i> .....	91
<i>Tabla 17 Datos de Partida</i> .....	94
<i>Tabla 18: Datos de entrada del Proyecto</i> .....	95
<i>Tabla 19: Flujo de Caja y VAN con un interés al 5% y una Tasa de descuento del 10%</i> .....	98
<i>Tabla 20 Datos de temperatura de las distintas líneas y puntos dadas por FlirTools</i> .....	104
<i>Tabla 21 Temperaturas de las pruebas realizadas</i> .....	107
<i>Tabla 22 Resumen de resultados económicos</i> .....	112

## INDICE DE FIGURAS

	Pág.
<i>Figura 1</i> Fundido de las muestras de PET en el horno microondas.....	24
<i>Figura 2</i> Muestra del moldeo de la baldosa; con Cascarilla de arroz y plástico PET.....	24
<i>Figura 3</i> Plano del molde y diseño de la Eco-baldosa hecho de plástico en España. ....	25
<i>Figura 4</i> Baldosa Eco-plástico en España para piso. ....	25
<i>Figura 5</i> Proceso de lavado y trituración del plástico.....	29
<i>Figura 6</i> Partes del Funcionamiento de un Panel Solar.....	32
<i>Figura 7</i> Horas Solar Pico durante el año a diferentes grados de inclinación.....	34
<i>Figura 8</i> Diferencias de distintos tipos de sistemas fotovoltaicos on-grid, off-grid e hibrido	36
<i>Figura 9</i> Imagen representativa de los tres tipos de Transferencia de Calor.....	41
<i>Figura 10</i> Microcontrolador, diseñado para ejecutar tareas en específicas. ....	42
<i>Figura 11</i> Diagrama de flujo del proyecto de investigación.....	45
<i>Figura 12</i> Localización de la vivienda (Vivienda de la Tesista).....	46
<i>Figura 13</i> Campus de la UNAJ – Ayabacas, localización de la EPIER y Sistema Fotovoltaico Solar en la EPIER.....	47
<i>Figura 14</i> Arduino UNO.....	49
<i>Figura 15</i> Transmisor MAX31865.....	50
<i>Figura 16</i> Pulsador para el reinicio automático.....	50
<i>Figura 17</i> Relé interruptor para bajar la potencia. ....	51
<i>Figura 18</i> Contactor como protección para las altas potencias.....	51
<i>Figura 19</i> Resistencia Calorífica para moldear el plástico PET.....	52
<i>Figura 20</i> Sensor PT100.....	53
<i>Figura 21</i> Display LCD.....	53
<i>Figura 22</i> Cables Jumpers.....	54
<i>Figura 23</i> Generador Fotovoltaico de 2.7 kW. ....	54
<i>Figura 24</i> Batería Solar LPBF48100-H.....	55
<i>Figura 25</i> Inversor Hibrido IVGM10048.....	56
<i>Figura 26</i> Contactor 16A de la Marca ABB.....	58
<i>Figura 27</i> ITM en AC de la Marca Schneider. ....	58
<i>Figura 28</i> ITM EN DC de la Marca Schneider.....	59
<i>Figura 29</i> Dispositivo de protección de circuito DC.....	59
<i>Figura 30</i> Dispositivo de protección de circuito AC marcar FE00. ....	60
<i>Figura 31</i> Selector de 2 polos.....	60
<i>Figura 32</i> Fusible de protección eléctrica. ....	61
<i>Figura 33</i> Diagrama de bloques del procedimiento de la metodología.....	63
<i>Figura 34</i> Diagrama de bloques de procedimiento de la Fabricación de las baldosas.....	64
<i>Figura 35</i> Medidas de la Estructura Metálica del Prototipo.....	65
<i>Figura 36</i> Medidas del Prototipo Ovenier.....	66
<i>Figura 37</i> Capas de materiales del prototipo.....	67
<i>Figura 38</i> Medidas del molde para las Baldosas PET.....	72
<i>Figura 39</i> Medidas del Tablero del Circuito electrónico del Prototipo.....	73
<i>Figura 40</i> Conexión de los componentes para el funcionamiento del Prototipo Oveinier	74
<i>Figura 41</i> Código de programación para el control de Temperatura del Prototipo de Ovenier. ....	76
<i>Figura 42</i> Medidas de la estructura parte delantera y de lado.....	85
<i>Figura 43</i> Medidas de la cajuela donde va la resistencia y el molde del prototipo.....	86
<i>Figura 44</i> Cajuela de la parte inferior.....	87
<i>Figura 45</i> Prototipo finalizado.....	87

<b>Figura 46</b>	<i>Inversor Felicitysolar del laboratorio de fotovoltaica</i>	88
<b>Figura 47</b>	<i>Batería FelicitySolar que se encuentra en el laboratorio de fotovoltaica</i>	89
<b>Figura 48</b>	<i>Diagrama del tablero de control instalado en el laboratorio de fotovoltaica</i>	89
<b>Figura 49</b>	<i>Diagrama General de la Instalación SFA y Prototipo Ovenier</i>	90
<b>Figura 50</b>	<i>Implementación del prototipo Ovenier en el laboratorio de fotovoltaica</i>	91
<b>Figura 51</b>	<i>Peso de materia prima</i>	100
<b>Figura 52</b>	<i>Materia prima en el molde</i>	101
<b>Figura 53</b>	<i>Plancha de acero que colocamos para que haga peso a la materia prima que está en el molde</i>	101
<b>Figura 54</b>	<i>Peso de la plancha de contrapeso</i>	102
<b>Figura 55</b>	<i>Colocamos el molde en el horno Ovenier</i>	102
<b>Figura 56</b>	<i>Toma de temperatura dentro del horno con la cámara termográfica</i>	103
<b>Figura 57</b>	<i>Imagen Tomada del Prototipo Ovenier por la Cámara termográfico</i>	104
<b>Figura 58</b>	<i>Gráfico de la Temperatura vs Tiempo captada por la cámara termográfica (fase 1-2)</i>	105
<b>Figura 59</b>	<i>Gráfico de la Temperatura vs Tiempo captada por la cámara termográfica (fase 3-4)</i>	106
<b>Figura 60</b>	<i>Baldosa recién desmoldada</i>	108
<b>Figura 61</b>		109
<b>Figura 62</b>	<i>Vista del grosor de la baldosa</i>	109
<b>Figura 63</b>	<i>Medida de la baldosa ya procesada</i>	110
<b>Figura 64</b>	<i>Resultados finales después de elegir en que ámbito poder utilizar las baldosas</i>	110
<b>Figura 65</b>	<i>Materia prima Pet colocada en el molde</i>	136
<b>Figura 66</b>	<i>Peso del Pet sin procesar y procesado</i>	137

## ÍNDICE DE ANEXOS

	<b>Pág.</b>
<i>Anexo I</i> Emisividades de las superficies. Extraída de Cengel & Ghajar (2015).....	125
<i>Anexo II</i> Conductividad térmica de los materiales de construcción. Extraído de Cengel & Ghajar (2015).....	126
<i>Anexo III</i> Conductividades térmicas de Materiales aislantes. Extraído de Cengel & Ghajar (2015).....	127
<i>Anexo IV</i> Plano del diseño de la estructura; que sirve como soporte para el prototipo.....	128
<i>Anexo V</i> Plano del diseño de la parte superior del prototipo, parte del horno donde va la resistencia.....	129
<i>Anexo VI</i> Plano del ensamblaje del todo el prototipo OVENIER; donde está el tablero electrónico; el soporte y prototipo.....	129
<i>Anexo VII</i> Plano del Diseño de molde para realizar las baldosas, que sirve para poner el triturado PET.....	130
<i>Anexo VIII</i> Estructura del prototipo OVENIER fabricado con las medidas de los planos..	130
<i>Anexo IX</i> Boleta del costo de la resistencia.....	131
<i>Anexo X</i> Planta de procesamiento de la materia prima (botellas de plástico).....	132
<i>Anexo XI</i> Materia prima - venta al público en sacos de acuerdo al peso.....	132
<i>Anexo XII</i> Ficha técnica del inversor/Hibrido de 5kW.....	133
<i>Anexo XIII</i> Ficha técnica de la batería LiFePO4 de 5Kw.....	134
<i>Anexo XIV</i> Diagrama del tablero eléctrico y control instalado en el laboratorio de fotovoltaica.....	135
<i>Anexo XV</i> Conexión del tablero de control con el inversor híbrido.....	136
<i>Anexo XVI</i> Materia prima polietileno tereftalato.....	136
<i>Anexo XVII</i> Medición de temperatura del molde dentro del horno, con la cámara termográfica.....	138
<i>Anexo XVIII</i> Medida de temperatura con la cámara termográfica – fase 0 en el programa FlirTools.....	139
<i>Anexo XIX</i> Medida de temperatura con la cámara termográfica - fase 1 en el programa FlirTools.....	140
<i>Anexo XX</i> Medida de temperatura con la cámara termográfica - fase 2 en el programa FlirTools.....	141
<i>Anexo XXI</i> Medida de temperatura con la cámara termográfica - fase 3 en el programa FlirTools.....	142
<i>Anexo XXII</i> Medida de temperatura con la cámara termográfica - fase 4 en el programa FlirTools.....	143
<i>Anexo XXIII</i> Medida de temperatura con la cámara termográfica - fase 1-2 en el programa FlirTools.....	144
<i>Anexo XXIV</i> Medida de temperatura con la cámara termográfica - fase 2-2 en el programa FlirTools.....	145
<i>Anexo XXV</i> Medida de temperatura con la cámara termográfica - fase 3-2 en el programa FlirTools.....	146
<i>Anexo XXVI</i> Medida de temperatura con la cámara termográfica - fase 4-2 en el programa FlirTools.....	147
<i>Anexo XXVII</i> Muestra del grosor y medida del producto final.....	148

## ACRÓNIMOS

AC	: Corriente Alterna
A-SONE	: Marca de módulos fotovoltaicos de 50 W
BMS	: Battery Management System (Sistema de gestión de baterías)
CIER	: Centro de Investigación en Energías Renovables
CPU	: Unidad Central de Procesamiento
DC	: Corriente Continua
DPC	: Dispositivo de Protección de Circuito
EPIER	: Escuela Profesional de Ingeniería en Energías Renovables
ECRS	: Estudio de Caracterización de Residuos Sólidos
FLIR	: Forward Looking Infrared (Marca de cámaras termográficas)
FV	: Fotovoltaico
HSP	: Horas Solar Pico
I2C	: Inter-Integrated Circuit (Protocolo de comunicación)
IEA	: International Energy Agency
IEEE	: Institute of Electrical and Electronics Engineers
IMP	: Corriente en el punto de máxima potencia
ISC	: Corriente de cortocircuito
ITM	: Interruptor Termomagnético
LCD	: Liquid Crystal Display (Pantalla de cristal líquido)
LiFePO4	: Litio-Ferrosulfato (tipo de batería)
MAX31865	: Módulo convertidor RTD-a-digital
MINAM	: Ministerio del Ambiente
MPPT	: Maximum Power Point Tracking (Seguimiento del punto máximo de potencia)
NASA	: National Aeronautics and Space Administration
NEC	: National Electrical Code
NPV / VAN	: Valor Actual Neto
PET	: Polietileno Tereftalato
PID	: Proporcional–Integral–Derivativo (controlador)
PT100	: Sensor RTD de platino de 100 $\Omega$
PVGIS	: Photovoltaic Geographical Information System
RSE	: Referenced Single Ended (configuración de medición)
RTD	: Resistance Temperature Detector (Sensor resistivo de temperatura)
SFA	: Sistema Fotovoltaico Aislado
SPI	: Serial Peripheral Interface (Protocolo de comunicación)
TIR / IRR	: Tasa Interna de Retorno
UNAJ	: Universidad Nacional de Juliaca
VOC	: Voltaje de circuito abierto
VMP	: Voltaje en el punto de máxima potencia
Wp	: Watt pico (potencia nominal de módulos solares)

## LISTA DE SÍMBOLOS

°C	: Grados Celsius	Temperatura
°F	: Grados Fahrenheit	Temperatura
K	: Kelvin	Temperatura
W	: Watt	Potencia
Wh	: Watt-hora	Energía
kW	: Kilowatt	Potencia
kWh	: Kilowatt-hora	Energía
W/m <sup>2</sup>	: Watt por metro cuadrado	Irradiancia
W/m·K	: Watt por metro Kelvin	Conductividad térmica
m <sup>2</sup> K/W	: Metro cuadrado-kelvin por watt	Resistencia térmica
A	: Amperio	Corriente
V	: Voltio	Voltaje
R	: Resistencia térmica por conducción	m <sup>2</sup> K/W
R <sub>total</sub>	: Resistencia térmica total	m <sup>2</sup> K/W
R <sub>ext</sub>	: Resistencia térmica exterior	m <sup>2</sup> K/W
q"	: Flujo de calor por unidad de área	W/m <sup>2</sup>
Q	: Pérdida total de calor	W
ε	: Emisividad	adimensional
σ	: Constante de Stefan–Boltzmann (5.67×10 <sup>-8</sup> )	W/m <sup>2</sup> K <sup>4</sup>
T	: Temperatura	K o °C
T <sub>s</sub>	: Temperatura superficial	K
T <sub>amb</sub>	: Temperatura ambiente	K
T <sub>m</sub>	: Temperatura media utilizada en linealización	K
h	: Coeficiente de transferencia de calor	W/m <sup>2</sup> K
h <sub>rad</sub>	: Coeficiente equivalente de radiación	W/m <sup>2</sup> K
h <sub>total</sub>	: Coeficiente total exterior	W/m <sup>2</sup> K
A	: Área	m <sup>2</sup>
d	: Espesor	m
k	: Conductividad térmica del material	W/m·K
I	: Corriente eléctrica	A
V	: Voltaje	V
P	: Potencia eléctrica (P = V·I)	W
E	: Energía generada o demandada	Wh o kWh
HSP	: Horas solar pico	h
V <sub>oc</sub>	: Voltaje en circuito abierto del módulo FV	V
I <sub>sc</sub>	: Corriente de cortocircuito	A
V <sub>mp</sub>	: Voltaje en punto de máxima potencia	V
I <sub>mp</sub>	: Corriente en punto de máxima potencia	A
N <sub>s</sub>	: Número de paneles en serie	—

N_p	: Número de paneles en paralelo	—
C	: Capacidad de la batería	Ah o kWh
DOD	: Profundidad de descarga	%
r	: Tasa de descuento	%

## RESUMEN

El presente trabajo desarrolla el diseño, construcción y evaluación de un prototipo denominado *Ovenier*, orientado a la transformación de botellas PET en baldosas mediante energía solar fotovoltaica en la sede Ayabacas de la UNAJ. Esta investigación aporta nuevo conocimiento técnico al demostrar la factibilidad térmica, energética y económica de sustituir procesos convencionales de moldeo industrial mediante una alternativa basada exclusivamente en energías renovables. Asimismo, se comprueba experimentalmente que el plástico PET molido puede convertirse en baldosas funcionales dentro de un rango térmico controlado entre 100 °C y 190 °C. Se llevaron a cabo dos muestras: la primera presenta una mínima temperatura de 100 °C y una máxima de 185 °C; en la segunda, la mínima temperatura es de 105 °C y la máxima, de 190 °C. ambas muestras nos muestran resultados favorables lo que sustenta la aplicabilidad directa del prototipo para la producción de baldosas ligeras destinados a usos decorativos, recubrimientos interiores y elementos de construcción no estructural. Se determinaron los parámetros térmicos del proceso mediante mediciones con cámara termográfica, verificando que el diseño multicapa del prototipo garantiza una adecuada retención de calor. En paralelo, se dimensionó el sistema fotovoltaico necesario para su operación, estableciendo que la demanda diaria de 7.77 kWh puede ser abastecida con 36 módulos de 50 W o con el generador fotovoltaico existente de 2.7 kWp de la EPIER-UNAJ. Finalmente, en el análisis económico basado en supuestos conservadores de crecimiento tarifario y mantenimiento, muestra un costo unitario de producción de S/ 0.51 por baldosa y una rentabilidad positiva (VAN = S/ 4,381.16; TIR = 18.16 %). Con ello, se concluye que la aplicación del prototipo es técnica, energética y económicamente viable y constituye un modelo replicable para la valorización de residuos plásticos en zonas altoandinas con alta disponibilidad de irradiación solar.

**Palabras Clave:** Botellas PET, Energía solar fotovoltaica, Prototipo, Baldosas, Temperatura, Sostenibilidad.

## ABSTRACT

This study presents the design, construction, and evaluation of a prototype called *Ovenier*, aimed at transforming PET bottles into tiles using photovoltaic solar energy at the Ayabacas campus of the National University of Juliaca (UNAJ). The research contributes new technical knowledge by demonstrating the thermal, energy, and economic feasibility of replacing conventional industrial molding processes with an alternative based exclusively on renewable energy. Experimental results validated that shredded PET plastic can be transformed into functional tiles within a controlled thermal range between 100 °C and 190 °C. Two experimental samples were developed: the first operated with minimum and maximum temperatures of 100 °C and 185 °C, respectively, while the second ranged from 105 °C to 190 °C. Both samples showed favorable results, supporting the direct applicability of the prototype for producing lightweight tiles intended for decorative uses, interior coverings, and non-structural construction elements. Thermal parameters were determined using thermographic camera measurements, confirming that the prototype's multilayer design ensures adequate heat retention. Additionally, the photovoltaic system required for operation was sized, establishing that a daily energy demand of 7.77 kWh can be supplied by either 36 modules of 50 W or the existing 2.7 kWp photovoltaic generator of EPIER–UNAJ. Finally, the economic analysis, based on conservative assumptions of tariff growth and maintenance, revealed a unit production cost of S/ 0.51 per tile and positive profitability (NPV = S/ 4,381.16; IRR = 18.16%). These results confirm that the prototype is technically, energetically, and economically viable, and represents a replicable model for plastic waste valorization in high-altitude regions with high solar irradiance availability.

**Keywords:** PET bottles, Photovoltaic solar energy, Prototype, Tiles, Temperature, Sustainability.

## INTRODUCCIÓN

El uso de plásticos ha experimentado un incremento significativo en los últimos años, lo que ha generado repercusiones en los ámbitos sanitario y medioambiental a nivel global. La Organización de las Naciones Unidas estima que anualmente alrededor de 13 millones de toneladas de plástico se vierten en los océanos. Este fenómeno genera repercusiones significativas en la biodiversidad, la economía y la salud humana. De toda la producción de plástico, únicamente el 9 % es reciclado; el 12 % es incinerado, liberando gases contaminantes, y cerca del 79 % termina acumulándose en ecosistemas naturales. Si no se adoptan medidas adecuadas, se proyecta que para el año 2050 la cantidad de desechos plásticos acumulados en el planeta superará los 12 000 millones de toneladas. (ONU, 2022).

La situación en Perú también es igualmente alarmante. Debido sobre todo a la escasa conciencia ambiental de los habitantes y a la ausencia de infraestructura apropiada, el Ministerio del Ambiente señala que solamente se recicla el 1,9% de los residuos sólidos reaprovechables producidos. En el año 2016, se produjo 7.005.576 toneladas de desechos sólidos; de estos, el 18,7 % eran residuos inorgánicos reciclables con la posibilidad de transformarse en componentes para nuevos productos. (MINAM, 2020).

La administración de residuos plásticos supone retos importantes, especialmente en Juliaca, ciudad de la región Puno. De acuerdo con la investigación "Caracterización de Residuos Sólidos Municipales" llevada a cabo por la Municipalidad Provincial de San Román (2019), los plásticos constituyen el 6,85% del total de residuos sólidos. De este porcentaje, un 3,35% se refiere a botellas hechas de tereftalato de polietileno (PET). Se ha estimado que este porcentaje de botellas PET ha crecido significativamente, en virtud del crecimiento poblacional sostenido en la provincia (Los Andes, 2022).

A nivel internacional, Mena (2018) documenta que en España se han implementado diversas iniciativas para valorizar el PET, destacando el método de inyección del plástico reciclado para producir baldosas, vallas, bancos, atriles y otros elementos urbanos. Estas tecnologías se desarrollaron como respuesta al incremento del consumo de envases de PET y la necesidad de promover una economía circular mediante la transformación de los residuos en productos útiles y comercializables.

En el contexto nacional, Delgado et al. (2020) señalan que las máquinas de moldeo por inyección empleadas para procesar plástico reciclado presentan costos de adquisición elevados. En su estudio, reportan que un inyector industrial puede superar los 10 000 dólares y requiere

potencias instaladas cercanas a 160 kW, lo cual limita su uso en instituciones educativas o proyectos comunitarios que buscan implementar tecnologías de reciclaje de manera accesible y sostenible. Esta situación evidencia la necesidad de desarrollar alternativas de menor costo y menor demanda energética.

La presente investigación propone la creación y diseño de un prototipo llamado Ovenier, que utiliza energía solar fotovoltaica para convertir botellas PET en placas de baldosas. Proporcionar una solución tecnológica de costo reducido que posibilita la valorización de desechos plásticos en Juliaca mediante el uso de fuentes de energía renovables es el propósito. Para que funcione, utiliza el generador fotovoltaico que está en el laboratorio de energía solar de la Escuela Profesional de Ingenierías en Energías Renovables (EPIER–UNAJ), con una potencia total instalada de 3 kW (60 módulos de 50 W); por otro lado, para operar adecuadamente con el sistema híbrido de bomba e inversor, se dispone de una potencia efectiva de 2,7 kW.

El proceso de transformación del PET se realiza mediante fusión y moldeo térmico, alcanzando temperaturas cercanas a 180 °C, valor que se justifica al encontrarse dentro del rango óptimo de plastificación del PET triturado (170 °C – 260 °C). Este método es adecuado para procesos a pequeña escala y requiere menor energía que métodos industriales como la extrusión o la inyección, que operan por encima de los 200 °C, además, la demanda equipamiento significativamente más costoso y potencias eléctricas elevadas.

El aporte principal del proyecto radica en ofrecer un sistema de valorización del PET que combina bajo costo, baja demanda energética y autonomía mediante energía solar. Los resultados experimentales muestran que el prototipo es funcional y tiene potencial para convertirse en una alternativa sostenible para mitigar la problemática de los residuos plásticos en la ciudad de Juliaca.

## **CAPÍTULO I**

### **PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

La crisis ambiental de grandes proporciones a nivel global es el problema de la acumulación de desechos plásticos, especialmente las botellas hechas con tereftalato de polietileno (PET). La producción global de plásticos ha crecido de manera exponencial en las últimas décadas, llegando a cifras preocupantes que sobrepasan los 380 millones de toneladas métricas por año Geyer et al., (2017). De esta cifra, un porcentaje significativo corresponde a envases de un solo uso, como las botellas PET, que tienen una vida útil muy corta, pero tardan cientos de años en degradarse. Este problema en el medio ambiente genera una serie de impactos negativos, incluyendo la contaminación de ecosistemas terrestres y acuáticos, la afectación de la fauna y flora (Rochman et al., 2013).

A pesar de los esfuerzos realizados para fomentar el reciclaje, las tasas globales de recuperación de plásticos PET continúan siendo bajas en diversas regiones. Como resultado, una proporción significativa de estos residuos se destina a vertederos o se encuentra dispersa en el medio ambiente. La situación actual ha propiciado la exploración de soluciones innovadoras orientadas a la valorización de este tipo de diseño, con el objetivo de transformarlo en productos útiles y sostenibles. La exploración de soluciones innovadoras orientadas a la valorización de este tipo de diseño, con el objetivo de transformarlo en productos útiles y sostenibles. La producción de materiales de construcción, tales como las baldosas, a partir de plásticos reciclados se presenta como una alternativa viable para enfrentar el problema de la sostenibilidad. Esta práctica contribuye a la disminución de la demanda de recursos naturales y a la mitigación. De la contaminación ambiental de manera paralela, la creciente preocupación en torno al cambio climático ha propiciado una aceleración en la transición hacia fuentes de energía renovable. La energía solar fotovoltaica se ha establecido como una de las alternativas más limpias y abundantes, constituyendo una opción viable frente a los combustibles fósiles en diversas aplicaciones, según la Agencia Internacional de Energía (2020). La incorporación de tecnologías solares en procesos industriales o de reciclaje contribuye a la reducción de la huella de carbono, al tiempo que tiene el potencial de disminuir los costos operativos y aumentar la autonomía energética. Este fenómeno es particularmente relevante en áreas con acceso limitado a la red eléctrica convencional.

En Perú, la cuestión de los desechos plásticos es una problemática que no se encuentra desvinculada de la realidad mundial. Diariamente, el país produce una gran cantidad de desechos sólidos urbanos, entre los que se incluye un porcentaje significativo de plásticos según

MINAM, (2020). La infraestructura de reciclaje todavía es incipiente en muchas áreas, y la informalidad en cuanto a la recolección y procesamiento sigue siendo un reto constante, a pesar de que existen programas y regulaciones para el manejo de desechos. Como consecuencia, muchas botellas PET, que tienen un gran potencial de reciclaje, se acaban en vertederos o en áreas públicas. Esto impacta la estética de las ciudades y causa dificultades sanitarias.

Una la ciudad Juliaca, Puno, afronta grandes retos en el manejo de sus desechos sólidos. La cantidad de residuos, que incluye un volumen importante de botellas PET, ha aumentado como consecuencia del crecimiento demográfico y la extensión de las ciudades. La escasa infraestructura para la recogida, separación y disposición final de desechos ha ocasionado que se acumulen plásticos en las calles, ríos y cuerpos de agua cercanos, lo cual tiene un fuerte impacto negativo en la salud pública y el entorno ecológico de sus pobladores. Es un hecho que existen los vertederos informales, y que la incineración de basura al aire libre es una práctica habitual, lo cual empeora la contaminación del aire. Según el Estudio de Caracterización de Residuos Sólidos Municipales realizado por la Municipalidad Provincial de San Román (2019), nos menciona que del total de los residuos sólidos un 6.85% es plástico, y 3.35% del total son botellas de plástico PET; actualmente no se realizó un nuevo estudio por la pandemia, pero se estima que para la actualidad este porcentaje de las botellas de plástico PET haya aumentado por el constante poblamiento de la provincia.

Es por eso que el proyecto plantea el prototipo que será conectado con energía fotovoltaica, con lo que la EPIER ya cuenta con un generador fotovoltaico de 3kW (60 módulos fotovoltaicos de 50W) pertenecientes al laboratorio de energía fotovoltaica. Este generador se conectará al prototipo maquina y colocando los gránulos de plásticos dentro de las placas del prototipo, con lo que al elevar la temperatura y alcanzar máxima de 170°C en temperatura ambiente dentro del prototipo con la resistencia (esto para poder diluir el plástico y conseguir moldear las baldosas); esto mediante un sistema fotovoltaicos aislado.

## **1.1 Formulación del problema**

Bajo los argumentos propuestos se plantea las siguientes interrogantes de investigación:

### **1.1.1 Problema general**

¿En qué medida el diseño y construcción de un prototipo de máquina accionado con energía solar fotovoltaica permite la transformación técnica, energética y económicamente viable de botellas PET en placas de baldosas en Ayabacas – UNAJ?

### **1.1.2 Problemas específicos**

- ¿En qué medida la temperatura y la resistencia eléctrica influyen en el adecuado moldeo y espesor de las placas de baldosas elaboradas con PET reciclado?
- ¿Es posible cubrir la demanda energética del prototipo de máquina mediante el sistema solar fotovoltaico aislado?
- ¿Será posible realizar el análisis económico mediante la determinación del costo de producción de baldosas e indicadores financieros a nivel del prototipo de máquina?

## **1.2 Objetivos de la investigación**

### **1.2.1 Objetivo general**

Diseñar, construir y evaluar un Prototipo de máquina que funciona con energía solar fotovoltaica para la transformación de botellas de PET en placas de baldosas en Ayabacas – UNAJ.

### **1.2.2 Objetivos específicos**

- Determinar el moldeo y el espesor de las placas de baldosas mediante la resistencia y la temperatura de botellas PET en el prototipo de máquina.
- Calcular la producción de energía solar fotovoltaica necesaria para suministrar el prototipo de máquina de transformación de botellas PET.
- Realizar un análisis económico para determinar con precisión el costo de producción de las baldosas obtenidas a nivel del prototipo de máquina.

### **1.3 Justificación de la investigación**

#### **1.3.1 Justificación técnica**

La implementación de un prototipo para producir baldosas a base de botellas de plástico utilizando energía fotovoltaica presenta varias ventajas técnicas. En primer lugar, el uso de botellas de plástico recicladas como materia prima contribuye a la reducción de residuos plásticos y fomenta la economía circular. Además, la producción de baldosas con este material es una alternativa sostenible y de bajo costo en comparación con otros materiales tradicionales. (Bolaños, 2021).

Por otra parte, incorporar la energía fotovoltaica a la fabricación ofrece una fuente de energía limpia y renovable para operar el prototipo. Esto posibilita disminuir la dependencia de fuentes de energía no renovables y reducir los gases de efecto invernadero emitidos durante la producción de energía convencional. La energía fotovoltaica es también una tecnología que ya ha alcanzado la madurez y está disponible en gran medida, lo cual simplifica su aplicación en el prototipo. (Castejón & Santamaria, 2010).

#### **1.3.2 Justificación económica**

Desde una Perspectiva económica, el proyecto presenta diversas ventajas. El empleo de botellas de plástico recicladas como materia prima contribuye a la reducción de los costos de producción en comparación con el uso de materiales convencionales. Las botellas de plástico recicladas suelen estar ampliamente disponibles y son relativamente económicas, lo que puede permitir una reducción significativa en los costos de adquisición de materiales; como Delgado et al. (2020) señala que los proyectos de reciclaje de PET generan insumos de bajo costo y permiten obtener productos comercializables con una inversión inicial reducida.

Es posible disminuir la dependencia de las fuentes convencionales de energía y evitar los gastos relacionados con la compra de electricidad a través de la red al integrar energía fotovoltaica en el proceso productivo. Si bien puede ser importante la inversión inicial en infraestructura fotovoltaica, a largo plazo, producir energía renovable puede contribuir a disminuir los costos operativos y hacer más lucrativo el procedimiento de fabricación de baldosas.

#### **1.3.3 Justificación ambiental**

La propuesta de diseño y elaboración de un prototipo que convertirá botellas PET en

placas de baldosas impulsadas por energía solar fotovoltaica es una solución integral y sostenible. La reutilización de botellas PET recicladas para fabricar baldosas permite afrontar el problema de la contaminación por plásticos directamente, disminuyendo la acumulación de residuos en los vertederos y preservando los ecosistemas. La aplicación de energía solar fotovoltaica disminuye las emisiones de gases de efecto invernadero, lo que fomenta la lucha contra el cambio climático; al mismo tiempo, esta iniciativa ayuda a preservar recursos al reducir la extracción de materiales no renovables. Asimismo, el proyecto resalta la conversión de residuos en productos útiles y promueve una administración más eficiente y consciente de los desechos, al promover prácticas sostenibles y la economía circular. Como el reciclaje de plástico PET es un método clave para reducir el impacto ambiental que resulta de los desechos sólidos. En el contexto peruano, el MINAM (2020) indica que el plástico representa uno de los residuos más problemáticos y con menor porcentaje de reciclaje, lo que refuerza la necesidad de iniciativas tecnológicas para su valorización

#### **1.3.4 Justificación social**

Por lo que el desarrollo de un prototipo para producir baldosas a base de botellas de plástico con energía fotovoltaica tiene un impacto social significativo. En primer lugar, al utilizar botellas de plástico recicladas como materia prima, el proyecto contribuye a la reducción de la contaminación ambiental y promueve prácticas sostenibles; como se evidencia en estudios como el de Reina (2020), quien señala que la transformación de plásticos contribuye a mejorar la gestión de residuos en ciudades latinoamericanas y fomenta prácticas comunitarias responsables. Esto puede generar conciencia sobre la importancia del reciclaje y fomentar la participación de la comunidad en iniciativas de conservación del medio ambiente. Además, la fabricación de baldosas asequibles y resistentes a partir de botellas de plástico recicladas podría tener un impacto positivo en la calidad de vida de las comunidades de bajos recursos. Estas baldosas podrían utilizarse en la construcción de viviendas, calles y espacios públicos, proporcionando una alternativa económica y duradera a los materiales convencionales. Esto podría mejorar la infraestructura local y promover el desarrollo sostenible en áreas desfavorecidas.

## **CAPÍTULO II**

### **REVISIÓN DE LA LITERATURA**

El siguiente capítulo presenta una revisión de la literatura pertinente para la realización del presente proyecto de investigación.

#### **2.1 Antecedentes**

##### **2.1.1 Internacional**

En Latinoamérica, tenemos al país de Colombia en Bucaramanga con el proyecto de Gutierrez & Rangel (2005), Con el fin de mejorar el producto del moldeo plástico, se llevó a cabo un análisis térmico y estructural en un molde para inyección de plástico con el propósito de identificar sus puntos críticos y diseñar soluciones para elevar la calidad. A través de simulaciones, diseñaron diversos moldes y hallaron que las deformaciones estructurales en todas las piezas eran bastante reducidas, alrededor de 10 micrómetros, y que estas alteraciones no representan un inconveniente para la utilización de este molde, cuyo objetivo es producir un tarro para grasa. Siendo lo Ideal, se permite que la compañía esté inyectando piezas para aviones en este momento.

En Pamplona (España), Andrés & Ugalde (2012) diseñaron un molde para fabricar baldosas PET mediante inyección, empleando SolidWorks y Moldflow para simular el proceso en un inyector. Obtuvieron resultados satisfactorios a 200 °C, sustentados en un diseño industrial de 2 cm de espesor que no requirió canales de ventilación por las tolerancias del molde. Si bien su estudio muestra una metodología clara de diseño mecánico y simulación computacional, el prototipo está pensado para una escala industrial, no experimental, y depende de maquinaria de inyección de alta capacidad, lo que limita su aplicabilidad en entornos de bajo costo como el del presente trabajo.

En la Universidad Antonio Nariño, Guio & Ruiz (2014) desarrollaron una investigación orientada al diseño y fabricación de un prototipo de inyectora para procesar plástico PET reciclado. El estudio se centró en establecer los parámetros mecánicos y térmicos necesarios para garantizar un adecuado proceso de extrusión, seleccionando como método principal el sistema de tornillo sin fin debido a su eficiencia en el mezclado y transporte del material plástico. Para el diseño del prototipo se empleó el software Autodesk Inventor, mediante el cual se realizaron los análisis de esfuerzos, simulación de movimientos y optimización geométrica del mecanismo de extrusión. Los autores concluyen que el sistema de extrusión es altamente favorable para la transformación del PET, ya que garantiza fluidez del material fundido,

estabilidad térmica y calidad en el producto final.

En México, Sánchez et al. (2015), pertenecientes a la Universidad Autónoma de Ciudad Juárez, llevaron a cabo el diseño de un prototipo de máquina de moldeo por inyección para la fabricación de piezas plásticas destinadas a parafernalia. Utilizaron el software SolidWorks para modelar el prototipo, permitiendo analizar la distribución térmica, puntos de inyección y resistencia de los moldes. Durante la fase experimental, trabajaron con plástico PET reciclado sometido a temperaturas cercanas a los 350 °C, valor requerido para garantizar una plastificación homogénea en procesos de inyección de alta presión. Los resultados mostraron un prototipo funcional capaz de obtener piezas con buena definición geométrica y estabilidad mecánica.

En la Universidad Laica Vicente Rocafuerte de Guayaquil, Dueñas & Vera (2017) desarrollaron un prototipo de baldosa para piso empleando plástico PET reciclado combinado con cascarilla de arroz. Su estudio consistió en formular distintas mezclas (M1, M2, M3 y M4) con proporciones variables de PET triturado y cascarilla de arroz con el fin de determinar cuál composición cumplía de manera más adecuada la normativa técnica ecuatoriana INEN 658 para baldosas. Aunque su enfoque es pertinente al estudio de baldosas, utilizan una mezcla compuesta y no PET puro, lo que genera resultados mecánicos distintos y limita la comparación directa. Su contribución recae en mostrar la viabilidad del PET como insumo constructivo, además de orientar sobre métodos de ensayo aplicables. Las muestras fueron sometidas por un método de compresión, absorción, dureza y resistencia al impacto. Los autores concluyeron que la mezcla M4 presentó el mejor desempeño mecánico, mostrando valores de resistencia y durabilidad cercanos a los exigidos por la norma, lo que valida el PET como un insumo viable para materiales de construcción.

En Colombia, el estudio realizado por Salazar et al. (2018) en la Universidad Nacional de Colombia abordó la transformación de residuos plásticos reciclados para la elaboración de baldosas plásticas destinadas a aplicaciones arquitectónicas. El proyecto incluyó el diseño y fabricación de moldes especializados, la selección adecuada del tamaño de triturado que es menor a 1 cm; además que nos indica de un precalentamiento a 160 °C por un periodo de 30 minutos; además que para su molde 45 x 45 cm se requieren de 250g; para luego fundirse a un 255 °C y luego para garantizar la fusión uniforme del material. El propósito central era demostrar que los residuos plásticos, habitualmente desechados, pueden convertirse en productos de valor agregado que disminuyen costos de producción y contribuyen a la sostenibilidad ambiental. Los resultados indicaron que las baldosas obtenidas presentan una

resistencia aceptable para aplicaciones básicas, además de un acabado superficial adecuado para su uso en interiores.

**Figura 1**

*Fundido de las muestras de PET en el horno microondas*



*Nota.* Extraído de los resultados de la investigación (Montero et al., 2021).

**Figura 2**

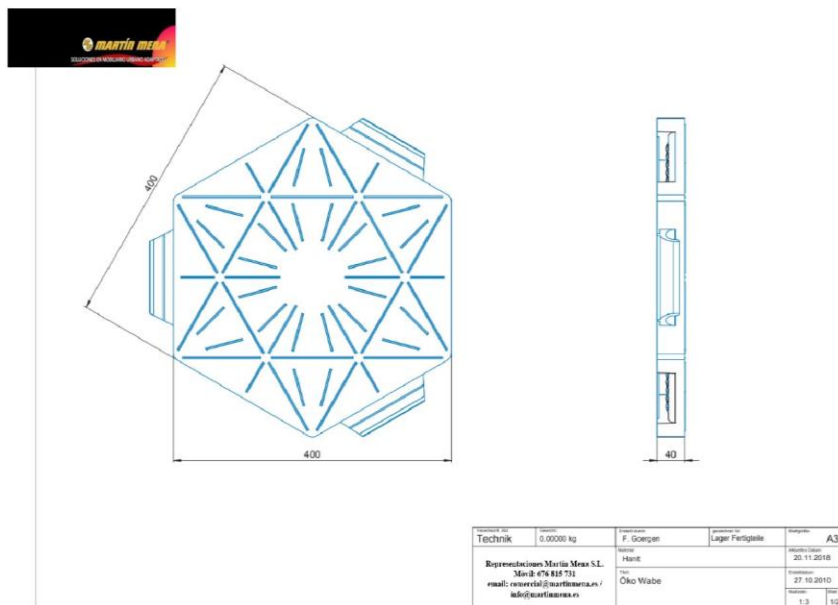
*Muestra del moldeo de la baldosa; con Cascarilla de arroz y plástico PET*



*Nota.* Extraído del proceso de moldeo (Dueñas & Vera, 2017).

### Figura 3

Plano del molde y diseño de la Eco-baldosa hecho de plástico en España.



Nota. Diseño de molde para sus baldosas (Mena, 2018)

### Figura 4

Baldosa Eco-plástico en España para piso.



Nota. Instalación de las baldosas (Mena, 2018)

Sánchez & Castellanos (2020), en Bogotá, elaboraron una tableta para enchape de pared fabricada exclusivamente con plástico de botellas recicladas. Determinaron que el triturado adecuado debe ser menor a 1 cm para garantizar compactación. Aunque su proyecto se orienta a materiales para construcción, por lo que no aborda temperaturas ni parámetros térmicos específicos, dejando un vacío en cuanto al comportamiento del PET fundido. Su principal aporte es la relación entre granulometría del triturado y calidad del producto final, relevante para la preparación del material en el presente prototipo.

Montero et al. (2021), en Madrid (España), desarrollaron el proyecto Plastic Matrix orientado a obtener un tejido plástico a partir del PET presente por método de radiografías. Evaluaron el comportamiento térmico del material entre 50 °C y 275 °C, identificando que a 220 °C se obtiene fusión sin carbonización. Aunque su aporte permite reconocer la temperatura óptima de fusión del PET, la investigación se enfoca en la fabricación de tejidos y no en piezas rígidas o baldosas, por lo que no aborda parámetros de compactación, presión o mecanizado aplicables a productos estructurales. Este antecedente aporta principalmente datos experimentales sobre rangos térmicos críticos para procesar PET.

### **2.1.2 Nacional**

En el ámbito nacional; en la ciudad de Lima se presentan las siguientes investigaciones, por lo que tenemos Delgado et al., (2020), quien realizó la fabricación de baldosas a base de plástico reciclado mediante una máquina de inyección de plástico teniendo buenos resultados y comercializando como material de construcción.

En una investigación complementaria, se diseñó un sistema de automatización industrial para la empresa Firings EIRL, el cual se basa en una máquina inyectora de plástico con la capacidad de producir piezas de polietileno. La Mecánica eléctrica e hidráulica presentan deficiencias en su adaptación para soportar los procesos fundamentales, como la calibración de resistencias y el enfriamiento de las piezas producidas. Esta situación provoca retrasos en la producción y obliga al operario a abordar manualmente estas deficiencias. Es por eso que se realizó un sistema de control en la unidad de inyección, un sistema de enfriamiento, y un cúmulo de interfaces visuales en tiempo real, con el propósito de reducir el tiempo perdido en la fabricación manual, y evitar accidentes eléctricos hacia el operario (Díaz & Rivera, 2021).

### **2.1.3 Regional**

En el ámbito local, tenemos información de la Municipalidad Provincial de San Román (2019), en su “Estudio de caracterización de Residuos Sólidos Municipales” nos dice que actualmente se viene trabajando en convenio con la asociación de recicladores Marbel Pachas, quienes tras realizar el recojo de los residuos inorgánicos, todo lo acumulado es trasladado a su planta para después pasar a la máquina prensadora y picadora que empaqueta botellas, cartones y otros para finalmente ser trasladada a la ciudad de Lima, lugar donde este material es reaprovechado en baldosas o material prima.

En la investigación Chullunquia (2024); con nombre de “Caracterización de residuos sólidos municipales en el distrito de SAN MIGUEL - PROVINCIA DE SAN ROMÁN - PUNO – 2024” nos menciona que se generan 33,5 toneladas diarias de residuos sólidos municipales, lo que equivale a un total de 12.245,18 toneladas anuales. En relación con la composición física de estos residuos, se observa que el componente más predominante corresponde a los residuos re aprovechables, los cuales constituyen el 77,71% del total. Del Del total mencionado, el 57,83% se clasifica como residuos orgánicos reutilizables, mientras que el 19,88% corresponde a residuos inorgánicos reutilizables. Es relevante destacar que únicamente el 22,29% de los residuos se clasifican como no reutilizables. La densidad promedio de los residuos sólidos generados en el distrito de San Miguel se establece en 148.38 kg/m<sup>3</sup> por día, mientras que la humedad promedio de dichos residuos es del 83.92%.

## **2.2 Bases teóricas de la investigación**

### **2.2.1 Botellas de plástico (PET)**

El tereftalato de polietileno (PET) constituye un polímero que se utiliza de manera habitual en la comercialización de productos líquidos. Este El compuesto se encuentra frecuentemente en productos tales como refrescos, bebidas energéticas, aceites y otros líquidos. Según Hachi & Rodríguez (2010), "Los plásticos se caracterizan por su alta relación entre resistencia y densidad, siendo excelentes aisladores térmicos y eléctricos con una buena resistencia a los ácidos, álcalis y disolventes". En la página 24, se puede observar que los plásticos ofrecen comodidad en una amplia gama de objetos. El PET, uno de los plásticos más empleados, se ajusta a estas características.

**Tabla 1***Características Térmicas de las botellas PET.*

PROPIEDADES TERMICAS	
Calor específico (KJ, Kg <sup>-1</sup> , Kg <sup>-1</sup> )	1,2 - 1,35
Coefficiente de expansión térmica (x10 <sup>-6</sup> K <sup>-1</sup> )	20 - 80
Conductividad Térmica (WK <sup>-1</sup> 1 K <sup>-1</sup> )	0,15 - 0,4
Temperatura máxima de utilización (°C)	115 - 170
Temperatura mínima de utilización (°C)	(-40) - (-60)

*Nota.* Se expone las propiedades térmicas de las botellas PET (Sánchez, 2018).

Como se ve en el Tabla 1; Sanchez (2018); nos dice que el plástico PET su temperatura máxima de utilización como son las botellas es máxima de 170 °C; pero su punto de Fusión su temperatura viene a ser 180 a 260 °C según los antecedentes previos dependiendo el método de transformación del PET; y mayor a esa temperatura llega a emitir olores y tiene descomposición térmica.

### 2.2.2 Sistemas de transformación del plástico PET

La creciente preocupación por la acumulación de residuos plásticos y la búsqueda de materiales sostenibles en la industria de la construcción han impulsado el desarrollo de diversos sistemas y tecnologías para la transformación del Tereftalato de Polietileno (PET) reciclado. Estos procesos buscan revalorizar el PET, convirtiéndolo en productos útiles y duraderos que contribuyan a la economía circular y reduzcan el impacto ambiental.

#### A. Reciclaje y Preparación del PET

El primer paso fundamental en la transformación del PET es el reciclaje, este proceso implica la recolección, clasificación, trituración y lavado de los residuos plásticos como se aprecia en la Figura 5. Es crucial garantizar la pureza del material para evitar la incorporación de contaminantes que puedan afectar las propiedades del producto final. A pesar de su potencial, la eficiencia del reciclaje de PET aún enfrenta desafíos, con deficiencias en la recolección y la implementación de procesos de reciclaje, como se ha observado en estudios sobre la situación en ciudades según Castellanos & Prada, (2025). La competitividad en los centros de acopio de reciclaje PET también ha sido objeto de estudio, así como la gestión del plástico PET para su reutilización en fibras o materiales textiles como lo comenta Reina, (2020).

## Figura 5

### *Proceso de lavado y trituración del plástico*



*Nota.* Imagen referencial del proceso del lavado (GTA Ambiental; 2023)

<https://gtaambiental.com>

### **B. Métodos de Transformación de PET en Materiales de Construcción**

La transformación del PET en materiales de construcción se puede abordar mediante diversas técnicas, dependiendo de las propiedades deseadas del producto final. Estas técnicas, en general, buscan modificar la forma y estructura del PET para adecuarlo a las exigencias de durabilidad y resistencia del sector constructivo. El reciclado general del plástico PET es un campo activo de investigación (Bolaños, 2021). Estos métodos pueden ser:

- **Fusión y Moldeado (Termo-conformado):** Este método es fundamental para la fabricación de baldosas y otros elementos sólidos a partir de PET. Consiste en calentar el PET triturado obteniendo como resultado que de 50°C hasta 275°C se empieza a deshidratarse y derretir, como se mencionó en la sección 2.2.1) para que adquiera una consistencia plástica. Una vez fundido, el material se introduce en moldes donde se enfría y solidifica, adoptando la forma deseada. Este proceso es el principio rector detrás de la propuesta de este prototipo, donde la energía solar se utilizará para alcanzar las temperaturas necesarias para la plastificación y moldeado.
- **Incorporación como Agregado en Materiales Cementicios:** Una vía común de valorización del PET es su uso como agregado parcial o total en la fabricación de concreto, morteros o ladrillos. Investigaciones han explorado la creación de "eco-

ladrillos" que incorporan escoria de acero y PET reciclado, buscando alternativas sostenibles a los materiales tradicionales basados en arcilla (Reynaga & Rodriguez, 2022). De manera análoga, se ha llevado a cabo una investigación sobre la producción de bloques de concretos sostenibles mediante la incorporación de materiales reciclados, específicamente PET, según lo expuesto por Velásquez (2018). Estos Los enfoques tienen como objetivo la mejora de las propiedades mecánicas y térmicas de los materiales de construcción, al tiempo que se busca la reducción del consumo de recursos naturales y la disminución de la cantidad de residuos plásticos en el medio ambiente.

- **Extrusión:** Este proceso implica fundir el PET y forzarlo a través de un dado o boquilla para producir perfiles continuos, láminas o filamentos. Aunque más complejo para la fabricación de baldosas de forma directa, la extrusión es relevante para la producción de componentes intermedios que luego podrían ser utilizados en la construcción. Por ejemplo, el PET reciclado se ha explorado para la creación de fibras o materiales de uso textil, lo que sugiere su potencial para el refuerzo de otros materiales (Reina, 2020).
- **Materiales Compuestos:** El PET también puede ser parte de materiales compuestos, donde se combina con otras sustancias para mejorar sus propiedades. Un ejemplo es la aplicación de materiales compuestos a base de PET en sistemas de obra falsa, como alternativa a maderas vulnerables, destacando la versatilidad del PET para la creación de soluciones estructurales (Cubides, 2018).

### **C. Consideraciones de Diseño para la Transformación de PET**

Según (Delgado et al., 2020) para diseñar sistemas de transformación de PET para baldosas, es fundamental considerar varios factores:

- **Homogeneidad del Material:** La calidad del PET de entrada (limpieza, tamaño de partícula) es crucial para asegurar la uniformidad del producto final y evitar defectos en las baldosas.
- **Control de Temperatura:** Como se destacó en la sección 2.1, mantener la temperatura dentro del rango de fusión del PET es vital para su correcta plastificación sin degradación. Un control preciso de la temperatura, como el que se logrará con el controlador de temperatura en el prototipo, es esencial.
- **Aditivos y Refuerzos:** La incorporación de aditivos, como la masilla de pared es una

estrategia efectiva para mejorar las propiedades mecánicas del PET reciclado, dotando a las baldosas de la resistencia necesaria para su aplicación constructiva.

- **Diseño del Molde:** El diseño del molde debe permitir una fácil extracción de la baldosa y asegurar su geometría y acabado superficial.

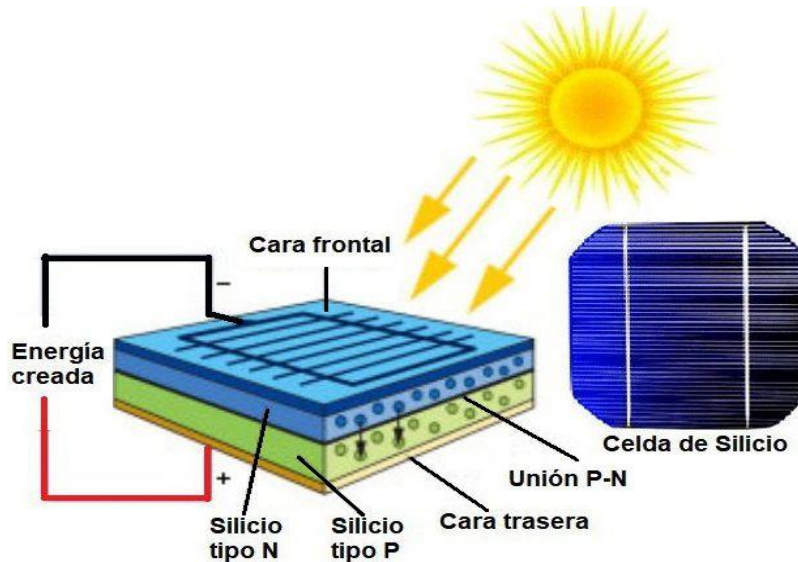
La integración de estos sistemas de transformación del PET, especialmente cuando se combinan con fuentes de energía renovable como la solar, representa un camino prometedor hacia la sostenibilidad en la producción de materiales de construcción

### **2.2.3 Energía Solar Fotovoltaica**

La energía solar, conforme a lo expuesto por Castejón & Santamaría (2010), se define como una modalidad de energía renovable que se genera a partir de la irradiación solar. La irradiación solar constituye una fuente de energía renovable que puede ser aprovechada a través de diversas tecnologías para la generación de electricidad, así como para aplicaciones de calefacción y refrigeración, entre otros usos. El aprovechamiento de la energía solar se lleva a cabo mediante dispositivos que capturan y transforman la radiación solar en energía utilizable. Entre estos dispositivos se encuentran los paneles solares fotovoltaicos y los colectores solares térmicos. Los paneles solares fotovoltaicos realizan la conversión directa de la luz solar en electricidad a través del efecto fotovoltaico. Por otro lado, los colectores solares térmicos tienen la función de capturar la radiación solar con el propósito de calentar un fluido, el cual se emplea en la generación de calor y energía térmica. La energía solar presenta diversas ventajas, entre las cuales se destacan su disponibilidad en múltiples ubicaciones, la ausencia de emisiones de gases contaminantes y de ruidos, así como su contribución a la disminución del consumo de combustibles fósiles y a los esfuerzos en la mitigación del cambio climático. El aprovechamiento de la energía solar conlleva diversos desafíos tanto técnicos como económicos. Entre estos, se destaca la necesidad de tecnologías que requieren una inversión significativa, así como la dependencia de las condiciones climáticas, las cuales pueden influir en la eficiencia de los sistemas de energía solar.

## Figura 6

### Partes del Funcionamiento de un Panel Solar



*Nota.* Imagen referencial extraído de la web. (Megasol, 2025)

<https://www.termassolaresmegasol.com>

#### 2.2.4 Irradiancia

La irradiancia es el cálculo de la potencia de los rayos solares que inciden sobre un área determinada, y se expresa normalmente en vatios por metro cuadrado ( $W/m^2$ ). Esta medida cambia durante el día y el año debido a elementos como la latitud, la altitud, la hora del día y las condiciones climáticas (como la polución y las nubes). La irradiancia es superior al amanecer o al atardecer por la posición del sol en el cielo durante el mediodía en un día despejado. Para comprender la disponibilidad inmediata de energía solar en un sitio específico, es esencial la irradiancia. (Europe, 2019).

#### 2.2.5 Tipos de radiación captada por los paneles solares

La radiación solar se define como el conjunto de radiaciones electromagnéticas emitidas por el sol, conforme a la ley de Planck. El espectro de la radiación abarca un intervalo que se extiende desde el infrarrojo hasta el ultravioleta. La irradiancia se define como la cantidad de energía recibida por unidad de tiempo y área en la superficie terrestre, y se cuantifica en vatios por metro cuadrado ( $W/m^2$ ).

La radiación solar representa el flujo de energía que llega a nuestro planeta en forma de ondas electromagnéticas de diversas frecuencias, y generalmente se cuantifica mediante el uso de un piranómetro, un instrumento especializado en estas mediciones (UCSM, 2016).

La radiación solar se clasifica en tres componentes fundamentales. La Radiación Directa se encuentra sujeta a procesos de absorción, y su intensidad puede experimentar variaciones significativas en función de la nubosidad presente en el momento de la medición, así como de la estación del año en la que se efectúa la observación. La segunda categoría, denominada Radiación Difusa, se refiere a la radiación solar que incide sobre la superficie terrestre como consecuencia de la dispersión generada por las nubes, partículas en la atmósfera y otros elementos presentes en este medio. Finalmente, la radiación de albedo, también conocida como radiación reflejada, se refiere a la fracción de la radiación solar que es reflejada por la superficie terrestre y otros cuerpos celestes. Este fenómeno es fundamental para comprender los balances energéticos en el sistema climático, ya que influye en la temperatura y en los patrones de circulación atmosférica. La medición y el análisis de la radiación de albedo son esenciales para la modelización climática y para la evaluación de los efectos del cambio climático en diferentes ecosistemas, ocurre principalmente en superficies claras, como las de color blanco, y posee importancia particular en la utilización de módulos bifaciales, que son eficientes para captar la energía solar reflejada. Esta clasificación de la radiación solar es clave para entender su comportamiento y aplicación en diversas tecnologías relacionadas con la energía solar. (Europe, 2019).

### **2.2.6 Radiación solar aplicada y Hora solar pico en la UNAJ – AYABACAS**

Según Yancachajlla, Quispe, & Vilca (2020), En la ciudad de Juliaca, ubicada en el altiplano peruano a unos 3824 metros de altitud sobre el nivel del mar, presenta condiciones geográficas y climáticas altamente propicias para la utilización de energía solar. Esta notable altitud permite que la radiación solar atraviese una menor cantidad de atmósfera, lo cual contribuye significativamente a la reducción de la pérdida de energía que podría ocurrir por dispersión y absorción. Asimismo, la proximidad de Juliaca al ecuador asegura que la radiación solar se mantenga constante a lo largo del año, lo que la convierte en un lugar ideal para el aprovechamiento de esta fuente energética renovable.

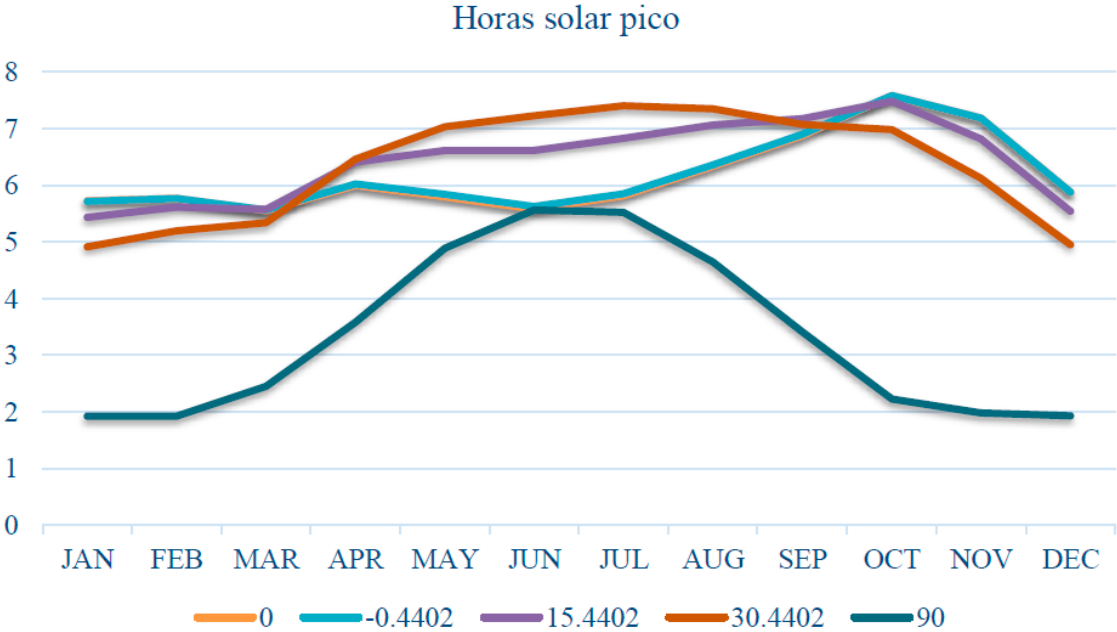
La Figura 7 analiza las “Horas Solar Pico” a lo largo del año para diferentes inclinaciones de paneles solares, desde enero hasta diciembre. Se representan varias inclinaciones con líneas de diferentes colores: azul para  $0^\circ$ , rojo para  $0.4402^\circ$ , verde para  $15.4402^\circ$ , morado para  $30.4402^\circ$  y celeste para  $90^\circ$ . En el gráfico, el eje horizontal (eje x) indica los meses del año,

mientras que el eje vertical (eje y) representa las horas solares pico, las cuales oscilan entre 0 y 8 horas. Este análisis es crucial para entender la efectividad de la captación solar según la inclinación de los paneles a lo largo del año.

A una inclinación de  $30.4402^\circ$ , la eficiencia de la radiación solar es óptima durante todo el año, alcanzando las horas solares pico más altas en verano. Las inclinaciones de  $0^\circ$  y  $90^\circ$  son menos eficientes, por lo que se sugiere mantener una inclinación de aproximadamente  $30.4402^\circ$  para maximizar la captación de energía solar.

**Figura 7**

*Horas Solar Pico durante el año a diferentes grados de inclinación*



*Nota.* Hora solar pico en sede Ayabacas - UNAJ (NASA METEOROLOGY, 2024).

En otro estudio de los compañeros Lipa & Huanca (2025); nos dice que las horas solar pico (HSP) en AYABACAS; según el estudio hecho por el programa Solar PVGIS y NASA es Máximo 7.63 en octubre y Mínimo de 6 en mayo como se ve en la Tabla 2.

**Tabla 2***Datos de la irradiación solar anual promedio.*

Mes	PV GIS				NASA	Prom.
	Energía [kWh/m <sup>2</sup> /m]	HSP	15° [kWh/m <sup>2</sup> /m]	HSP 15°	HSP	HSP
Enero	232.77	7.51	215.46	6.95	6.56	7.01
Febrero	208.32	7.44	197.87	7.07	6.61	7.04
Marzo	223.77	7.22	216.24	6.98	6.57	6.92
Abril	208.23	6.94	219.05	7.30	6.41	6.88
Mayo	178.49	5.76	206.05	6.65	5.61	6.00
Junio	176.68	5.89	216.31	7.21	5.63	6.24
Julio	184.77	5.96	222.13	7.17	5.82	6.32
Agosto	207.83	6.70	235.68	7.60	7.05	7.12
Septiembre	223.53	7.45	236.19	7.87	7.17	7.50
Octubre	240.30	7.75	237.06	7.65	7.48	7.63
Noviembre	232.61	7.75	217.35	7.25	6.81	7.27
Diciembre	229.61	7.41	226.00	7.29	6.54	7.08

*Nota.* Datos que fueron sacados de PVGIS y NASA (Lipa & Huanca, 2025).

Datos que nos servirán para realizar el Dimensionamiento de la Demanda Energética tomando el valor de 6 HSP poniéndonos en el peor de los casos con fines prácticos del dimensionamiento.

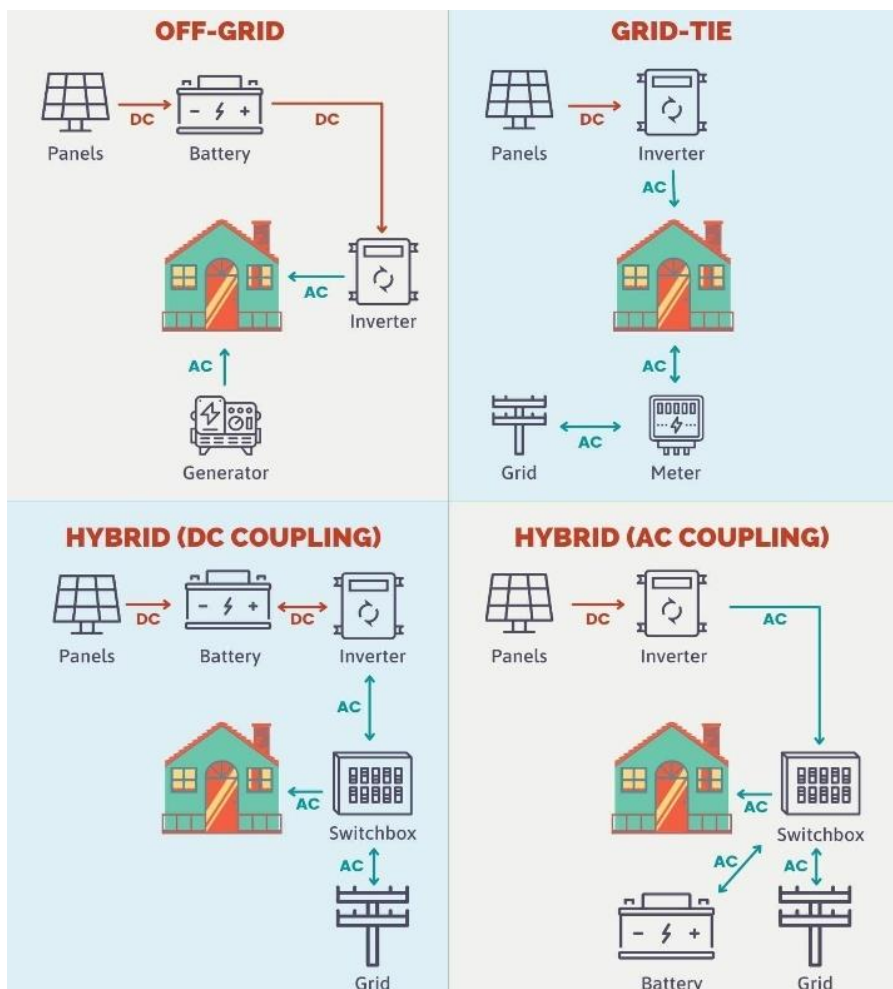
### 2.2.7 Sistemas Fotovoltaicos

Según Rodríguez & Vázquez (2018) los sistemas fotovoltaicos representan una tecnología crucial para la generación de energía renovable, transformando directamente la radiación solar en electricidad. Su relevancia se extiende desde la provisión de energía en zonas rurales hasta su integración en redes eléctricas interconectadas, contribuyendo significativamente a la transición energética. Un sistema fotovoltaico presenta una vida útil estimada entre 25 y 30 años; sin embargo, los paneles solares pueden continuar generando energía eléctrica por un periodo mayor, aunque con una disminución progresiva de su eficiencia. Por otro lado, componentes esenciales como los inversores tienen, en promedio, una duración aproximada de 15 años, por lo que es habitual su reemplazo antes que el de los paneles con el fin de asegurar el correcto funcionamiento del sistema. Los Sistemas fotovoltaicos, que son esenciales para la generación de energía renovable, se convierten la radiación solar en

electricidad y se clasifican principalmente en tres categorías: Existen tres tipos de sistemas de energía: los sistemas conectados a la red (on-grid), que inyectan la energía generada directamente a la red eléctrica; los sistemas autónomos o aislados (off-grid), que funcionan de manera independiente de la red y suelen incluir almacenamiento de energía en baterías; y los sistemas híbridos, que combinan la energía solar con otras fuentes de energía o con la red eléctrica, proporcionando mayor flexibilidad y confiabilidad, como se ilustra en la Figura 8. Su relevancia abarca desde la provisión de energía en áreas rurales hasta su integración en redes eléctricas interconectadas, lo que contribuye de manera significativa a la transición energética.

**Figura 8**

Diferencias de distintos tipos de sistemas fotovoltaicos on-grid, off-grid e híbrido



*Nota.* Imagen referencial; extraído de la Web (WHC Solar, 2025)

## 2.2.8 Constante Solar

Se representa como  $B_0$  y es la irradiancia que incide a una superficie perpendicular al sol al exterior de la capa atmosférica. Tiene un valor de unos  $1\ 353\ \text{W/m}^2$ . La irradiancia terrestre que reciben las placas fotovoltaicas se verá reducida por las variaciones en el

transcurso del día y la noche, presencia de nubes, ángulo de inclinación, orientación y suciedad (Europe, 2019).

## **2.3 Bases conceptuales de la investigación**

### **2.3.1 Voltaje**

La magnitud física que mide la energía potencial eléctrica por unidad de carga en un campo eléctrico se llama voltaje, o diferencia de potencial eléctrico. En palabras más sencillas, simboliza la "presión" o "fuerza" que mueve a los electrones por un conductor. Se mide en voltios (V) y es fundamental para el desempeño de cualquier circuito eléctrico, puesto que tiene la responsabilidad de definir la corriente eléctrica cuando hay un camino cerrado. (Floyd, 2013).

El voltaje puede ser de corriente continua (DC), en el cual el flujo de carga es unidireccional y constante, o de corriente alterna (AC), en el que la dirección del flujo de carga se invierte de manera periódica. La elección del tipo de voltaje depende de la aplicación, siendo el AC predominante en la distribución de energía y el DC común en dispositivos electrónicos (Boylestad, 2010).

### **2.3.2 Corriente Eléctrica**

La corriente eléctrica se define como la cantidad de carga eléctrica que circula a través de un conductor en un intervalo de tiempo determinado. Se define como la respuesta al voltaje aplicado en un circuito, la cual se cuantifica en amperios (A). Aunque en los metales los portadores de carga son generalmente electrones, no hay que olvidar que también pueden ser huecos en semiconductores o iones en electrolitos. (Serway & Jewett, 2014).

Se entiende por dirección convencional de la corriente aquella que seguirían las cargas positivas, es decir, se desplazarían desde el potencial más elevado al más bajo. La corriente alterna (AC) y la corriente continua (DC) constituyen los dos tipos fundamentales de corriente eléctrica. En la primera situación, el flujo de carga experimenta variaciones en su dirección de manera periódica; en la segunda, se mantiene invariable en una sola dirección. La corriente alterna se emplea extensamente para la transmisión de energía a grandes distancias, ya que es muy eficiente en la transformación de voltajes. (Giancoli, 2014).

### **2.3.3 Potencia**

La potencia eléctrica es el ritmo en el que la energía eléctrica se usa o se transfiere dentro de un circuito. La unidad de medida es el vatio (W) y su cálculo se realiza multiplicando la

corriente por el voltaje ( $P = V * I$ ). Simboliza la energía que un componente eléctrico utiliza o proporciona, o cuánto trabajo se lleva a cabo en una unidad de tiempo. (Alexander & Sadiku, 2013).

En sistemas de corriente alterna, se distingue entre potencia real (o activa), potencia reactiva y potencia aparente. Posible adición: La potencia activa es la potencia útil que realiza trabajo, mientras que la potencia reactiva oscila entre la fuente y la carga sin producir trabajo neto, pero es necesaria para establecer campos magnéticos en componentes como motores e inductores. La potencia aparente es la suma vectorial de la potencia activa y reactiva y es la que miden los transformadores y los generadores (Wildi, 2007).

#### **2.3.4 Temperatura**

La temperatura es una magnitud física que expresa el grado o nivel de calor de los cuerpos o del ambiente, y su relación con la energía interna de un sistema. Es una medida de la energía cinética promedio de las partículas de una sustancia (Young & Freedman, 2013). Se mide comúnmente en grados Celsius ( $^{\circ}\text{C}$ ), Fahrenheit ( $^{\circ}\text{F}$ ) o Kelvin (K). En el contexto de sistemas eléctricos y electrónicos, la temperatura es un factor crítico que afecta el rendimiento, la eficiencia y la vida útil de los componentes.

El aumento excesivo de temperatura en componentes eléctricos puede llevar a una degradación acelerada de los materiales, cambios en la resistencia, fallas prematuras y riesgos de seguridad. Por ello, la gestión térmica es fundamental en el diseño y operación de sistemas electrónicos y eléctricos, incluyendo la disipación de calor mediante ventilación, disipadores o refrigeración activa (Cengel & Ghajar, 2015).

#### **2.3.5 Cableado**

El cableado se refiere al conjunto de conductores eléctricos, aislantes y accesorios que permiten la transmisión de energía eléctrica o señales de un punto a otro dentro de un sistema o instalación. La selección adecuada del cableado es crucial para garantizar la seguridad, la eficiencia y el correcto funcionamiento del sistema, considerando factores como la corriente máxima que soportará, la caída de tensión, el aislamiento y la resistencia a factores ambientales (National Fire Protection Association, 2023).

Los cables se caracterizan por su calibre (AWG o  $\text{mm}^2$ ), el material conductor (comúnmente cobre o aluminio), el tipo de aislamiento (PVC, XLPE, etc.) y la cantidad de conductores. Un dimensionamiento incorrecto del cableado puede resultar en sobrecalentamiento, pérdidas de energía significativas, y riesgo de incendio. Las normativas eléctricas locales e internacionales, como el Código Eléctrico Nacional (NEC).

### 2.3.6 Emisividad Térmica

La emisividad térmica ( $\epsilon$ ) es una cualidad de radiación que tienen los materiales en su superficie, la cual indica qué tan eficaz son al emitir energía térmica a través de la radiación. Es un motivo que no tiene dimensiones y compara la radiación de una superficie real con la de un cuerpo negro ideal a la misma temperatura; su rango es de 0 a 1. Un valor de 1 indica un emisor perfecto (cuerpo negro), mientras que un valor cercano a 0 indica que la superficie es un mal emisor (Incropera et al., 2013).

La emisividad depende de la naturaleza del material, la rugosidad de su superficie, la temperatura y la longitud de onda de la radiación. Superficies pulidas y reflectantes, como los metales brillantes, tienen baja emisividad, mientras que superficies ásperas y oscuras, como la pintura negra mate, tienen alta emisividad. Esta propiedad es fundamental en aplicaciones de transferencia de calor por radiación, como el diseño de disipadores de calor o la medición de temperatura sin contacto mediante termografía infrarroja (Siegel & Howell, 2002).

### 2.3.7 Transferencia de Calor en Hornos industriales

La transferencia de calor se define como el proceso físico a través del cual la energía térmica se transfiere entre sistemas o entre distintas regiones de un mismo sistema, como resultado de una diferencia de temperatura. La conducción, la convección y la radiación constituyen tres métodos fundamentales para la transferencia de calor. Cengel & Ghajar, (2015). Bergman et al., (2011); nos comenta que los mecanismos fundamentales que rigen esta transferencia son la conducción, la convección y la radiación, los cuales interactúan de manera compleja dentro del volumen del horno y con los materiales procesados.

- A. Conducción: Se refiere a la transferencia de energía térmica a través del contacto directo entre partículas adyacentes. En un horno, la conducción es fundamental en:
- Paredes del horno: El calor se transfiere desde el interior caliente del horno hacia el exterior más frío a través de los materiales aislantes y refractarios que constituyen la estructura del horno.
  - Materiales en proceso: El calor se conduce desde la superficie exterior de los objetos hacia su interior, permitiendo que todo el volumen alcance la temperatura deseada.
- B. Convección: Significa que el calor se transfiere por medio de la circulación de un fluido, ya sea líquido o gaseoso. En la mayor parte de los hornos, el aire caliente y los gases generados durante la combustión son los fluidos más importantes.
- Convección natural: Ocurre debido a diferencias de densidad causadas por gradientes

de temperatura; los gases calientes ascienden y los más fríos descienden, creando corrientes.

- Convección forzada: Se utiliza activamente mediante ventiladores o sopladores para mover el aire o los gases de combustión, mejorando significativamente la uniformidad y eficiencia de la transferencia de calor a los productos. Es vital para reducir el tiempo de calentamiento y asegurar un tratamiento homogéneo.

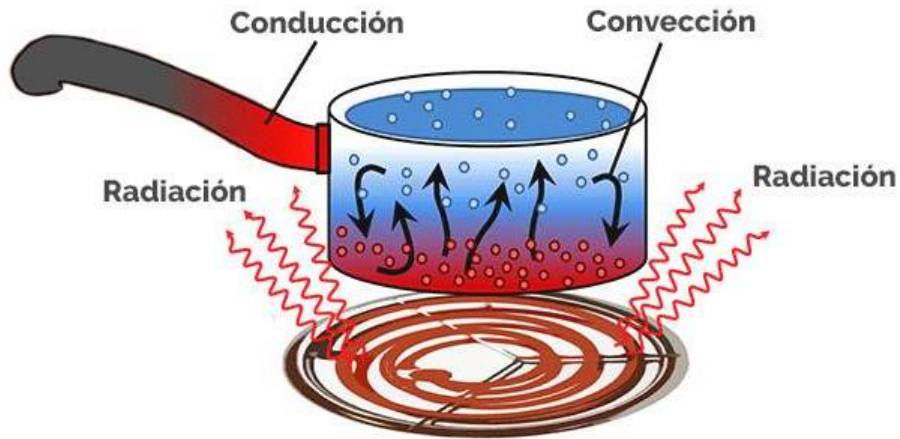
C. Radiación: Es la transmisión de energía mediante ondas electromagnéticas, que no necesitan un soporte físico para extenderse. Este mecanismo es particularmente significativo en hornos que operan a altas temperaturas.

- Superficies calientes del horno: Las paredes internas, el techo y el quemador del horno irradian calor directamente hacia los objetos en su interior. Gases de combustión: Algunos gases, como el dióxido de carbono y el vapor de agua, presentes en los productos de la combustión, también emiten y absorben radiación.
- Emisividad de los materiales: La capacidad de los materiales dentro del horno para absorber y emitir radiación es un factor crítico en la eficiencia del proceso. Los materiales más oscuros o con superficies rugosas tienden a absorber más radiación.

La interacción sinérgica de estos tres mecanismos es lo que define el rendimiento térmico de un horno. Un diseño óptimo de un horno debe considerar cómo maximizar la eficiencia de cada uno de estos modos de transferencia de calor, minimizar las pérdidas y asegurar la uniformidad térmica para el producto final. Comprender estas interacciones es esencial para modelar, diseñar y optimizar el funcionamiento de cualquier horno industrial.

## Figura 9

Imagen representativa de los tres tipos de Transferencia de Calor



*Nota.* Imagen referencial, (Cengel & Ghajar,2015).

### 2.3.8 Microcontroladores

Un microcontrolador es un circuito integrado que contiene una unidad central de procesamiento (CPU), memoria (RAM, ROM, EEPROM) y periféricos de entrada/salida (I/O) en un solo chip. Están diseñados para controlar operaciones específicas en sistemas embebidos, siendo altamente eficientes en el consumo de energía y compactos en tamaño. La plataforma Arduino, por ejemplo, se basa en microcontroladores AVR de Atmel (actualmente Microchip) o ARM, facilitando la interacción con el mundo físico a través de sensores y actuadores (Predko, 2007).

## Figura 10

*Microcontrolador, diseñado para ejecutar tareas en específicas.*



*Nota.* Imagen referencial; (Naylamp mechatronics, 2023)

### 2.3.9 Diodos de Temperatura Resistivos (RTD)

Los Diodos de Temperatura Resistivos (RTD, por sus siglas en inglés, Resistance Temperature Detector) son sensores de temperatura que operan bajo el principio de que la resistencia eléctrica de un metal puro (como el platino, níquel o cobre) cambia de manera predecible y lineal con la temperatura. Los RTD de platino (Pt100, Pt1000) son los más comunes debido a su alta precisión, estabilidad a largo plazo y amplio rango de temperatura operativa, lo que los hace ideales para aplicaciones industriales críticas donde la exactitud es fundamental (Bentley, 2005).

### 2.3.10 Control PID

El control PID (Proporcional-Integral-Derivativo) es un método de retroalimentación que se emplea con frecuencia en la regulación de variables de proceso, como pueden ser la presión, el flujo, la temperatura o la velocidad, en sistemas industriales. El controlador PID determina un valor de "error" al reiniciar una variable de proceso medida del punto de ajuste o setpoint que se desea. El controlador intenta minimizar este error ajustando la salida del sistema. El término Proporcional responde al error actual, el Integral responde a la suma de errores pasados y el Derivativo predice errores futuros basándose en la tasa de cambio actual del error (Ogata, 2010).

### **2.3.11 Resistencias Calefactoras Industriales**

Las resistencias calefactoras industriales, también conocidas como calentadores eléctricos, son dispositivos que convierten la energía eléctrica en energía térmica (calor) mediante el efecto Joule (también conocido como efecto resistivo). Son componentes esenciales en una amplia gama de aplicaciones industriales, incluyendo procesos de calentamiento de fluidos, secado, curado y mantenimiento de temperatura. Estas resistencias están diseñadas para soportar condiciones operativas rigurosas y se fabrican en diversas configuraciones, como tubulares, de cartucho, de banda o de inmersión, cada una optimizada para transferir calor de manera eficiente a un medio específico (líquido, gas o sólido) (Serway & Jewett, 2014).

## **CAPITULO III**

### **MATERIALES Y MÉTODOS**

#### **3.1 Formulación de hipótesis**

Bajo el contexto del estudio realizado se plantea las siguientes hipótesis:

##### **3.1.1 Hipótesis general**

La implementación del prototipo Ovenier, alimentado mediante energía solar fotovoltaica, permite alcanzar las condiciones térmicas necesarias para la transformación de botellas de PET en baldosas, garantizando un funcionamiento técnicamente viable y energéticamente autosostenible en la sede Ayabacas de la Universidad Nacional de Juliaca.

##### **3.1.2 Hipótesis específico**

- El prototipo Ovenier alcanza temperaturas superiores a 180 °C de manera estable, permitiendo el correcto proceso de fusión y moldeo del PET para la elaboración de baldosas.
- El sistema fotovoltaico dimensionado suministra la energía eléctrica requerida para el funcionamiento continuo del prototipo Ovenier durante la jornada de operación establecida.
- El proceso de transformación térmica de botellas PET mediante el prototipo Ovenier presenta indicadores económicos favorables, evidenciando su viabilidad para aplicaciones a pequeña escala.

#### **3.2 Metodología de la investigación**

##### **3.2.1 Tipo, nivel y diseño de investigación.**

- Tipo de investigación: Investigación cuantitativa, ya que se llevará a cabo un riguroso cálculo de dimensionamiento de los módulos fotovoltaicos. Este cálculo resultará crucial para asegurar el óptimo funcionamiento del prototipo de la máquina destinada a la transformación de botellas PET.
- Nivel de investigación: Descriptivo, ya que permitirá describir las características y el funcionamiento del prototipo.
- Diseño de la investigación: Diseño no experimental, porque el prototipo será a una determinada medida.



bajo condiciones reales de operación. Dichas pruebas permitieron registrar variables como temperatura interna, consumo energético, generación fotovoltaica y calidad del producto final obtenido.

### 3.3 Recursos, Materiales y/o Equipos

#### 3.3.1 Ubicación del proyecto

El proyecto de investigación se realizó en 2 etapas:

##### A. Primera Etapa

Esta primera etapa para el diseño y construcción del prototipo se realizó en una vivienda de uno de los participantes del proyecto que se encuentra ubicada en el distrito de Juliaca, se ubica en Jr. Sillustani N° 255. Ver la Figura 12, se observa el lugar de la vivienda mencionada.

#### Figura 12

*Localización de la vivienda (Vivienda de la Tesista)*



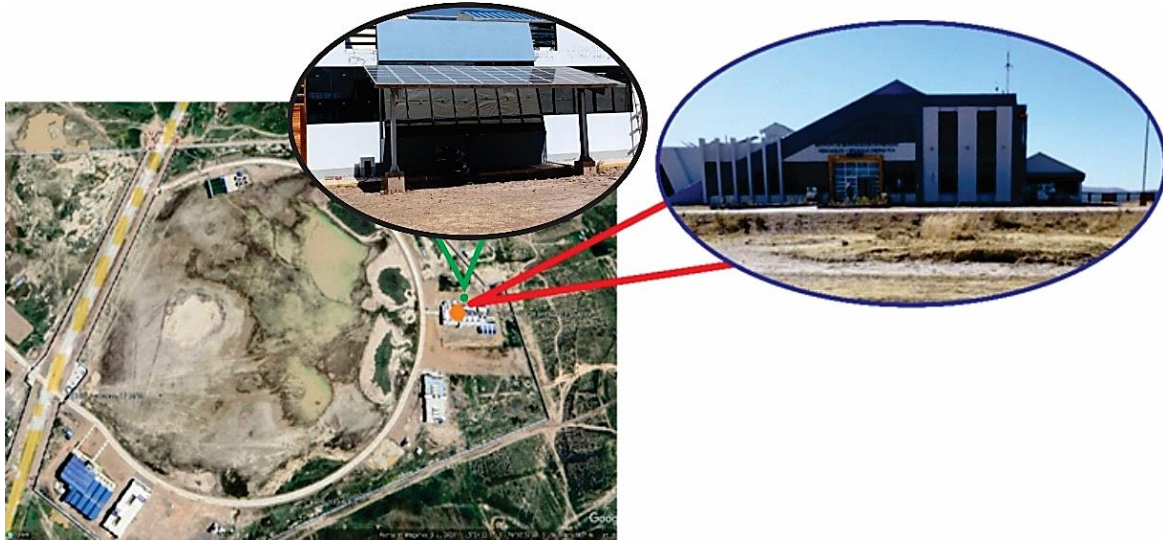
*Nota.* Vivienda ubicada Jr. Sillustani N° 255 (Elaboración propia, 2025)

##### B. Segunda Etapa

La segunda etapa que pertenece al dimensionamiento e implementación del Sistema Fotovoltaico Aislado, que se realizó en el campus universitario de la Universidad Nacional de Juliaca (UNAJ), en su sede de Ayabacas, está situada en el distrito de San Miguel, a una altitud de 3,833 msnm. En la Figura 13, se presenta la ubicación de la Escuela Profesional de Ingeniería en Energías Renovables (EPIER) de la Universidad Nacional de Juliaca (UNAJ).

### Figura 13

*Campus de la UNAJ – Ayabacas, localización de la EPIER y Sistema Fotovoltaico Solar en la EPIER*



*Nota.* Imágenes tomadas por los tesisistas y sacadas de Google Earth (Elaboración propia, 2025)

### 3.3.2 Materiales e instrumentos para la estructura y fabricación del Prototipo

#### 3.3.2.1 Materiales para la construcción del prototipo.

**Tabla 3**

*Tabla de materiales de construcción que se usó para el prototipo.*

<b>Nombre</b>	<b>Descripción</b>	<b>Imagen</b>
<b>Plancha de acero de 1mm</b>	Plancha de acero de 1mm utilizada para la estructura interna del prototipo.	
<b>Fibra de vidrio</b>	Aislante que se utilizó en las paredes del prototipo	
<b>Angulo de fierro</b>	Utilizado para el soporte del horno prototipo	
<b>Plancha de acero inoxidable</b>	Utilizado para armar la cubierta del prototipo y también la parte interna, dentro de ambas capas se colocó la fibra de vidrio.	

*Nota.* Esta tabla muestra los materiales que se utilizaron para la construcción del prototipo (Elaboración propia, 2025)

### **3.3.2.2 Instrumentos**

Herramientas de Instalación: Las herramientas necesarias para el diseño y construcción de un prototipo de máquina para la transformación de botellas PET en placas de baldosas accionado con energía solar fotovoltaica utilizadas son las siguientes:

- Llave inglesa y llave de tubo: Para apretar tuercas y sujetar los soportes y estructuras.
- Destornilladores: Para fijar conectar cables.
- Taladro: Para perforar agujeros en la estructura de montaje y en la superficie donde se pongan las computadoras.
- Sierra para metal o sierra circular: Para cortar y ajustar las estructuras de montaje según sea necesario.
- Multímetro: Para verificar la tensión, corriente, continuidad, entre otros en el sistema

y garantizar una instalación segura.

- Pinzas de cable: Para pelar y conectar los cables eléctricos.
- Cortador de cable: Para cortar cables a la longitud adecuada.
- Cinta aislante: Para asegurar las conexiones eléctricas y protegerlas contra la intemperie.
- Herramientas de medición: Cinta métrica y herramientas similares para tomar medidas.
- Máquina de soldar: Para unir los metales del armazón del prototipo máquina.
- Equipo de seguridad personal: Esto incluye cascos, guantes, gafas de seguridad y botas resistentes.

### 3.3.3 Materiales y componentes Eléctricos del Prototipo

Se desarrollo el diseño del diagrama del sistema electrónico de acuerdo a los componentes necesarios para la visualización de la captación de temperatura de acuerdo al tiempo. En dicho diseño se especificaron los componentes y conexiones necesarias para el correcto funcionamiento del prototipo.

Los componentes utilizados son los siguientes:

- **Placa Arduino:** Placa con un microcontrolador que actúa como el cerebro de un sistema; incluye: conector USB para programar la placa desde una computadora; fuente de alimentación de 5V y también pines digitales y analógicos para conectar sensores, Leds, motores, etc. Ver Figura 14.

**Figura 14**

*Arduino UNO*

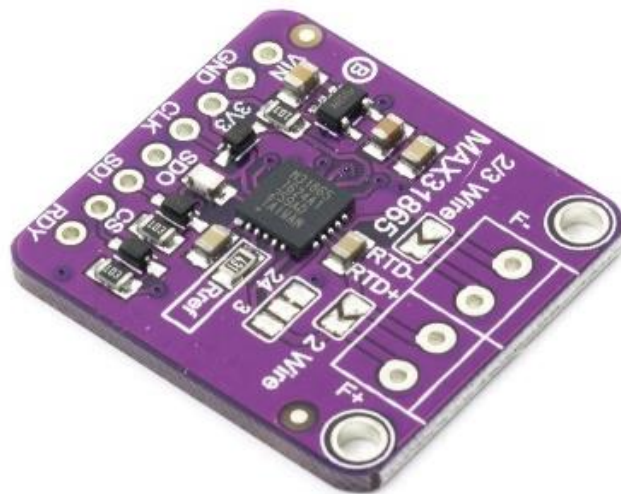


*Nota.* Imagen del Arduino; (Naylamp mechatronics, 2023)

- **Max 31865:** El módulo transmisor MAX31865 posibilita la obtención de las lecturas de temperatura de los sensores RTD PT100 de manera fácil y fiable. El módulo se ocupa de llevar a cabo la lectura de resistencia del sensor PT100 y transformar esta señal analógica en un dato digital que pueda ser procesado por un microcontrolador como se ve en la Figura 15.

**Figura 15**

Transmisor MAX31865



*Nota.* Imagen referencial; (Naylamp mechatronics, 2023)

- **Pulsador:** El pulsador es uno de los componentes más básicos que sirve para enviar una señal cuando el usuario lo presiona.

**Figura 16**

*Pulsador para el reinicio automático*



*Nota.* Imagen referencial; (Naylamp mechatronics, 2023)

- **Relé:** Interruptor eléctrico controlado electrónicamente que permite que una señal de baja potencia controle un circuito de alta potencia, ver Figura 17.

### Figura 17

*Relé interruptor para bajar la potencia.*



*Nota.* Imagen referencial del relé; (Naylamp mechatronics, 2023).

- **Contactador:** Se trata de un interruptor electromecánico que tiene como función conectar o desconectar cargas eléctricas de alta potencia mediante una señal de control .de baja potencia, ver Figura 18.

### Figura 18

*Contactador como protección para las altas potencias*



*Nota.* Imagen referencial; (Naylamp mechatronics, 2023)

- **Resistencia Calorífica:** Es un elemento calefactor de hilo resistivo enrollado, calificado y usado para generar calor en procesos industriales gracias a su capacidad de soportar altas temperaturas, ver Figura 19 y ver tabla 4.

### Figura 19

*Resistencia Calorífica para moldear el plástico PET*



*Nota.* Imagen referencial de la resistencia; (Thermolaser Perú, 2025).

### Tabla 4

*Datos que nos da la Ficha Técnica de la Resistencia*

<b>Modelo</b>	<b>Tipo parrilla espiral</b>
<b>Potencia</b>	50W / 2000W
<b>Voltaje</b>	220 V
<b>Tolerancia de potencia</b>	+5% ó +-10%
<b>Temperatura de la resistencia</b>	0°C – 600°C
<b>Alambre Resistivo</b>	Nicron Marca VDM (Aleman) 80/20 (Ni/Cr)

*Nota.* Extraído de la ficha técnica (Thermolaser Peru, 2025).

Sensor PT100: Sensor de temperatura tipo RTD (Resistance temperatura detector), su resistencia aumenta de forma predecible con la temperatura.

## Figura 20

*Sensor PT100*



*Nota.* Sensor que mide la temperatura. (Naylamp mechatronics, 2023).

- Display LCD: Un display LCD (liquid crystal display) es un dispositivo electrónico que muestra información visual, como textos, número o símbolos. Ver Figura 21.

## Figura 21

*Display LCD*



*Nota.* Imagen del display LCD; (Naylamp mechatronics, 2023).

- Jumper: Cable hembra o macho que nos ayuda en los conexiones del Arduino con los demás componentes electrónicos.

## Figura 22

### *Cables Jumpers*



*Nota.* Imagen referencial; (Naylamp mechatronics, 2023).

### 3.3.4 Materiales y componentes del Sistema Fotovoltaico Aislado

#### 3.3.4.1 Módulos fotovoltaicos

La capacidad total del sistema fotovoltaico instalado es de 2.7 kWp. (kilovatios pico), que se compone de 54 módulos solares en total que han sido divididos estratégicamente en tres Strings. Cada uno de estos Strings está compuesto por 18 módulos solares, cada uno con una potencia individual de 50Wp, que en conjunto representa 2.7 kWp como se ve en la Figura 23.

## Figura 23

### *Generador Fotovoltaico de 2.7 kW.*



*Nota.* Generador de Bombeo Solar; implementado en las instalaciones de la UNAJ en los laboratorios de la EPIER (Elaboración propia, 2025).

Los paneles que se utilizaran, son pertenecientes a la EPIER, que tienen las siguientes características:

**Tabla 5**

*Características del módulo fotovoltaico*

<b>Modulo fotovoltaico A-SONE 50W</b>	
Modelo	AES18- 50M
Potencia maxima	50 W
Imp.	2.74A
Isc	2.79A
Vmp	18.25V
Voc	22.56V

*Nota.* Extraído de su Ficha técnica, (Felicity Solar, 2022)

### **3.3.4.2 Batería**

Las baterías de la serie LPBF están compuestas por celdas de Grado A, materiales de litio y fosfato de hierro, un BMS incorporado, hasta seis unidades en paralelo. Y varios certificados de la empresa FelicitySolar.

**Figura 24**

*Batería Solar LPBF48100-H*



*Nota.* Batería felicitysolar. (Felicity Solar, 2022)

La batería es perteneciente al laboratorio de fotovoltaica de la EPIER que tiene las siguientes especificaciones; ver Tabla 6:

**Tabla 6**

*Especificaciones de la Batería LPBF48100-M.*

<b>Modelo</b>	<b>LPBF48100-H</b>
<b>Capacidad</b>	5 KWH
<b>Voltaje nominal</b>	51.2 V
<b>Rango de voltaje</b>	48 – 57.6 V
<b>Output power recomendado</b>	2500W
<b>Output power MAX.</b>	5000W

*Nota.* Extraído de la Ficha Técnica, (Felicity Solar, 2022).

### **3.3.4.3 Inversor**

El Inversor Híbrido IVGM10048 da una elevada eficiencia que combina varias funciones en un solo dispositivo compacto. Este aparato reúne un cargador de baterías, un inversor potente y un cargador solar MPPT muy eficiente, asegurando así una gestión energética excelente. Asimismo, dispone de una interfaz intuitiva que facilita la modificación de parámetros como el rango de voltaje permitido, la prioridad entre la energía solar y la red eléctrica, así como la corriente de carga.

**Figura 25**

*Inversor Híbrido IVGM10048*



*Nota.* Inversor FelicitySolar. (Felicity Solar, 2022)

El inversor es perteneciente al laboratorio de fotovoltaica de la EPIER que tiene las siguientes especificaciones:

**Tabla 7**

*Especificaciones del Inversor Híbrido IVGM10048*

<b>Modelo</b>	<b>IVEM5048</b>
<b>Potencia de salida nominal (W)</b>	5000W
<b>Input frecuencia nominal</b>	50Hz / 60Hz
<b>Input voltaje nominal</b>	230 Vac
<b>Input voltaje MAX</b>	280 Vac
<b>Max. Carga corriente</b>	100A
<b>Voltaje mínimo</b>	125V

*Nota.* Ficha Técnica de la marca FelicitySolar. (Felicity Solar, 2022)

#### **3.3.4.4 Tablero de Control y Protección**

En Tablero de control y protección, para el correcto funcionamiento del Sistema Fotovoltaico Aislado se integraron los siguientes equipos como se ve en la Tabla 8.

**Tabla 8**

*Componentes de control y protección.*

<b>N°</b>	<b>Componentes</b>
2	Contactador 16A (sistema híbrido y sistema de bombeo)
2	ITM AC 18A (conexión a red y alimentación solar)
1	ITM DC 18A
1	SELECTOR 2 POLOS
6	FUSIBLES (1 par para cada string)

*Nota.* Componentes, (Elaboración Propia, 2025)

Lo cual son los siguientes:

- Contactor de 16 A: Dispositivo electromecánico que se usa para controlar el encendido y apagado de circuitos eléctricos de manera remota. Como se ve en la Figura 26.

## Figura 26

*Contactor 16A de la Marca ABB*



*Nota.* Contactor de 16 A. (Naylamp mechatronics, 2023).

- ITM en AC 18 A: Este es un dispositivo de seguridad automático que protege una instalación eléctrica contra fallas como sobrecargas y cortocircuitos, interrumpiendo el paso de la corriente cuando detecta un problema. Como Se ve en la Figura 27.

## Figura 27

*ITM en AC de la Marca Schneider.*



*Nota.* ITM en AC. (Naylamp mechatronics, 2023)

- ITM DC 18 A: Es un dispositivo de protección para circuitos eléctricos que interrumpe automáticamente el flujo de corriente en caso de sobrecargas o cortocircuitos. Ver Figura 28.

## Figura 28

*ITM EN DC de la Marca Schneider*



*Nota.* ITM en AC (Naylamp mechatronics, 2023)

- DPC EN DC: Es un dispositivo de protección de circuito diseñado para interrumpir corriente continua. Ver Figura 29.

## Figura 29

*Dispositivo de protección de circuito DC*



*Nota.* Dispositivo de protección (Naylamp mechatronics, 2023).

- DPC EN AC: Es un dispositivo de protección de circuito diseñado para interrumpir corriente continua. Ver Figura 30.

**Figura 30**

*Dispositivo de protección de circuito AC marcar FEOO.*



*Nota.* Dispositivo de protección. (Naylamp mechatronics, 2023)

- Selector 2 Polos: Dispositivo de control eléctrico que permite conmutar o seleccionar manualmente dos circuitos simultáneamente, así como en el proyecto utilizamos el selector para configurar el sistema híbrido y también el sistema de bombeo solar.

**Figura 31**

*Selector de 2 polos*



*Nota.* Selector 2 polos (Naylamp mechatronics, 2023)

- Fusibles: Dispositivo de protección eléctrica que se interpone en un circuito, así como en el tablero tenemos 3 strings, cada string es aproximado 1KW y en cada string tenemos conectado 2 portafusibles con su respectivo fusible como se ve la Figura 32.

## Figura 32

*Fusible de protección eléctrica.*



*Nota.* Fusible. (Naylamp mechatronics, 2023)

### 3.3.5 Softwares para el desarrollo

#### 3.3.5.1 Solidworks

SolidWorks permite crear modelos de piezas y ensamblajes, simular su funcionamiento y elaborar planos de fabricación; en otras palabras, es un programa que facilita el diseño asistido por computadora (CAD) en 3D. Integra modelado, simulación y gestión de datos para un proceso más eficaz, desde la concepción hasta la producción, por lo que es una herramienta fundamental en el sector para ingenieros y diseñadores en el desarrollo de productos. (Solidworks, 2002)

#### 3.3.5.2 Arduino IDE

Se utilizó el software Arduino IDE (Entorno de Desarrollo Integrado de Arduino), este software nos permitió programar y configurar los siguientes componentes: Max 31865, sensor de temperatura PT100, display LCD, sensor RTD y Relé. La programación del MAX 31865 se realizó utilizando el software Arduino, empleando el lenguaje de programación C++ (incremento en c). Se configuró el sistema para poder tener el control de la temperatura adecuada para que el producto final sea el adecuado, permitiendo así un apagado automático en la temperatura máxima que sería de 180 C°.

#### 3.3.5.3 CoolTerm

CoolTerm es un programa de terminal en serie gratuito y fácil de usar, diseñado para funcionar con puertos seriales (RS-232, USB a serial) y enviar/recibir datos de dispositivos externos. Es compatible con Windows, macOS y Linux, y es una herramienta muy útil para la depuración de sistemas embebidos, la comunicación con microcontroladores (como Arduino)

y la interacción con otros dispositivos que utilizan comunicación serial. Se utilizó el programa CoolTerm para la visualización de datos en tiempo real la temperatura del prototipo y poder realizar el análisis de los datos en gráficos. (Sooftware, 2007)

#### **3.3.5.4 FLIR Tools**

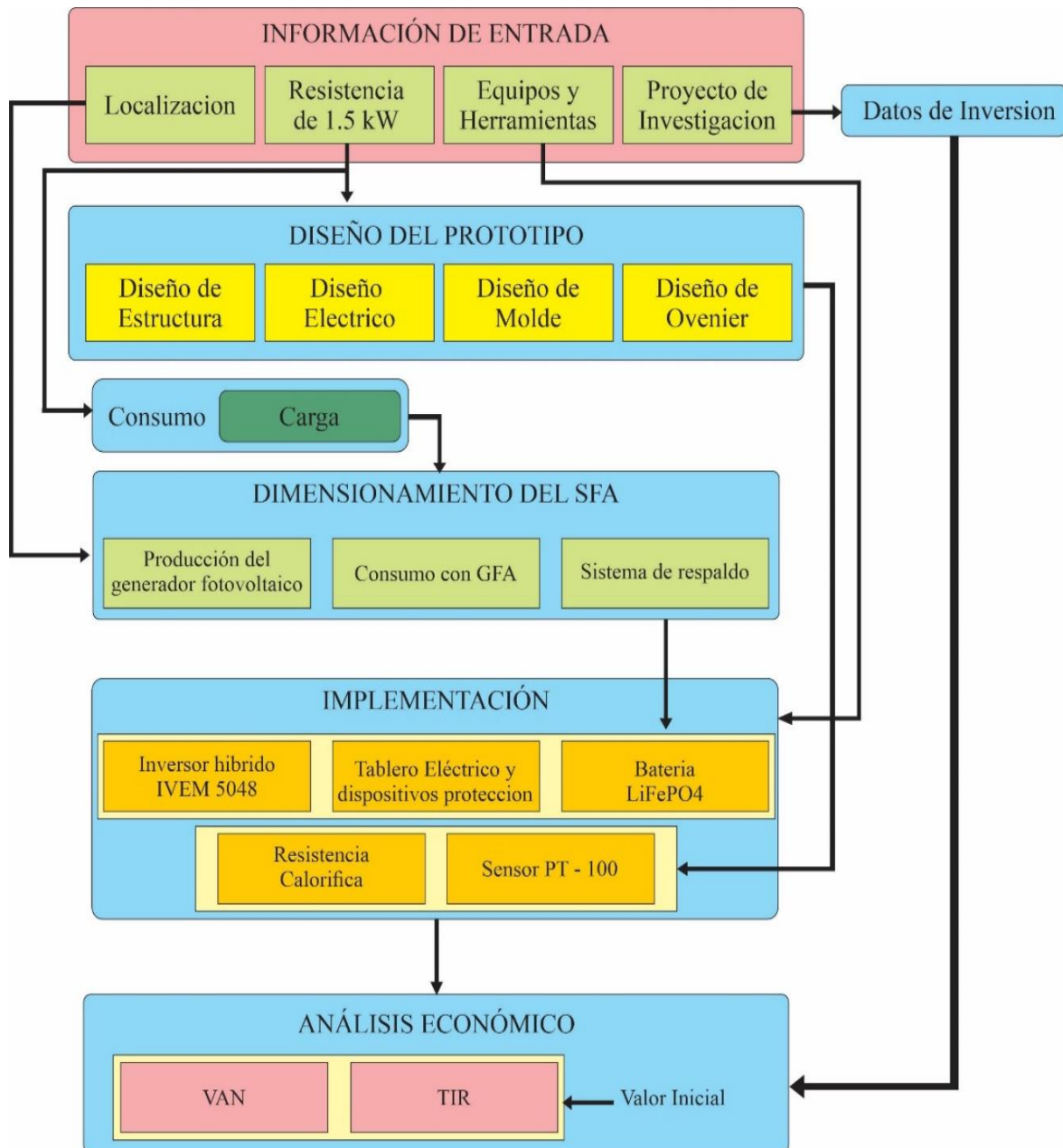
Es un software de escritorio y una aplicación para dispositivos móviles que posibilita la importación, evaluación y modificación de imágenes obtenidas a partir de cámaras termográficas FLIR, así como la generación de informes profesionales en PDF. Las funciones principales comprenden la modificación del contraste y el nivel, la sustitución de las paletas de colores, el añadido de herramientas para medir y la creación de informes personalizables con texto e imágenes. (Flir, 2022)

### 3.4 Procedimiento de la Metodología

En la Figura 33, ilustra el flujo de trabajo del proyecto, el cual se inicia con la recopilación de datos de entrada. A partir de estos datos, el proceso se divide en tres etapas principales: el diseño del prototipo, dimensionamiento del SFA, la implementación y, finalmente, el análisis económico del costo de producción de cada baldosa a nivel prototipo.

**Figura 33**

*Diagrama de bloques del procedimiento de la metodología*



*Nota.* Representación gráfica del procedimiento de proyecto de investigación. (Elaboración propia, 2025)

Además, también tenemos en el procedimiento para obtener las baldosas ver la Figura 34.

### Figura 34

Diagrama de bloques de procedimiento de la Fabricación de las baldosas



*Nota.* Este procedimiento se dará en el prototipo Ovenier. (Elaboración propia,2025).

El granulado fue comprado de una recicladora que ya lo vende triturado siendo los gránulos de PET menor a 1 cm como justifican los antecedentes para la correcta compactación y el costo se expone en el presupuesto (indicativo para calcular el costo de cada baldosa); además que la temperatura se empezara según los antecedentes 180 °C para ver el comportamiento del mismo; así mismo el peso se determina de acuerdo a nuestro molde que sedará de 20 x 20 cm.

#### 3.4.1 Diseño del Prototipo

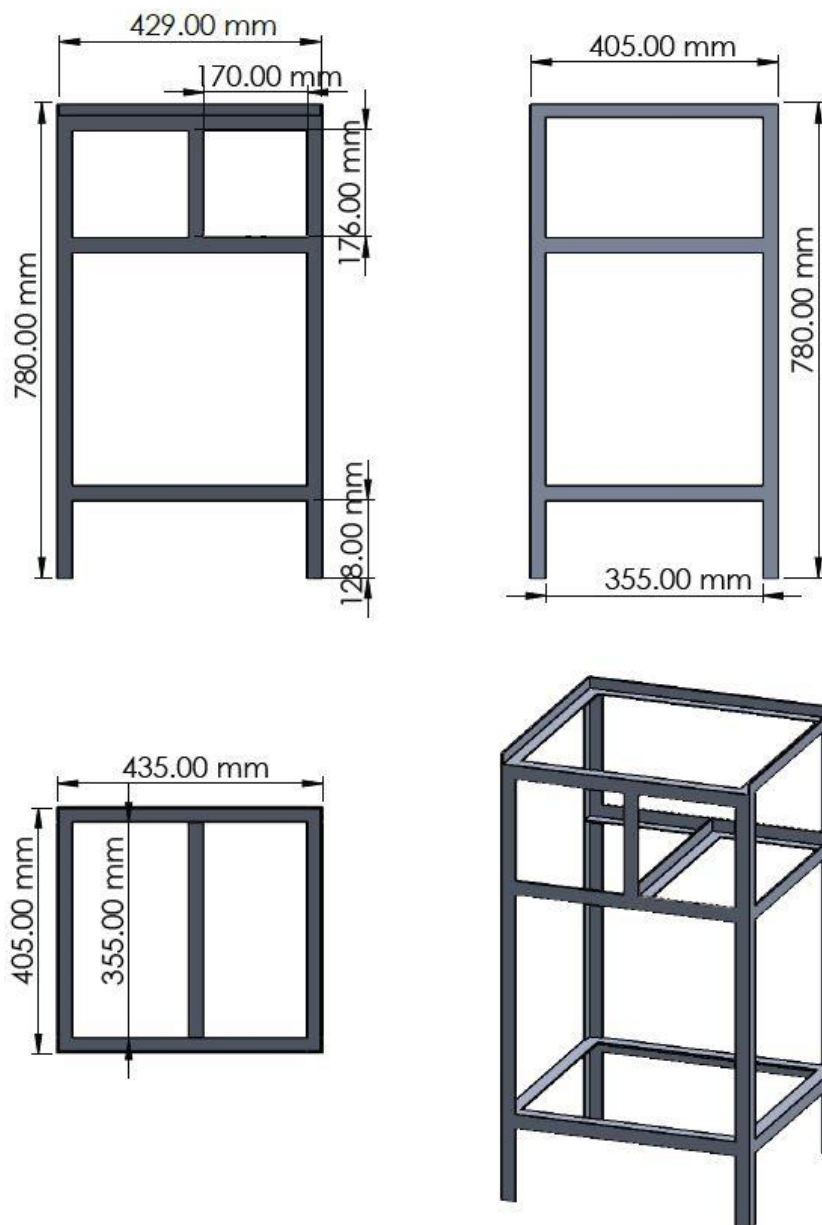
Para el diseño del prototipo se realizó medidas y planos predeterminados para poder realizar dicho prototipo dividiéndose en 4 partes muy importantes para realizar un prototipo movable y transportable ya que se iba realizar en la primera etapa mencionada en la metodología fuera de la Universidad; siendo esta la casa de la tesista y después ser llevado donde el suministro de energía fotovoltaica ubicada en la UNAJ – AYABACAS.

### 3.4.4.1 Diseño de la estructura del prototipo

En la Figura 35 se presenta una estructura de geometría cuadrada, fabricada con ángulos de acero. Este material fue seleccionado debido a su resistencia mecánica y su capacidad para soportar las altas temperaturas generadas por el prototipo; y todo esto fue modelado en el programa SolidWorks.

**Figura 35**

*Medidas de la Estructura Metálica del Prototipo*



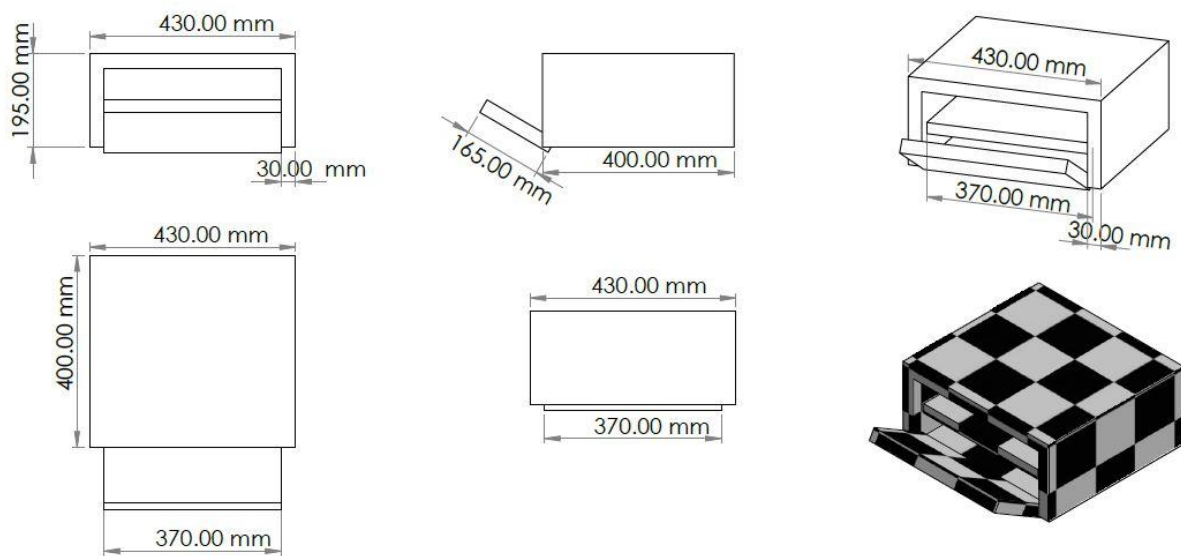
*Nota.* Estas medidas ayudan a soportar el Prototipo “Ovenier” de 43.5 cm x 40.5 cm, y el tablero eléctrico del mismo prototipo hecho en SolidWorks. (Elaboración propia, 2025).

### 3.4.4.2 Diseño de Ovenier

El prototipo “OVENIER”, ver Figura 36, es el nombre que le pusimos al proyecto y es donde se moldea las baldosas de plástico PET; teniendo una medida de 43 cm x 40 cm x 19.5 cm donde sea flexible a distintas medidas de moldes y que sea suficientemente para poder manipular sin quemarnos por las altas temperaturas de material acero Inox; así como ergonómico para el uso cotidiano. Asu vez cuenta con 2 pisos, donde la parte inferior es para la resistencia calorífica; y la parte superior es para el molde de plástico

**Figura 36**

*Medidas del Prototipo Ovenier*



*Nota.* El diseño de Ovenier se elaboró en el software SolidWorks (Elaboración propia, 2025). Teniendo como referencia el plano de medidas y considerando la ubicación del molde de la baldosa, se procedió a realizar el cálculo de pérdidas de calor y de la temperatura en la superficie exterior del sistema. El objetivo fue reducir el riesgo de quemaduras durante su manipulación y garantizar que el equipo no represente un peligro para el usuario. Dado que el acero inoxidable soporta altas temperaturas, se evaluó la necesidad de incorporar un material aislante. Para este fin, se seleccionó fibra de vidrio como elemento de aislamiento térmico, a partir de lo cual se llevaron a cabo los siguientes cálculos:

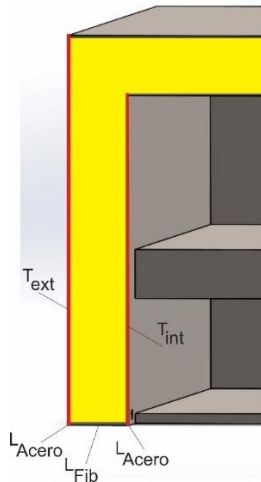
El horno “OVENIER” está compuesto por las siguientes capas (desde el interior hacia el exterior) como se ve en la Figura 37.

- Chapa interior de acero inoxidable (espesor  $L_{Acero}=3$  mm).
- Fibra de vidrio aislante (espesor  $L_{Fib} = 30mm = 0.03m$ ).

- Chapa exterior de acero inoxidable (espesor  $L_{Acero}=3$  mm).

**Figura 37**

*Capas de materiales del prototipo*



*Nota.* Imagen referencial para entender los cálculos (Elaboración propia, 2025).

Entonces para el cálculo tenemos que entender en cuenta los siguientes parámetros del Tabla 9; cabe recalcar son aproximados para obtener un resultado aproximado a la realidad:

**Tabla 9**

*Datos y parámetros para el cálculo de pérdidas de calor en la pared y Temperatura de superficie.*

Parámetro	Valor	Unidad
Chapa interior	0.003	m
Aislante fibra de vidrio	0.03	m
Chapa exterior	0.003	m
Conductividad de acero	16	W/m·K
Conductividad fibra vidrio	0.004	W/m·K
Coef. convección exterior	10	W/m <sup>2</sup> K
Emisividad acero	0.34	-
Constante Stefan-Boltzmann	5.67037E-08	W/m <sup>2</sup> K <sup>4</sup>
Temperatura interna (600 °C)	873.15	K
Temperatura exterior- ambiente (25 °C)	298.15	K
Área total (Realizado del plano)	0.6677	m <sup>2</sup>

*Nota.* Parámetros extraídos del libro de Cengel & Ghajar (2015); que está en Anexo 1, Anexo 2 y Anexo 3.

Todas las Fórmulas son sacadas del libro de Transferencia de Calor de Cengel and Ghajar (2015); entonces hallaremos la Resistencia por conducción, capa por capa donde usaremos la siguiente la fórmula (1), para la capa plana:

$$R = \frac{L}{k} \text{ (m}^2\text{K/W)} \quad (1)$$

En la fórmula (1), “ $R$ ” representa la resistencia térmica por conducción de una capa plana, expresada en metros cuadrados kelvin por watt ( $\text{m}^2\text{K/W}$ ); “ $L$ ” corresponde al espesor del material considerado, medido en metros (m); y “ $k$ ” es la conductividad térmica del material, expresada en watts por metro kelvin ( $\text{W/m}\cdot\text{K}$ ).

Por lo tanto, para cada capa por conducción usando la fórmula 1 para la Figura 37:

Para la Chapa interior (acero, 3 mm):

$$R_1 = \frac{0.003}{16} = 0.0001875 \text{ m}^2\text{K/W}$$

Para el Aislante de Fibra de Vidrio (30 mm):

$$R_2 = \frac{0.04}{0.03} = 0.75 \text{ m}^2\text{K/W}$$

Para la chapa exterior (acero, 3 mm):

$$R_3 = \frac{0.003}{16} = 0.0001875 \text{ m}^2\text{K/W}$$

Teniendo una Resistencia total por conducción (capas):

$$R_{conduc} = R_1 + R_2 + R_3 = 0.750375 \text{ m}^2\text{K/W}$$

Para la Transferencia en el exterior; lo haremos sumando la convección + radiación; lo resolveremos por iteración; donde tendremos las siguientes Formulas; donde la transferencia de calor neta por radiación entre una superficie caliente y el ambiente es como la fórmula (2):

$$q_{rad} = \epsilon\sigma(T_s^4 - T_a^4) \quad (2)$$

En la Formula (2),  $q_{rad}$  representa la transferencia neta de calor por radiación entre la superficie exterior del prototipo y el ambiente, expresada en watts por metro cuadrado ( $\text{W/m}^2$ );  $\epsilon$  es la emisividad de la superficie del material;  $\sigma$  corresponde a la constante de Stefan-Boltzmann, cuyo valor es [ $5.67 \times 10^{-8} \text{ W/m}^2\text{K}^4$ ];  $T_s$ : es la temperatura de la superficie exterior del horno y  $T_a$  es la temperatura ambiente, ambas expresadas en kelvin (K).

Donde para problemas de convección, conducción y radiación juntos; al querer sumar las resistencias y coeficientes no permite es por eso el método de linealización; para obtener un coeficiente equivalente de radiación, para simplificar y obtener una forma más compacta se usa la aproximación “ $T_m$ ” de Temperatura media, como se ve la fórmula (3):

$$T_m = \frac{T_s + T_a}{2} \quad (3)$$

En la formula (4),  $h_{rad}$  representa el coeficiente de transferencia de calor por radiación linealizado, expresado en watts por metro cuadrado kelvin (W/m<sup>2</sup>K);  $\epsilon$  corresponde a la emisividad de la superficie del material;  $\sigma$  es la constante de Stefan-Boltzmann, con un valor de [ $5.67 \times 10^{-8}$  W/m<sup>2</sup>K<sup>4</sup>]; y  $T_m$ : representa la temperatura media entre la superficie exterior del prototipo y el ambiente, expresada en kelvin (K). Esta formulación permite linealizar el fenómeno de radiación térmica y facilita su integración con el análisis por convección en el cálculo del coeficiente total de transferencia de calor.

$$h_{rad} = 4\epsilon\sigma T_m^3 \quad (4)$$

Para el coeficiente total exterior entonces se tiene la fórmula (5):

$$h_{total} = h_{conv} + h_{rad} \quad (5)$$

Resistencia exterior, usamos la fórmula (6):

$$R_{ext} = \frac{1}{h_{total}} \quad (6)$$

Entonces para la resistencia total siendo la fórmula (7), se hace la sumatoria que hallamos con la fórmula (1):

$$R_{total} = R_{cond} + R_{ext} \quad (7)$$

Por lo tanto, Flujo de la unidad de Área; formula (8):

$$q'' = \frac{(T_i - T_a)}{R_{total}} \text{ (W/m}^2\text{)} \quad (8)$$

Actualización de temperatura superficial; formula (9):

$$T_s^{new} = \frac{T_a + q''}{h_{total}} \quad (9)$$

Entonces para hallar la temperatura superficial usaremos el criterio de convergencia por métodos numéricos (iteración); formula (10):

$$|T_s^{new} - T_s| < \textit{tolerancia} \quad (10)$$

Siendo una tolerancia de 5%, el cual se muestra en la tabla 10 teniendo de 13 iteraciones con la finalidad de hallar la Temperatura superficial.

**Tabla 10**

*Iteraciones para hallar la Temperatura en la Superficie del prototipo.*

<i>Iteración</i>	<i>T<sub>s</sub></i> <i>asumida</i> <i>(K)</i>	<i>T<sub>m</sub></i> (K)	<i>h<sub>rad</sub></i> <i>(W/m<sup>2</sup>K)</i>	<i>h<sub>total</sub></i> <i>(W/m<sup>2</sup>K)</i>	<i>R<sub>total</sub></i> <i>(m<sup>2</sup>K/W)</i>	<i>q''</i> <i>(W/m<sup>2</sup>)</i>	<i>Nueva T<sub>s</sub></i> <i>(K)</i>
1	343.15	320.65	2.5424	12.5424	0.830105	692.684	353.377
2	353.377	325.7635	2.6037	12.6037	0.829717	693.008	353.134
3	348.263	323.2065	2.5754	12.5754	0.829904	692.863	353.252
4	351.208	324.1815	2.5929	12.5929	0.829747	692.986	353.164
5	352.236	325.195	2.5989	12.5989	0.829702	693.025	353.137
6	352.841	325.4955	2.612	12.612	0.829652	693.064	353.1
7	352.97	325.5625	2.622	12.622	0.829612	693.097	353.061
8	353.016	325.568	2.6326	12.6326	0.829545	693.15	353.005
9	353.01	325.589	2.6433	12.6433	0.829475	693.207	352.945
10	352.945	325.0525	2.6512	12.6512	0.829414	693.254	352.893
11	352.893	325.5215	2.6561	12.6561	0.82936	693.297	352.846
12	352.846	325.4985	2.66	12.66	0.82936	693.3	352.91
13	<b>352.91</b>	325.5325	2.6603	12.6603	0.82936	693.3	<b>352.91</b>

*Nota.* En esta tabla se usaron todas las fórmulas anteriores para hallar la Temperatura superficial (Elaboración propia, 2025).

Obteniendo los resultados numéricos finales de la iteración 13 de la tabla 10:

- Temperatura superficial exterior; Formula (9):

$$T_s = 352.91 \text{ K} = 79.76 \text{ °C} = 80 \text{ °C aprox.}$$

- Coeficiente radiactivo final usando la fórmula (4):

$$h_{rad} = 4\varepsilon\sigma T_m^3 = 4 * 0.34 * 5.67 \times 10^{-8} * 325.5325^3 = 2.660 \text{ W/m}^2\text{K}$$

- Coeficiente total exterior usando la fórmula (5):

$$h_{total} = h_{conv} + h_{rad} = 2.660 \text{ W/m}^2\text{K} + 10 \text{ W/m}^2\text{K} = 12.660 \text{ W/m}^2\text{K}$$

- Resistencia exterior equivalente usando la fórmula (6):

$$R_{ext} = \frac{1}{h_{total}} = \frac{1}{12.660 \text{ m}^2\text{K/W}} = 0.07899 \text{ m}^2\text{K/W}$$

- Resistencia total (cond + ext) usando la fórmula (7):

$$R_{total} = R_{cond} + R_{ext} = 0.07899 + 0.750375 = 0.82936 \text{ m}^2\text{K/W}$$

- Flujo por unidad de área usando la fórmula (8):

$$q'' = \frac{(600 - 25)}{0.82936} \approx 693.3 \text{ W/m}^2$$

- Pérdida total por las paredes (todas las caras, área A = 0.6677 m<sup>2</sup>):

$$Q = q'' \cdot A \approx 693.3 \times 0.6677 \approx 462.9 \text{ W} = 463 \text{ W}$$

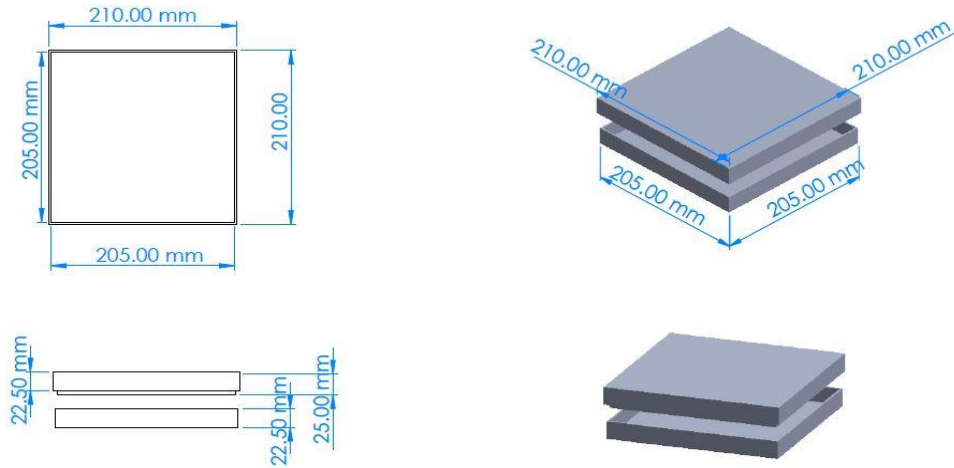
Por lo tanto, la chapa exterior puede alcanzar = 70°C, suficientemente caliente para causar quemaduras por contacto. Entonces al momento de manipular y generar las baldosas se usará los guantes térmicos. La Efectividad del aislamiento donde la mayor parte de la resistencia térmica está en la fibra de vidrio ( $R_2 \approx 0.75 \text{ m}^2\text{K/W}$ ). Y con respecto a la pérdida de **463 W** indica que el aislante reduce el flujo, pero el gradiente térmico (600 °C → 25 °C) es grande, por lo que algo de calor siempre escapará.

#### 3.4.4.3 Diseño del molde

Para el molde; que es donde se pondrá el plástico PET para convertir en baldosas se realizó se hizo con una medida de 21cm x 21cm y grosor de 2.25cm; con un contrapeso de 2.5cm de grosor 19 cm x 19 cm en material acero; en la parte de la tapa para que genere presión y salga más uniforme la baldosa. Ver Figura 38.

**Figura 38**

*Medidas del molde para las Baldosas PET*



*Nota.* El diseño del molde para las baldosas realizado en SolidWorks. (Elaboración propia, 2025).

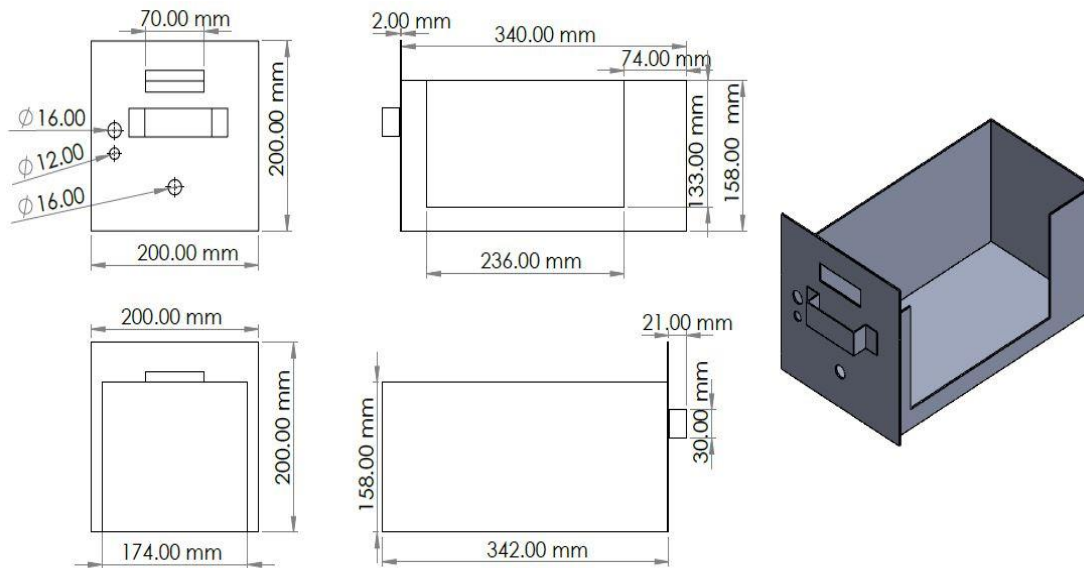
#### **3.4.4.4 Diseño del circuito electrónico**

##### **A. Tablero diseño**

Para el diseño del circuito electrónico; primero diseñamos su tablero; que va en la parte inferior del Ovenier donde podremos poner tanto el LCD; botón; Arduino y demás componentes mencionados. Para esto la tapa del tablero tenía que tener un orificio cuadrado para el LCD y 3 circulares; ver Figura 39 que sirven para conectar el cable de botón de reinicio; alimentación y comunicación para lo toma de datos. Además, que la parte de adentro es para los conexionado de PT100 y de la resistencia.

**Figura 39**

*Medidas del Tablero del Circuito electrónico del Prototipo*



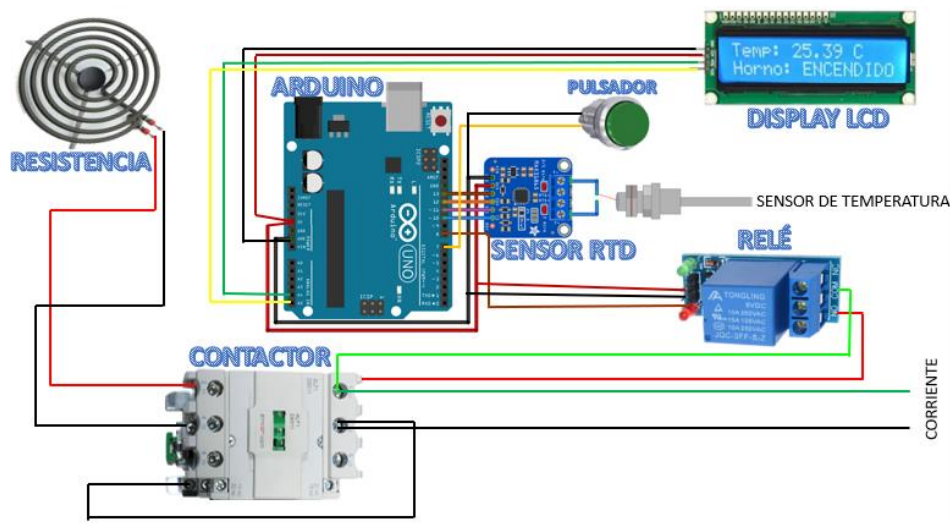
*Nota.* El diseño está pensado para que no haya contacto directo con la resistencia ya que las altas temperaturas pueden fundir los dispositivos y componentes ya que el prototipo pasa más 150°C de temperatura necesaria para fabricar las baldosas (Elaboración propia, 2025)

## **B. Diseño y Conexión del Circuito Electrónico**

En la Figura 40 se presenta el diseño del circuito electrónico, en el cual se seleccionan e integran los componentes descritos previamente. Asimismo, se muestra la Tabla 11 y 12 correspondiente al conexionado del circuito electrónico del prototipo.

**Figura 40**

*Conexión de los componentes para el funcionamiento del Prototipo Oveinier*



*Nota.* El conexionado mostrado forma parte del tablero electrónico ubicado en la parte inferior del prototipo Oveinier, desde donde se controla la temperatura y muestra por el LCD relay (Elaboración propia, 2025).

### **Conexión del MAX31865 al Arduino UNO:**

Para la correcta lectura del sensor PT100 mediante el módulo MAX31865, se realizaron las siguientes conexiones:

1. Conecta 3.3V del módulo a la entrada de 3.3V en el Arduino.
2. Conecta GND al suelo común de alimentación/datos.
3. Conecta el pin CLK a Digital #13 (puedes cambiar este pin más tarde si es necesario).
4. Conecta el pin SDO a Digital #12 (también puedes cambiar este pin más tarde si es necesario).
5. Conecta el pin SDI a Digital #11 (este pin puede ser cambiado más tarde si es necesario).
6. Conecta el pin CS a Digital #10 (este pin también puede ser cambiado más tarde si es necesario).

Estas conexiones permiten establecer la comunicación SPI necesaria para procesar los datos del sensor PT100.

### Conexiones necesarias para el Sistema de Control:

El sistema se complementa con los siguientes elementos:

- LCD 16x2 con I2C
- Sensor PT100 (3 hilos) con módulo MAX31865
- Relé SRD-05VDC-SL-C (electromecánico)
- Botón de encendido manual del horno

### Conexión del LCD 16x2 con módulo I2C al Arduino UNO

**Tabla 11**

*Tabla de Conexiones del LCD I2C y el Arduino UNO*

Pin del LCD I2C	Arduino UNO	Descripción
VCC	5V	Alimentación
GND	GND	Tierra
SDA	A4	Datos I2C
SCL	A5	Reloj I2C

*Nota.* Este conexionado permite visualizar la temperatura en tiempo real en el LCD. (Elaboración propia).

### Conexión de los pines en Arduino Uno:

**Tabla 12**

*Conexión de los Componentes al Arduino Uno*

PIN Arduino	Componente
D10	MAX31865 (CS)
D11	MAX31865 (MOSI)
D12	MAX31865 (MISO)
D13	MAX31865 (SCK)
D8	Relé (control del horno)
D7	Botón de reinicio
A4 (SDA)	LCD I2C
A5 (SCL)	LCD I2C
5V, GND	Alimentación común para todos

*Nota.* Las conexiones descritas corresponden al diseño mostrado en la Figura 40, las cuales permiten garantizar el control y la seguridad del circuito del prototipo.

### Programación del Sistema de Control

Una vez finalizado el conexionado, se procedió a elaborar el código en el entorno de programación de Arduino, tal como se muestra en la Figura 41.

#### Figura 41

*Código de programación para el control de Temperatura del Prototipo de Ovenier.*

```
#include <Wire.h>
#include <LiquidCrystal_I2C.h>
#include <Adafruit_MAX31865.h>

// LCD y sensor
LiquidCrystal_I2C lcd(0x27, 16, 2);
Adafruit_MAX31865 thermo = Adafruit_MAX31865(10, 11, 12, 13); // CS, DI, DO, CLK

// Pines
const int relePin = 8;
const int botonPin = 7;

// Parámetros
const float temperaturalimite = 180.0;
const float Rref = 443.0;
bool hornoEncendido = true;

void setup() {
  Serial.begin(9600);
  Serial.println("LABEL, hora; lectura");
  lcd.init();
  lcd.backlight();

  lcd.setCursor(0, 0);
  lcd.print("Sistema Horno");
  delay(2000);
  lcd.clear();

  thermo.begin(MAX31865_3WIRE);

  pinMode(relePin, OUTPUT);
  pinMode(botonPin, INPUT_PULLUP);
  digitalWrite(relePin, LOW);
}

void loop() {
  uint16_t rtd = thermo.readRTD();
  float ratio = rtd;

  ratio /= 32768;
  float resistencia = Rref * ratio;
  float temperatura = (resistencia - 100.0) / 0.385; // PT100 formula aprox.

  // Mostrar en LCD
  lcd.setCursor(0, 0);
  lcd.print("Temp: ");
  lcd.print(temperatura, 2);
  lcd.print(" C ");

  // === Enviar al Serial Plotter ===
  Serial.print("Temperatura:");
  Serial.println(temperatura);

  // Control de horno
  if (temperatura > temperaturalimite && hornoEncendido) {
    hornoEncendido = false;
    digitalWrite(relePin, HIGH);
    lcd.setCursor(0, 1);
    lcd.print("Horno: APAGADO ");
  }

  if (hornoEncendido && temperatura <= temperaturalimite) {
    digitalWrite(relePin, LOW);
    lcd.setCursor(0, 1);
    lcd.print("Horno: ENCENDIDO");
  }

  // Botón de reinicio
  if (!hornoEncendido && digitalRead(botonPin) == LOW) {
    hornoEncendido = true;
    lcd.setCursor(0, 1);
    lcd.print("Reinicio manual ");
    delay(500);
  }

  delay(1000);
}
```

*Nota.* El código realizado en el programa de Arduino (Elaboración propia, 2025).

Este programa permite regular la temperatura según el límite configurado por el usuario. Además, incorpora una función de apagado automático al alcanzar la temperatura máxima permitida, así como un botón de reinicio que permite reiniciar el ciclo de control.

### 3.4.2 Cálculo de la producción del Sistema fotovoltaico para el prototipo

Para realizar el cálculo del dimensionamiento del sistema fotovoltaico utilizaremos el método de Amper Hora, para lo cual realizaremos cálculos de la energía diaria producida, número de módulos fotovoltaicos, inversor requerido y cálculo de la batería.

#### 3.4.2.1 Cálculo de la Energía diaria requerida por el prototipo

Primero se calculó la potencia ( $P$ ) de la resistencia dado en  $W$ , se utilizó la siguiente fórmula (11):

$$P = V * I_{resistencia} \quad (11)$$

Donde el Voltaje ( $V$ ) es de 220V y la Corriente de la Resistencia ( $I_{resistencia}$ ) es de 5.89A  
Sustituyendo los valores en la fórmula:

$$P = 220V * 5.89A$$
$$P = 1295.8 W$$

El tiempo que se emplea el prototipo para poder sacar una muestra es de 1.5 horas, suponiendo que saquemos 4 muestras por día, la energía diaria ( $E$ ) necesaria se calcularía con la siguiente fórmula (12):

$$E = P * t \quad (12)$$

Donde la Potencia ( $P$ ) es 1295.8 W calculado anteriormente y tiempo ( $t$ ) es de 6 horas  
Reemplazando:

$$E = 1295.8W * 6 h$$
$$E = 7774.8 Wh$$

Por lo tanto, el prototipo requiere 7774.8 Wh de energía cada día para operar durante el tiempo ya mencionado de 6h.

#### 3.4.2.2 Cálculo del número de paneles

Para determinar el número de paneles solares necesarios, se utilizó la siguiente fórmula (13):

$$N_p = \frac{E}{Eff * HSP * W_p} \quad (13)$$

Donde 7774.8 Wh es la energía diaria requerida ( $E$ ); 0.75 es la eficiencia del sistema fotovoltaico ( $Eff$ ); así como también el valor de las horas del sol pico diarias HSP será de 6 y 50W es la potencia nominal de cada panel ( $W_p$ )

Sustituyendo los valores en la formula (13):

$$N_p = \frac{7774.8 \text{ Wh}}{0.75 * 6 * 50W}$$

Resolviendo la ecuación en resultado sería el siguiente:

$$N_p = \frac{7774.8}{172.5} = 34.56 = 35 = 36$$

Ya realizado el cálculo sabemos que requerimos un total de 35 módulos fotovoltaicos de 50W cada uno, pero usaremos 36 para una mejor configuración, debemos asegurarnos que los módulos fotovoltaicos se configuren de manera que el voltaje total sea adecuado.

### **Cálculo del número de paneles en serie**

Calculamos cuantos paneles en serie necesitamos para alcanzar el voltaje de 220Vdc el cual ya está dado por el tema de bombeo solar; con esto aseguramos que funcione tanto el sistema hibrido y sistema de bombeo. Cada módulo fotovoltaico de 50W tiene un voltaje máximo de potencia ( $V_{mp}$ ) de 18.25V. El número de paneles en serie se calcula con la siguiente formula (14):

$$N_s = \frac{V_{operacion}}{V_{panel}} \quad (14)$$

Remplazando nos da el siguiente resultado:

$$N_s = \frac{220Vdc}{18.25V_{max}} = 12.055$$

Redondeamos al siguiente número entero:

Numero de paneles en serie ( $N_s$ ): 12 paneles

### **3.4.2.3 Cálculo del número de paneles en paralelo**

Con los 13 paneles en serie, ahora calculamos cuantas ramas en paralelo son necesarias para cumplir con la corriente requerida por la resistencia.

El total de paneles que usaremos es de 36, por lo que podemos distribuirlo de la siguiente manera:

$$N_p = \frac{36_{paneles \text{ totales}}}{12_{paneles \text{ en serie por rama}}} = 2.91 = 3_{ramas \text{ en paralelo}}$$

Cálculo de la corriente total

Cada rama en paralelo tendrá una corriente de:

$$I_{rama} = I_{panel} = 2.74A$$

Corriente total:

$$I_{rama} = I_{panel} * N_p = 2.74A * 3 = 8.22 A$$

#### 3.4.2.4 Selección del Inversor Híbrido

La norma IEEE 1547, que se encarga de las especificaciones de prueba para la interconexión a red, regula la elección del inversor híbrido conectado a red de 5.0 kW. La selección se inicia con la potencia máxima del generador fotovoltaico de 2.7 kW y, siguiendo lo estipulado por la norma NOMMN-690-8, se calcula utilizando un factor de seguridad del 125% para cubrir los picos de potencia que el equipo podría experimentar.

Reemplazaremos en la siguiente fórmula (15):

$$P_{max\_mpp} > F.S.* P_{max\_generador} \quad (15)$$

Donde la representación de  $P_{max\_mpp}$  es Punto de máxima potencia del generador fotovoltaico y  $P_{max\_generador}$  es Potencia máxima del generador fotovoltaico.

Reemplazando:

$$P_{max\_mpp} > 1.25 * 2.7kW$$

$$P_{max\_mpp} > 1.25 * 2.7kW > 3.375W$$

Como resultado tenemos:

$$P_{max\_mpp} \geq 3.38kW$$

Con los resultados de la ecuación 15 se determinó una potencia máxima requerida para el generador fotovoltaico de 3.38Kw.

Mediante la siguiente fórmula (16) podemos calcular la cantidad de inversor/híbrido de acuerdo a la potencia máxima del conjunto del generador fotovoltaico.

$$N_{inv} = \frac{P_{max\_mpp}}{P_{max\_inv}} \quad (16)$$

Donde la representación de  $N_{inv}$  es la Cantidad de inversores;  $P_{max\_mpp}$  es Punto de máxima potencia del generador fotovoltaico (kW) y  $P_{max\_inv}$  es Máxima potencia del conjunto fotovoltaico (kW). Por lo que reemplazando la formula (16):

$$N_{inv} = \frac{3.38 \text{ kW}}{5 \text{ KW}} = 0.68 = 1 \text{ inversor/hibrido}$$

### 3.4.2.5 Configuración del controlador MPPT y la carga del prototipo OVENIER

El inversor/híbrido FELICITY IVGM10048 que tiene la Universidad Nacional de Juliaca siendo seleccionado y determinada la demanda energética, se procede a organizar el conexionado del arreglo fotovoltaico para garantizar que la corriente y el voltaje suministrados al controlador MPPT integrado en el inversor/híbrido se mantengan dentro de los límites permitidos. Asimismo, se verifica que la corriente y el voltaje entregados por el inversor/híbrido al prototipo cumplan con los requerimientos establecidos.

**Tabla 13**

*Verificación de límites de la Configuración del generador fotovoltaico e inversor/hibrido*

	<b>Generador fotovoltaico</b>	<b>Inversor / hibrido</b>
Vmax de entrada	$V_{oc} * N_{Pserie} = 22.56 * 12 = 270.24$	500 V
I <sub>max</sub> de cortocircuito	$I_{sc} = 2.79A * 3 = 8.37 \text{ A}$	100 A
Rango voltaje MPP	$V_{MPP} * N_{Pserie} = 18.25 * 12 = 219$	230 V
I máx. Entrada	$I_{MPP} = 2.74 \text{ A}$	20 A
Punto de máxima potencia	$V_{max} * I_{max} = 270.24 * 8.37$ $P_{MAX} = 2261.90 \text{ W}$	5000 W

*Nota.* Configuración del generador fotovoltaico e inversor (Elaboración propia, 2025).

En la Tabla 13 se presentan los parámetros de salida del arreglo fotovoltaico, incluyendo un voltaje de circuito abierto de 270.24 V y una corriente de cortocircuito de 2.79 A. Sin embargo, dado que se trata de tres ramas, la corriente total sería de 8.37 A. Por del otro lado, se presenta el rango de entrada del inversor híbrido de 500V/100A. Asimismo, el punto de La potencia máxima del generador fotovoltaico es de 2261.90W, y el rango del inversor híbrido es de 5000W, en resumen, el voltaje y la corriente del Inversor/hibrido se encuentra dentro del límite

del arreglo fotovoltaico cabe recalcar que es importante verificar las especificaciones de la ficha técnica del equipo para que exista compatibilidad entre ambos componentes para evitar alguna falla del sistema.

**Tabla 14**

*Verificación de límite del inversor/hibrido hacia la carga*

	Max. Entregado por el inversor/hibrido	Corriente máxima de la carga energética
Corriente máxima de salida AC	$\frac{P_{nom_{out}}}{V_{out_{inv\_carg}}} = \frac{5000}{230} = 21.74A$	$\frac{P_{max.carg}}{V_{inversor}} = \frac{1259.8}{230} = 5.48A$

*Nota.* Los valores se adaptan al rango de trabajo del inversor/hibrido (Elaboración propia, 2025)

La Tabla 14 muestra una verificación del límite de salida del inversor. Se calcula que el inversor hibrido puede entregar una corriente máxima de 21.74A, mientras que la corriente máxima de la carga energética es 5.48A. Este cálculo confirma que la capacidad del inversor/hibrido es suficiente para alimentar la resistencia del prototipo.

### 3.4.2.6 Selección de la batería

Para la selección de baterías necesitamos las especificaciones de la batería y también la demanda energética. Para las especificaciones tendremos en cuenta la tabla 6 de especificaciones de la batería mostradas anteriormente en el ítem materiales y componentes del sistema fotovoltaico. El dato de la demanda energética nos muestra en el ítem 3.4.2.1.

Para calcular la capacidad de la batería utilizaremos la siguiente formula (17):

$$Capacidad_{bat\_min(Ah)} = \frac{E_{dia} * DOA}{V_{nominal\_bat} * DOD\%} \quad (17)$$

La representación de la energía que demanda la instalación medida es de 7774.80 Wh/día calculado previamente; los Días de autonomía será de 0.5 días suficiente para realizar todo el procedimiento para la generación de una baldosa; donde el voltaje de operación de la Batería es 48V y la Profundidad de descarga de la batería es 0.95 sacadas de la ficha técnica ver Anexo 15.

Reemplazando:

$$Capacidad_{(Ah)} = \frac{7774.80 \frac{Wh}{dia} * 0.5 \text{ dias}}{48V * 0.95}$$

Como resultado tenemos:

$$Capacidad_{(Ah)} = 85.25 \text{ Ah}$$

### 3.4.2.7 Selección de la batería en serie

Para el cálculo de baterías en serie utilizaremos la siguiente formula (18):

$$N^{\circ} \text{ baterias}_{(Serie)} = \frac{V \text{ del sistema}}{V_{nominal} \text{ de la bateria}} \quad (18)$$

Donde el voltaje del sistema es 48V y el voltaje de la batería es de 48V

Reemplazando la fórmula 18:

$$N^{\circ} \text{ baterias}_{(Serie)} = \frac{48V}{48V} = 1 \text{ unidad}$$

Por lo que necesitamos 1 unidad de batería en serie.

### 3.4.2.8 Selección de baterías en paralelo

Para el cálculo de baterías en serie utilizaremos la siguiente formula (19):

$$N^{\circ} \text{ baterias}_{(Paralelo)} = \frac{Capacidad_{bat\_min(Ah)}}{Capacidad \text{ de la bateria}} \quad (19)$$

Donde la Capacidad Ah calculada es 85.25 Ah y la Capacidad de la batería 104.7Ah

Reemplazando:

$$N^{\circ} \text{ baterias}_{(Paralelo)} = \frac{85.25 \text{ Ah}}{104.7 \text{ Ah}}$$

Como resultado tenemos:

$$N^{\circ} \text{ baterias}_{(Paralelo)} = 0.82$$

Como resultado tenemos que se necesita 0.82 lo cual redondeando necesitaríamos 1 unidad de batería en paralelo.

En la tabla 15 se muestra el resumen de los cálculos obtenidos anteriormente.

**Tabla 15**

*Resumen de los cálculos del dimensionamiento del sistema fotovoltaico*

Descripción	
Módulos fotovoltaicos en paralelo	3 ramas en paralelo
Módulos fotovoltaicos en serie	12 módulos en serie por rama
Inversor/hibrido	0.68 (redondeamos a 1 unidad)
Banco de baterías en serie	1 unidad
Banco de baterías en paralelo	0.82 (redondeamos a 1 unidad)

*Nota.* Los valores del resumen del cálculo del SFV (Elaboración propia, 2025).

### 3.4.2.9 Selección de dispositivos de control

De acuerdo con las Normas NOM-MN 690-9 y CNE-16-161.A, las protecciones del diseño deben seleccionarse para salvaguardar los circuitos y equipos de las sobretensiones, sobrecorrientes y contactos eléctricos, tanto directos como indirectos. Por lo tanto, en cada sección del sistema, se deben instalar dispositivos de protección específicos para la corriente continua (DC) y la corriente alterna (AC) de acuerdo con las normativas mencionadas.

#### Dispositivos de protección DC

Fusible: Para ser preciso en el cálculo, es necesario conocer la corriente de corto circuito de los paneles fotovoltaicos como es la fórmula (20).

$$I_{fusable_{GFV}} \geq I_{SC} * N_{PP} * 1.25 \quad (20)$$

Donde la Corriente máxima admisible del generador fotovoltaico ( $I_{fusable_{GFV}}$ ); Corriente del corto circuito del generador fotovoltaico ( $I_{SC}$ ) donde se mide en amperios [A] y el Numero de paneles en paralelo se representa en ( $N_{PP}$ ).

$$I_{fusable_{GFV}} \geq 8.37 * 3 * 1.25 \geq 31.3 A$$

A partir de los cálculos realizados, se ha seleccionado un fusible cilíndrico de 32A de la marca OHNT, junto con su respectivo portafusible de 500 Vdc.

**Termomagnético del GFV y de la batería:** Para saber las características del termomagnético de igual manera se halla a partir de la corriente de cortocircuito del generador y la corriente máxima del Inversor/hibrido; ver Formula (21) y ver Formula (22).

$$I_{breake_{GFV}} \geq I_{SC} * N_{PP} * 1.25 \quad (21)$$

$$I_{breaker\_baterias} \geq * 1.25 * I_{ccinversor\ hibrido} \quad (22)$$

Donde la Corriente máxima admisible del Inversor híbrido ( $I_{ccinversor\ hibrido}$ ), Corriente del corto circuito del generador fotovoltaico ( $I_{SC}$ ) y Corriente máxima admisible del GFV ( $I_{breake_{GFV}}$ ) se miden en amperios, además de  $N_{PP}$  que representa el Numero de paneles en paralelo.

$$I_{breaker_{GFV}} \geq 8.37 * 3 * 1.25 \geq 31.3 A$$

$$I_{breaker\_baterias} \geq * 1.25 * 100 \geq 125A$$

A partir de los cálculos, se seleccionó un interruptor termomagnético de 2P Schneider 250Adc para el generador fotovoltaico (GFV). Para el sistema de baterías, se optó por un interruptor termomagnético Shneider 2P 220Adc.

DPS: Para el dispositivo de protección contra sobretensiones, se empieza por saber la tensión de circuito abierto del arreglo fotovoltaico, a partir de eso calculamos con la formula (23).

$$V_{DPS} \geq V_{OC} * N_{PS} * 1.25 \quad (23)$$

Donde se representa el Voltaje del supresor de carga ( $V_{DPS}$ ), Voltaje de circuito abierto del sistema ( $V_{OC}$ ) y Numero de paneles en serie ( $N_{PS}$ ).

$$V_{DPS} \geq 22.56 * 12 * 1.25$$

$$V_{DPS} \geq 270.72 * 1.25 \geq 338.4$$

Del cálculo obtenido de 338.4V se selecciona un dispositivo con un voltaje pico que pueda resistir las descargas atmosféricas para desviarlas, por ende, seleccionamos de un voltaje lo más cercano posible y se optó por el equipo de la marca Schneider 600Vdc.

### Dispositivos de protección AC.

**Termomagnético:** Para el tramo que va desde el Inversor Híbrido IVGM10048 hasta el selector de 2 polos, la selección del interruptor termomagnético se realizará basándose en la corriente máxima que fluye por el conductor; ver Formula (24).

$$I_{breaker\_inv} \geq I_{maxinversor\ hibrido} * 1.25 \quad (24)$$

Donde:

•  $I_{maxinversor\ hibrido}$ : Corriente máximo de Inversor/híbrido [A].

$$I_{breaker\_inv} \geq \frac{5000}{230} * 1.25$$

A partir de la respuesta se selecciona por un interruptor Schneider de 2P-30 A.

### Puesta a tierra y pararrayo

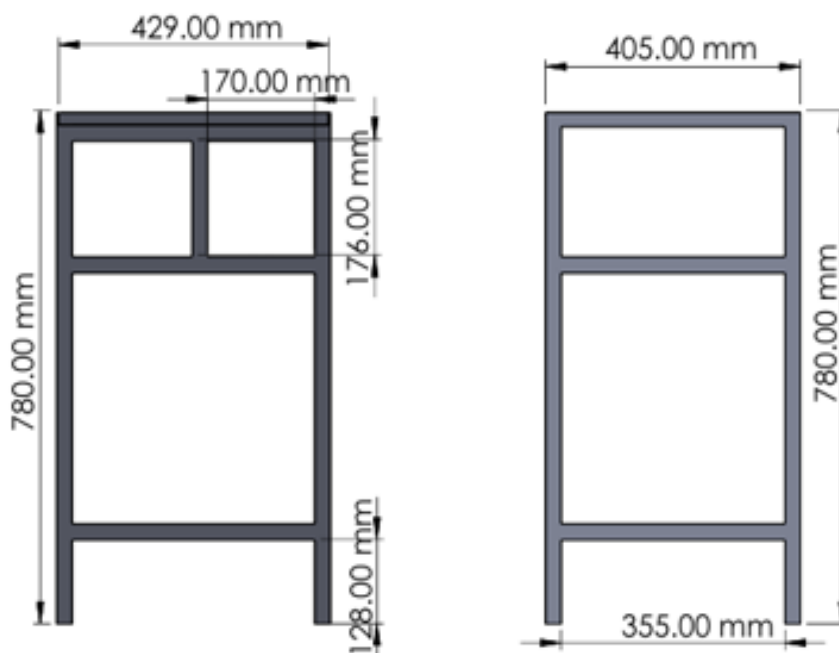
El proyecto incorpora un sistema de puesta a tierra ya implementado, el cual funciona mediante un electrodo de cobre que está enterrado en el suelo y conectado a los contactos eléctricos. El tramo que va desde el electrodo hasta los puntos de conexión constituye el sistema de puesta a tierra. Para la protección del tablero DC/AC, se utiliza un cable de calibre 10 AWG con forro verde y amarillo, que asegura la conducción de la corriente en caso de fallas. Todos los cables de puesta a tierra convergen en una barra de tierra, una placa de cobre con tornillos instalada dentro del tablero de protección.

### 3.4.3 Implementación del Prototipo Oveinier

Se ha implementado el prototipo de acuerdo al diseño de planos donde visualizamos medidas correctas a detalle para lo cual visualizaremos las figuras 42 y 43, donde nos permite ver las medidas que se tomó en cuenta para el armado del prototipo tanto como la parte de la estructura, parte superior en donde va la cajuela de horno hay tenemos una plancha donde va ir el molde y también va la resistencia que esta debajo de esa plancha.

**Figura 42**

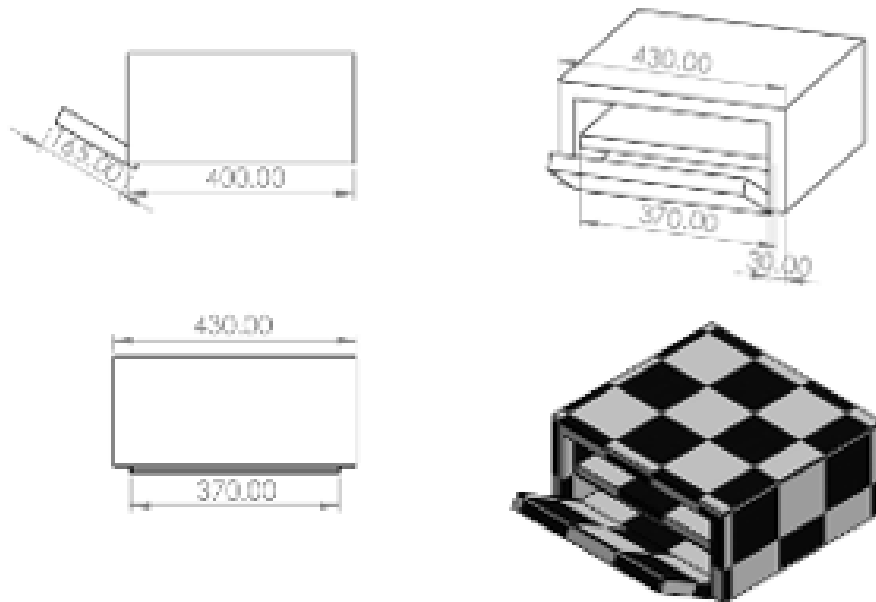
*Medidas de la estructura parte delantera y de lado*



*Nota.* Los valores de la estructura del prototipo (Elaboración propia, 2025).

### Figura 43

*Medidas de la cajuela donde va la resistencia y el molde del prototipo*



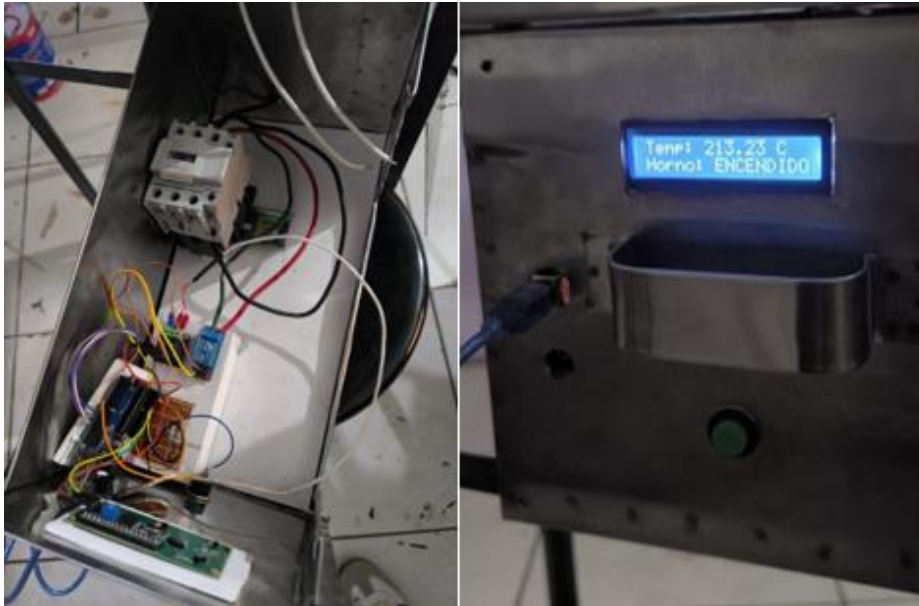
*Nota.* Los valores de la parte de encima del prototipo (Elaboración propia, 2025).

Después de ya tener la estructura y la cajuela de la parte superior pasamos a arma lo que es la cajuela de la parte inferior donde va conectado todo el sistema electrónico.

Primero armamos y/o conectamos todos los componentes electrónicos como el Max 31865, la placa Arduino, sensor PT100, contactor, placa Arduino, pantalla lcd, pulsador, entre otros componentes. En la figura 44 visualizamos los conexionados de manera correcta.

## Figura 44

*Cajuela de la parte inferior*



*Nota.* En la Cajuela donde va el sistema electrónico y parte delantera donde se visualiza el display LCD temperatura del horno (Elaboración propia, 2025).

Después del conectado y armado de la estructura tenemos por finalizado el armado del prototipo como se visualiza en la Figura 45, después de eso ya empezamos a realizar las pruebas correspondientes.

## Figura 45

*Prototipo finalizado*



*Nota.* Prototipo ya finalizado (Elaboración propia, 2025).

Antes de realizar las pruebas correspondientes realizamos un cálculo para el uso del inversor y batería.

Para el inversor se realiza el cálculo de la potencia máxima que se necesita para el correcto funcionamiento del prototipo, como tal tenemos que la potencia máxima es 3.38 Kw. Se opta por usar el inversor del laboratorio de fotovoltaica que es de 5kW por ende nuestro prototipo funcionara de la manera correcta.

#### **Figura 46**

*Inversor Felicitysolar del laboratorio de fotovoltaica*



*Nota.* Inversor felicitysolar; (Felicity Solar, 2022)

Para la batería se realiza el cálculo y nos da que se necesita 0.82 und. lo cual lo redondeamos a número entero y seria 1 batería, de igual manera utilizaremos la batería del laboratorio de fotovoltaica que es de 5KWH, ver Figura 47.

**Figura 47**

*Batería FelicitySolar que se encuentra en el laboratorio de fotovoltaica*

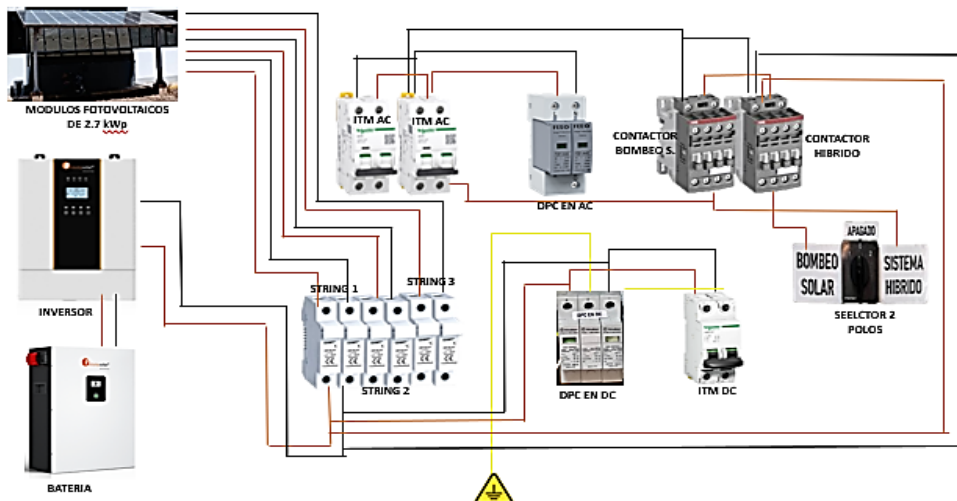


*Nota.* Batería felicitysolar; (Felicity Solar, 2022)

Una vez que ya tenemos el cálculo del inversor y la batería, según los cálculos con el inversor de 5KW y la batería de 5Kwh del laboratorio de fotovoltaica será más que suficiente para el funcionamiento de nuestro prototipo Ovenier. Como siguiente paso realizaremos la implementación del tablero de control. Ver figura 48.

**Figura 48**

*Diagrama del tablero de control instalado en el laboratorio de fotovoltaica*



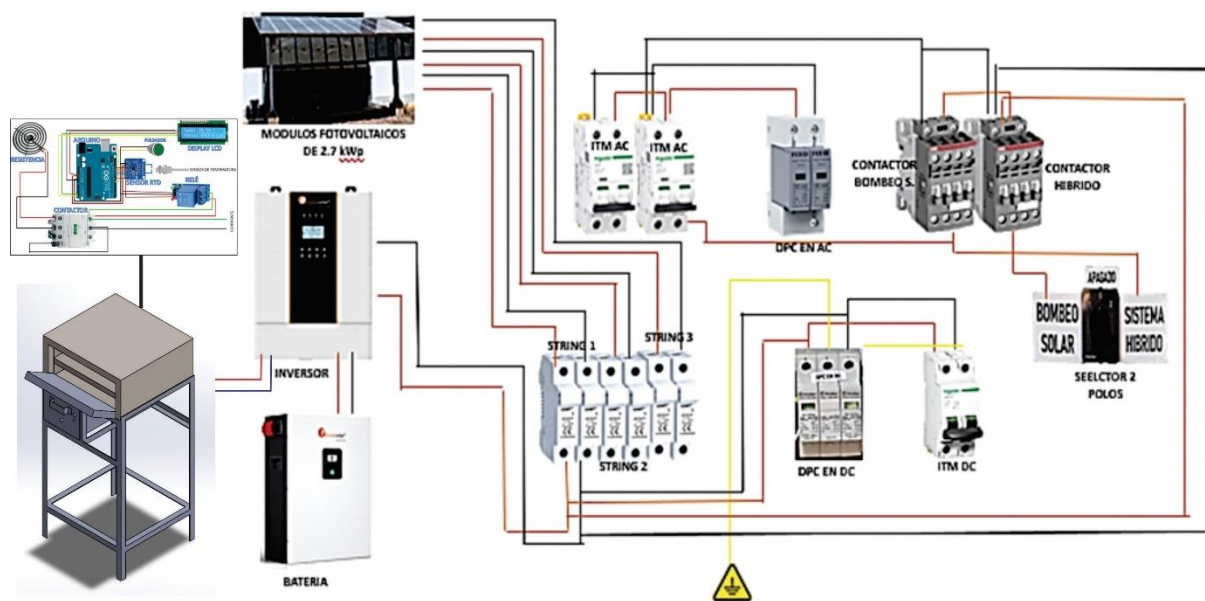
*Nota.* En el Tablero Eléctrico se hizo un ajuste y cambio de componentes. (Elaboración propia, 2025).

En la implementación de la Figura 48 se ve que tienes un selector debido a que el mismo Sistema también alimenta la Sistema de Bombeo de Laboratorio; por lo que se puso un selector para direccionar tanto el SFA tanto para el Bombeo/Sistema Híbrido. Además del cambio componentes respectivos para el correcto funcionamiento; es por eso que el cambio se hizo por componentes de marca reconocida como son la marca americana como ABB y la marca Alemana Schneider.

Una vez que ya tenemos implementado el inversor, la batería y el tablero de control podemos empezar a realizar las pruebas correspondientes del prototipo accionado con energía solar fotovoltaica como se ve en el Figura 49 siendo el Diagrama General y Figura 50 (Ya implementado) uniendo tanto el Sistema electrónico del prototipo (Figura 40) con el Sistema Fotovoltaico (Figura 48) del Centro de Investigación de Energías Renovables (CIER) de la UNAJ – AYABACAS.

**Figura 49**

*Diagrama General de la Instalación SFA y Prototipo Ovenier*



*Nota.* Diagrama general de la instalación; (Elaboración propia, 2025).

**Figura 50**

*Implementación del prototipo Ovenier en el laboratorio de fotovoltaica*



*Nota.* Instalación final en el laboratorio FV de Ingeniería en Energías Renovables.  
(Elaboración propia, 2025).

### 3.4.4 Análisis Económico del Prototipo

El análisis económico constituye una etapa fundamental para determinar con precisión el costo de producción de las baldosas elaboradas mediante el prototipo diseñado, así como para estimar el costo energético requerido, considerando que la alimentación eléctrica proviene de un sistema fotovoltaico aislado instalado en la edificación de la EPIER – UNAJ, sede Ayabacas. Por lo que para cada análisis se necesita el presupuesto para la construcción del prototipo siendo esta la Tabla 16.

**Tabla 16**

*Presupuesto de la construcción del prototipo.*

Ítems	Descripción	Costo		Costo
		Unitario	Cant.	Total
		(S/.)		(S/.)
<b>1</b>	<b>Estructura del prototipo</b>			
1.1	Plancha metálica acero inoxidable	380	1	380
1.2	Ángulos de fierro	60	2	120

1.3	Plancha de fierro 1mm	450	1	450
1.4	Fibra de vidrio	60	5	300
1.5	Resistencia industrial	2577.12	1	2577.12
<b>2</b>	<b>Montaje del prototipo</b>			
2.1	Alquiler de instrumentos	200	1	200
2.2	Alquiler de servicio de corte	500	1	500
2.3	Alquiler de servicio de soldadura	250	1	250
<b>3</b>	<b>Sistema electrónico del prototipo</b>			
3.1	Arduino	85	1	85
3.2	Sensor pt100	50	1	50
3.3	Relé	15	1	15
3.4	Display LCD	27	1	27
3.5	Contactador 30 A	60	1	60
3.6	Pulsador	5	1	5
3.7	Cables jumper	9.5	2	19
<b>4</b>	<b>Tablero de control</b>			
4.1	Contactador 18 A (Marca ABB)	187	2	374
4.2	ITM DC (Marca Schneider)	285	1	285
4.3	ITM AC (Marca Schneider)	125	2	250
<b>5</b>	<b>Cableado</b>			
5.1	Cable Solar de 10 AWG	10	5m	50
5.2	MC4	15	12	180
5.3	Cable de 3 polos	20	3	60
<b>6</b>	<b>Materia prima</b>			
6.1	Plástico triturado	3	100kg	300
<b>7</b>	<b>Moldeado</b>			
7.1	Molde de acero inoxidable	35	2	70
7.2	Acero Galvanizado de 20 x 20 (Contrapeso)	150	1	150
<b>8</b>	<b>Servicio de transporte</b>			
8.1	Transporte de traslado de la materia prima	50	1	50
8.2	Transporte del traslado del prototipo	20	6	120

<b>9</b>	<b>Ingeniería, gastos generales y administrativos</b>	1000	1	1000
<b>Total</b>				<b>7927.12</b>

*Nota.* El presupuesto solo es del Prototipo Maquina (Elaboración propia, 2025).

Para ello, se procedió a desglosar el estudio en tres componentes esenciales: **cuantificación de insumos, cálculo del costo de la materia prima y estimación del costo de energía** generada por el sistema solar sacando el VAN, TIR, B/C y PRI.

#### 3.4.4.1 Cuantificación y Cálculo del Costo de Insumo

Para determinar el costo unitario del material empleado (plástico triturado), se utilizó la relación entre el precio total de adquisición y el peso total del insumo disponible. La formulación empleada se expresa como; ver la Formula (25).

$$Costo\ kg\ materia\ prima = \frac{Precio\ materia\ prima}{Peso\ materia\ prima} \quad (25)$$

Reemplazando en la formula tenemos:

- Precio materia prima: 300 Soles
- Peso de materia prima: 100 kg

Sustituyendo en la fórmula:

$$Costo\ kg\ materia\ prima = \frac{300\ soles}{100\ kg} = 3$$

Por lo tanto, el costo unitario del plástico triturado adquirido es de **3 soles por kilogramo**.

#### 3.4.4.2 Cálculo del Costo por Baldosa

Cada baldosa de **20 cm × 20 cm x 5 mm** requiere **170 g** de material plástico. Para determinar el costo por gramo, se realiza la conversión correspondiente: Cálculo del costo de producción.

Para el cálculo reemplazaremos en la siguiente formula:

$$Costo\ gr\ materia\ prima = \frac{3\ soles}{1kg}$$

Convertimos los kilogramos (kg) a gramos (g)

$$Costo\ gr\ materia\ prima = \frac{3\ soles}{1kg} * \frac{1kg}{1000gr} = 0.003\ soles$$

Con ello, el costo de materia prima utilizado para producir una baldosa se obtiene mediante la formula (26):

$$Costo_{baldosa} = Peso_{baldosa} * Costo_{gr\ materia\ prima} \quad (26)$$

Siendo el Peso del PET triturado de la baldosa de 170 y el Costo Materia prima de S/.0.003

Reemplazando la formula (26):

$$Costo_{baldosa} = 170g * 0.003\ soles = 0.51\ soles$$

En consecuencia, el costo de materia prima para la elaboración de una baldosa estándar es de 0.51 soles.

### 3.4.4.3 Estimación de Costo de Energía

Para la estimación de los ingresos, se evaluó la generación del sistema fotovoltaico como un ahorro directo en el consumo de energía eléctrica del centro de cómputo. Con una generación anual de 2838.78 kWh y una tarifa MT4 de 0.6 soles por kWh (según el recibo de luz de la UNAJ), se determinó el ahorro inicial. Se proyecta que los ahorros anuales se incrementarán en un 5% anualmente, en correlación con el incremento esperado en la tarifa eléctrica, ya que se trata de un sistema de autoconsumo.

En cuanto a los egresos, se consideró el mantenimiento del sistema, que se estima en un 2% de la inversión inicial con un incremento anual del 5%, que hace referencia la Tabla 17. Además, se incluyó el costo de la renovación de los equipos principales al finalizar su vida útil.

**Tabla 17**

*Datos de Partida*

<b>Descripción</b>	<b>Fórmula / Detalle</b>
Ingreso inicial (Ahorro)	Energía generada × Tarifa MT4
Incremento por ingresos anuales	5% anual
Gasto por mantenimiento anual	5% anual
Costo inicial por mantenimiento (primer año)	2% × Inversión

*Nota.* Adaptado del método Creus (2014).

Siguiendo la metodología propuesta por Creus (2014), se establecieron los parámetros necesarios para evaluar la factibilidad económica del sistema. En el análisis se emplea una tasa de descuento del 10% (0.1) y se considera una vida útil ampliada del sistema fotovoltaico, estimada entre 15 y 25 años; usando solo 15 años para ponernos en el peor de los casos. Estos

elementos son fundamentales para calcular los indicadores de rentabilidad, como el Valor Actual Neto (VAN) y la Tasa Interna de Retorno (TIR). Por lo que tenemos lo siguiente el siguiente dato entradas para poder hacer el análisis Tabla 18:

**Tabla 18:**

*Datos de entrada del Proyecto*

Parámetro	Valor	Descripción
Inversión inicial ( $I_0$ )	S/ 7,927.12	Costo total del sistema fotovoltaico con instalación.
Ahorro anual inicial	S/ 1,703.27	Ahorro por energía generada en el año 1.
Crecimiento del ahorro	5% anual	Incremento por aumento de tarifa eléctrica.
Mantenimiento año 1	S/ 158.54	2% del costo de inversión.
Crecimiento del mantenimiento	5% anual	Actualización de costos de servicio.
Reposición de resistencia	S/ 2,577.12	Cada 5 años (años 5, 10 y 15).
Horizonte de evaluación	15 años	Ciclo de vida del proyecto.
Tasa de descuento	10%	Tasa utilizada para actualizar flujos.
Tipo de análisis	Flujo de caja real	

*Nota.* Tabla de entrada del proyecto de tesis; (Elaboración propia, 2025).

En consecuencia, tenemos que tener presentes las fórmulas son los siguientes acerca del VAN, TIR y PRI:

#### A. Valor Actual Neto (VAN)

El Valor Actual Neto es uno de los métodos más utilizados para evaluar la rentabilidad de un proyecto, ya que permite actualizar los flujos de caja futuros a valor presente y compararlos con la inversión inicial (Sapag & Sapag, 2014).

Su expresión matemática de la Formula (26):

$$VAN = -I_0 + \sum_{t=1}^n \frac{F_t}{(1+k)^t} \quad (26)$$

Donde la representación de  $F_t$  es Flujo neto de efectivo en cada periodo;  $I_0$  corresponde a la Inversión inicial realizada en el año cero;  $n$  el Número total de periodos del proyecto; y  $k$  Tasa mínima aceptable de retorno o tasa de descuento.

La tasa de descuento (TD) representa la ganancia mínima exigida al proyecto para justificar la inversión. Los criterios de evaluación señalan que, si el VAN es negativo, los beneficios actualizados no alcanzan a cubrir la inversión inicial, lo que indica que el proyecto no es rentable. Si el VAN es igual a cero, los beneficios equivalen exactamente a la inversión, por lo que la rentabilidad mínima se cumple, pero sin generar utilidad adicional. En cambio, un VAN positivo confirma que el proyecto supera la tasa mínima requerida y produce ganancias adicionales.

Criterios de decisión:

- $VAN > 0$ : El proyecto es lucrativo.
- $VAN = 0$ : Circunstancias neutras.
- $VAN < 0$ : El proyecto no es rentable.

### **B. Tasa Interna de Retorno (TIR)**

La Tasa Interna de Retorno es un indicador que expresa, en términos porcentuales, la rentabilidad que puede generar un proyecto, permitiendo conocer si se obtendrán pérdidas o ganancias respecto a la inversión realizada (Gitman & Zutter, 2015).

Según Gitman & Zutter (2015); La TIR se define como la tasa de descuento que iguala el valor presente de los flujos futuros con la inversión inicial, obteniendo como resultado un VAN igual a cero. Para su cálculo es indispensable conocer los flujos de caja proyectados del proyecto; como nos dice la formula (27)

$$VAN = -I_0 + \sum_{t=1}^n \frac{F_t}{(1 + TIR)^t} \quad (27)$$

Donde el flujo neto de efectivo en cada periodo, simbolizado como  $F_t$ , Inversión inicial realizada en el año cero  $I_0$ , la cantidad total de periodos del proyecto  $n$  y la Tasa mínima aceptable de retorno o tasa de descuento  $k$

Una vez obtenidos los flujos futuros, se determina la TIR, la cual representa la tasa mínima que debe alcanzar el proyecto para no generar pérdidas. Para que una inversión resulte atractiva, la TIR debe superar la tasa de descuento establecida.

Criterios de decisión:

- TIR > 0: Proyecto rentable.
- TIR = 0: Indiferente.
- TIR < 0: No rentable.

### **C. Periodo de Recuperación de la Inversión (PRI o Payback)**

El periodo de recuperación es el tiempo necesario para recuperar el monto invertido mediante los flujos de caja generados por el proyecto. Es un indicador que muestra cuándo se empieza a generar utilidades después de recuperar la inversión inicial (Brealey, Myers & Allen, 2019).

Ver formula (28)

$$Payback = a + \frac{I_0 - b}{F_t} \quad (28)$$

Donde el Periodo inmediatamente anterior a la recuperación es "*a*", la Inversión inicial del proyecto se representa por "*I<sub>0</sub>*"; Flujo acumulado hasta el periodo previo a la recuperación se representa como "*b*" y Flujo de caja en el periodo en que se recupera la inversión se representa como "*F<sub>t</sub>*".

Un PRI corto indica que la inversión se recupera rápidamente, reduciendo la incertidumbre y aumentando la viabilidad del proyecto. Por el contrario, un PRI largo sugiere que la recuperación toma más tiempo, lo cual puede generar dudas respecto a la conveniencia de ejecutar la inversión.

Entonces teniendo en cuenta la Tabla 18 que son los datos de entrada; y con las fórmulas 22,23 y 24 mencionadas sacamos una Tabla 19 de Flujo de Caja y VAN; que nos da un resumen donde los 15 años que se estimó en los datos de entrada viendo también que tiene un interés del 5 % y una tasa de descuento del 10% que nos indica la devaluación de la moneda en el tiempo.

**Tabla 19:***Flujo de Caja y VAN con un interés al 5% y una Tasa de descuento del 10%*

Año	Ingreso (S/.)	Mantenimiento (S/.)	Reposición (S/.)	Flujo Neto (S/.)	VAN		Flujo descontado (S/.)	VAN acumulado (S/.)
					Factor (10%)	sin descuento (S/.)		
0	0	0	0	-	-7927.12	1	<b>-7,927.12</b>	<b>-7927.12</b>
1	1,703.27	158.54	0	<b>7,927.12</b> 1,544.73	-6382.39	0.91	1,404.30	-6522.82
2	1,788.43	166.47	0	1,621.97	-4760.42	0.83	1,340.47	-5182.35
3	1,877.86	174.79	0	1,703.06	-3057.36	0.75	1,279.54	-3902.82
4	1,971.75	183.53	0	1,788.22	-1269.14	0.68	1,221.38	-2681.44
5	2,070.34	192.71	2,577.12	<b>-699.49</b>	-1968.63	0.62	<b>-434.33</b>	-3115.77
6	2,173.85	202.34	0	1,971.51	2.88	0.56	1,112.87	-2002.90
7	2,282.54	212.46	0	2,070.09	2072.96	0.51	1,062.28	-940.62
8	2,396.67	223.08	0	2,173.59	4246.55	0.47	1,014.00	73.37
9	2,516.51	234.24	0	2,282.27	6528.82	0.42	967.90	1041.28
10	2,642.33	245.95	2,577.12	<b>-180.74</b>	6348.09	0.39	<b>-69.68</b>	971.60
11	2,774.45	258.24	0	2,516.20	8864.29	0.35	881.91	1853.51
12	2,913.17	271.16	0	2,642.01	11506.30	0.32	841.82	2695.33
13	3,058.83	284.72	0	2,774.11	14280.42	0.29	803.56	3498.90
14	3,211.77	298.95	0	2,912.82	17193.23	0.26	767.03	4265.93
15	3,372.36	313.90	2,577.12	481.34	<b>17674.57</b>	0.24	115.23	<b>4381.16</b>

*Nota. Evaluación Económica (Elaboración Propia, 2025).*

Entonces sacando el TIR usando la Formula (23); se calcula el VAN usando esa tasa:

Si  $r=0.1816$ 

$$VAN = -7927.12 + \sum_{t=1}^{15} \frac{F_t}{(1 + 0.1816)^t}$$

Al evaluar todos los términos:

$$VAN(r = 18.16\%) = 0.0004 = 0$$

Lo que confirma matemáticamente que 18.16 % es la TIR, lo que significa que la inversión genera una rentabilidad anual superior a la tasa de descuento del 10 %. Por lo tanto, el proyecto es económicamente viable según el criterio del TIR.

Y el Payback simple se daría en el año 6 como se aprecia en la tabla 19; seguidamente Payback con la tasa de descuento se daría el año 8.

## CAPÍTULO IV

### RESULTADOS Y DISCUSIONES

#### 4.1 Resultado de temperatura del prototipo y moldeo de la baldosa

Ya que tenemos listo el prototipo Ovenier, procedemos a alistar nuestra materia prima la medida correcta como se visualiza en la figura 51.

#### Figura 51

*Peso de materia prima*



*Nota.* El peso aprox. Es de 170 g de materia requerida (Elaboración propia, 2025).

Una vez que ya tenemos la materia prima procedemos a colocarlo en el molde, así como se muestra en la figura 52, para luego llevarlo a procesar al horno Ovenier.

## **Figura 52**

*Materia prima en el molde*



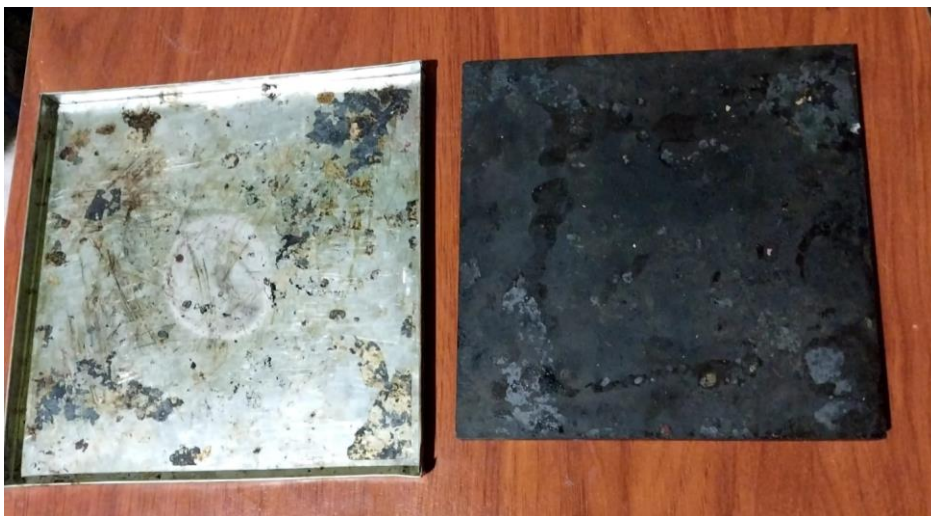
*Nota.* Materia prima en el molde (Elaboración propia, 2025).

Ya colocando la materia prima en el molde, encajamos bien el plástico triturado y a la vez le agregamos un peso extra para que pueda presionar más el plástico y nos da un buen resultado de la plancha con un grosor adecuado de. 2 cm.

En la siguiente Figura 53 Y Figura 54 visualizaremos el peso extra que agregamos para que se pueda comprimir bien la baldosa.

## **Figura 53**

*Plancha de acero que colocamos para que haga peso a la materia prima que está en el molde*



*Nota.* Molde de acero (Elaboración propia, 2025).

## Figura 54

*Peso de la plancha de contrapeso*



*Nota.* Placa de contrapeso (Elaboración propia, 2025).

Antes de poner el molde con la materia prima agregada, colocamos la plancha de contrapeso de 3.453 Kg para tener un mejor resultado.

## Figura 55

*Colocamos el molde en el horno Ovenier*



*Nota.* Retiro del molde del prototipo (Elaboración propia, 2025).

Una vez colocado el molde en el interior del horno (ver Figura 55), se inicia el proceso de precalentamiento hasta alcanzar los 100 °C, temperatura requerida para poner en marcha las cuatro fases operativas del prototipo Ovenier destinadas a la fabricación de las baldosas. El control térmico se realiza mediante un sistema Arduino conectado a un sensor PT100, cuya lectura es registrada en el software CoolTerm. Los datos obtenidos permiten analizar y graficar el comportamiento de la temperatura durante el proceso, lo cual se presenta en las Figuras 56 y 57. Cada fase del ciclo térmico tiene una duración aproximada de 20 a 25 minutos.

### **Figura 56**

*Toma de temperatura dentro del horno con la cámara termográfica*

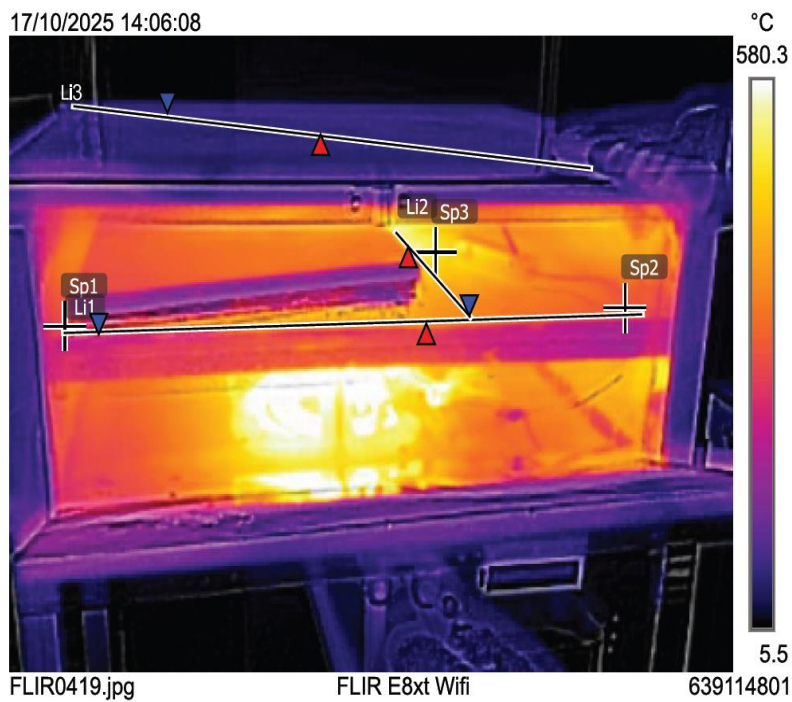


*Nota.* Medición de temperatura con la cámara termográfica (Elaboración propia, 2025).

En la Figura 56 se observa el uso de la cámara termográfica FLIR Tools, empleada para registrar las temperaturas correspondientes a las cuatro fases descritas previamente. El objetivo de estas mediciones fue analizar el comportamiento térmico del horno y contrastarlo con los cálculos establecidos en la metodología. A partir de estas mediciones, el software FLIR Tools generó el informe termográfico mostrado en la Figura 57.

**Figura 57**

*Imagen Tomada del Prototipo Ovenier por la Cámara termográfica.*



*Nota.* Donde dice medidas son los puntos y líneas donde se nos da las distintas temperaturas. (Elaboración propia, 2025).

**Tabla 20**

*Datos de temperatura de las distintas líneas y puntos dados por FlirTools*

Medidas		
Sp1	300.0 °C	
Sp2	312.4 °C	
Sp3	483.0 °C	
Li1	Max	365.2 °C
	Min	257.6 °C
	Average	323.3 °C
Li2	Max	514.1 °C
	Min	345.8 °C
	Average	423.1 °C
Li3	Max	82.3 °C
	Min	75.3 °C
	Average	78.8 °C
Parámetros		
Emisividad	0.34	
Temp. refl.	20 °C	

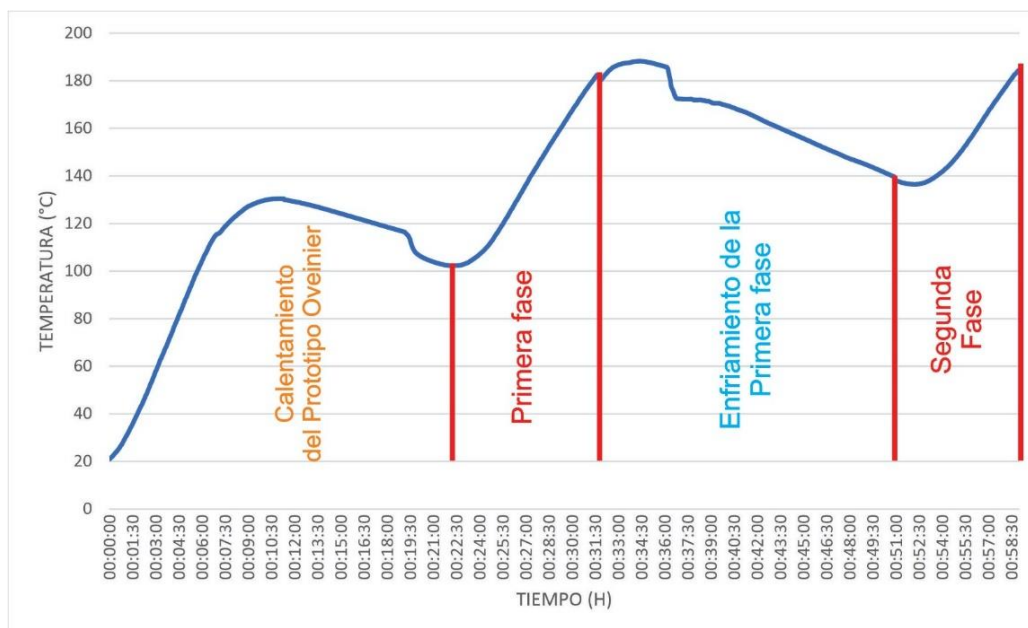
*Nota.* Estos datos son dados de la Figura 57 del informe de FlirTools (Elaboración propia, 2025).

Acerca de la Figura 57 y Tabla 20, al observar los puntos de medición Sp1, Sp2 y Sp3, se evidencia que el interior del horno presenta un gradiente térmico significativo, alcanzando valores desde 300 °C hasta 483 °C, siendo este último el punto de mayor concentración de calor. Esto confirma que el sistema genera temperaturas suficientes para asegurar la fusión homogénea del PET durante el proceso. Del mismo modo, las líneas Li1 y Li2 muestran perfiles térmicos que superan los 400 °C en ciertos tramos, lo cual permite identificar zonas internas donde la transferencia de calor es más eficiente. En contraste, la línea Li3, situada en la parte exterior, registró valores promedio cercanos a 79 °C, lo que demuestra que, pese a las altas temperaturas internas, el aislamiento térmico del prototipo reduce de manera efectiva la transferencia hacia el exterior. Estos resultados permiten comprender mejor el comportamiento térmico del horno y respaldan la validez del diseño y los cálculos previos realizados en la metodología.

Seguidamente, mediante el registro continuo de datos en CoolTerm y el control implementado en el sistema Arduino, se obtuvo la caracterización térmica del proceso reflejada en las Figuras 58 y Figura 59. Estas gráficas que son (Temperatura vs Tiempo) permiten observar con precisión la evolución de la temperatura en cada una de las fases del ciclo de calentamiento, facilitando el análisis del comportamiento térmico del prototipo Oveinier y su desempeño durante la fusión del PET.

### Figura 58

*Gráfico de la Temperatura vs Tiempo captada por la cámara termográfica (fase 1-2)*



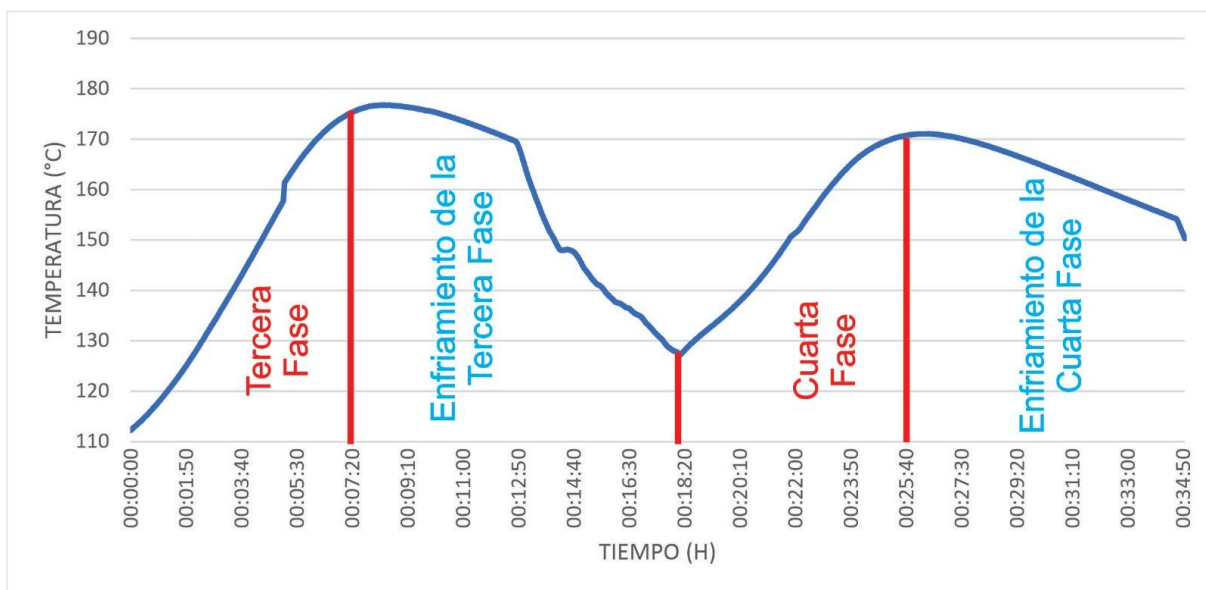
*Nota.* Gráfico de temperatura (Elaboración propia, 2025).

En la Figura 58 se presenta el gráfico de temperatura en función del tiempo correspondiente al precalentamiento y a las fases 1 y 2 del proceso. El precalentamiento inicial dura aproximadamente 22 minutos, durante los cuales la temperatura muestra una tendencia ascendente continua hasta alcanzar cerca de 120 °C. Este punto marca el apagado automático del sistema para permitir la colocación del molde con el PET triturado e iniciar formalmente la fase 1.

En la fase 1, el calentamiento vuelve a activarse y la temperatura asciende nuevamente hasta alcanzar aproximadamente 180 °C. Una vez alcanzado este valor, el circuito de control apaga la resistencia eléctrica; sin embargo, debido a la inercia térmica del horno, la temperatura continúa aumentando por un breve periodo antes de iniciar su descenso natural. Esta primera etapa de fusión toma alrededor de 10 minutos y permite el ablandamiento inicial del material PET. Posteriormente, se observa un periodo de enfriamiento controlado de aproximadamente 20 minutos, en el cual la resistencia permanece apagada, permitiendo que la temperatura disminuya de manera progresiva. Finalizado este intervalo, se procede a la segunda fase de calentamiento iniciando desde los 140°C, en la que nuevamente la temperatura asciende hasta el orden de 180 °C mediante un reinicio manual del prototipo. Esta fase completa la fusión de una de las caras de la baldosa, tras lo cual se realiza el cambio de posición del molde para dar inicio a la fase 3.

**Figura 59**

*Gráfico de la Temperatura vs Tiempo captada por la cámara termográfica (fase 3-4)*



*Nota.* Gráfico de temperatura (Elaboración propia, 2025).

En la Figura 59 se muestra el comportamiento térmico correspondiente a las fases 3 y 4 del proceso. Una vez realizado el cambio de cara del molde, se inicia la fase 3, durante la cual el sistema de calentamiento vuelve a activarse y la temperatura asciende hasta aproximadamente 170 °C. Este valor se alcanza con mayor rapidez debido a que el material PET ya se encuentra previamente ablandado por las fases anteriores. Al llegar a dicha temperatura, el circuito de control apaga automáticamente la resistencia; sin embargo, la inercia térmica del horno genera un ligero aumento adicional antes de iniciar el descenso natural. Esta fase tiene una duración aproximada de 7 minutos y consolida la fusión de la segunda cara de la baldosa.

Posteriormente, se presenta un periodo de enfriamiento de alrededor de 10 minutos, durante el cual la resistencia permanece desactivada y la temperatura disminuye de forma progresiva. Este intervalo es necesario para evitar deformaciones del material y reducir riesgos de quemaduras durante la manipulación del molde. Finalizado este enfriamiento, se procede a la cuarta y última fase, que inicia con una temperatura cercana a los 130 °C. Mediante un reinicio manual del prototipo, el sistema vuelve a calentarse hasta alcanzar nuevamente los 170 °C, asegurando la fusión homogénea final de la pieza. Culminado este calentamiento, se realiza un segundo periodo de enfriamiento de aproximadamente 10 minutos, indispensable para garantizar la solidificación completa del material y permitir el retiro seguro de la baldosa sin riesgo de quemaduras o daños estructurales (ver figura 58).

**Tabla 21**

*Temperaturas de las pruebas realizadas*

		Descripción	Temperatura	
			Mínima	Máxima
<b>Primera</b>	<b>prueba</b>	Fase 1	100 °C	178 °C
		Fase 2	140 °C	185 °C
		Fase 3	105 °C	175 °C
		Fase 4	127 °C	170 °C
<b>Segunda</b>	<b>prueba</b>	Fase 1	105 °C	180 °C
		Fase 2	145 °C	178 °C
		Fase 3	105 °C	168 °C
		Fase 4	130 °C	190 °C

*Nota.* Tabla de temperaturas (Elaboración propia, 2025).

En la tabla 21 se muestran que en la primera tenemos la temperatura mínima de 100°C y la temperatura máxima de 185°C, en la segunda tenemos que la temperatura mínima es de 105°C

y la temperatura máxima de 190°C.

**Figura 60**

*Baldosa recién desmoldada*



*Nota.* Muestra final (Elaboración propia, 2025).

Una vez culminadas las fases descritas, se procede al desmolde de la muestra de baldosa plástica. En la Figura 60 se presentan las dimensiones obtenidas tras el proceso de fusión y moldeo. Posteriormente, se realizó la verificación del peso de la pieza (ver Figura 61), sin observarse variaciones significativas respecto al peso inicial del material utilizado.

### Figura 61

*Peso en gramos de la muestra de baldosa realizada*



*Nota.* Peso de la materia prima ya procesada; (Elaboración propia, 2025).

### Figura 62

*Vista del grosor de la baldosa*

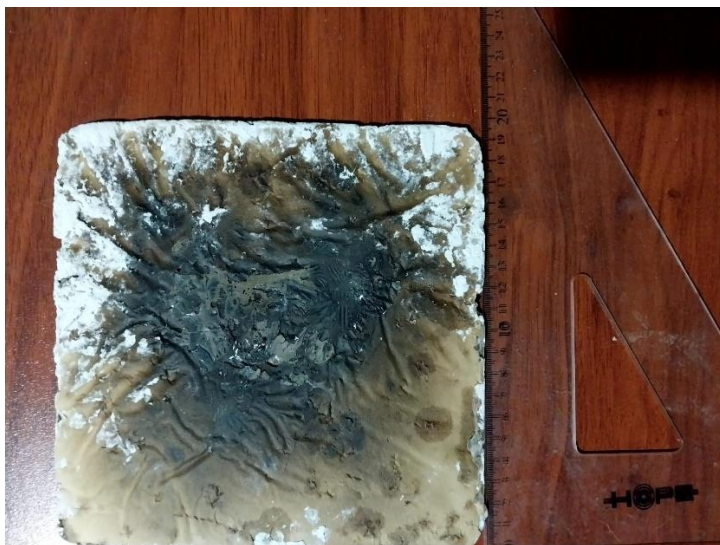


*Nota.* Grosor de la muestra; (Elaboración propia, 2025)

En cuanto al grosor, la medición presentada en la Figura 62 muestra que la baldosa obtenida alcanza un espesor aproximado de 5 mm (0.5 cm). Este valor se considera adecuado para aplicaciones de pequeña carga, ya que proporciona una estructura compacta y resistente, resultado directo del proceso de fusión y compresión del material PET. El espesor logrado evidencia que el método empleado permite obtener una pieza uniforme y con suficiente rigidez para su manipulación y uso funcional.

### **Figura 63**

*Medida de la baldosa ya procesada*



*Nota.* Muestra de la baldosa (Elaboración propia, 2025).

La muestra obtenida presenta dimensiones aproximadas de 19.9 cm × 19.9 cm, con una variación de  $\pm 0.5$  cm, tal como se muestra en la Figura 63.

### **Figura 64**

*Resultados finales después de elegir en que ámbito poder utilizar las baldosas.*



*Nota.* Resultado final de la baldosa (Elaboración propia, 2025).

En relación con el producto final, se presentan ejemplos representativos de las posibles aplicaciones de las baldosas elaboradas a partir de plástico reciclado. En la Figura 64, se aprecia que, en el sector derecho, la baldosa fue empleada como soporte rígido, cumpliendo una función similar a la de un panel acrílico para la exhibición de una imagen. Para este propósito, se adhirió sobre la superficie un papel tipo Sticker y se procedió posteriormente a realizar un acabado mediante corte láser, con el fin de obtener bordes definidos y una apariencia estética acorde con el diseño previsto.

Asimismo, en el sector izquierdo de la misma figura, la baldosa fue recubierta con una capa delgada de masilla para pared, lo que permitió generar una superficie lisa, uniforme y adecuada para su uso como elemento de cielo raso en espacios interiores. Este tratamiento evidencia la versatilidad del material obtenido y su potencial de aplicación en distintos contextos constructivos y decorativos.

#### **4.2 Energía solar fotovoltaica necesaria para suministrar al prototipo Ovenier**

El dimensionamiento del generador fotovoltaico se realizó en función de la demanda energética del prototipo de máquina para la transformación de botellas PET en baldosas, así como de las condiciones de irradiación solar en la sede Ayabacas de la UNAJ.

- Demanda energética del prototipo

El prototipo utiliza una resistencia tubular industrial alimentada a 220 V, con una corriente nominal de 5,89 A. La potencia eléctrica de operación es de 1295.8 W.

El proceso de moldeo requiere aproximadamente 1,5 h por muestra; considerando 4 ciclos de producción diarios, el tiempo total de funcionamiento del horno es de 6 h/día. La energía diaria requerida por el prototipo es de 7774.8 Wh.

Para el cálculo de módulos fotovoltaicos utilizaremos los siguientes datos:

***E***: 7774.8 Wh es la energía diaria requerida

***Eff*** : 0.75 es la eficiencia del sistema fotovoltaico

**HSP**: 6 HSP representa las horas del sol pico diarias

***W<sub>p</sub>***: 50W es la potencia nominal de cada panel

Los datos lo reemplazaremos en la ecuación 13, como resultado se determinó que se requieren 35 módulos fotovoltaicos de 50 W para cubrir la demanda energética del prototipo. No obstante, se consideró la instalación de 36 módulos con el fin de lograr una configuración eléctrica más estable y eficiente. Asimismo, fue necesario verificar que el arreglo fotovoltaico se conectara de manera que el voltaje total de operación resultante fuese compatible con la alimentación de la resistencia, cuyo valor nominal es de 220 V.

El punto de máxima potencia del generador fotovoltaico es 2261.90W y el rango del inversor de 5000W, en resumen, el voltaje y la corriente del Inversor híbrido se encuentra dentro del límite del arreglo fotovoltaico.

Asimismo, en la EPIER – Ayabacas existe ya instalado un generador fotovoltaico de 2,7 kWp, compuesto por 54 módulos de 50 W distribuidos en 3 strings de 18 módulos, cuya potencia instalada supera la potencia mínima teórica calculada para el funcionamiento del prototipo.

### 4.3 Análisis Económico obtenidas a nivel prototipo de maquina

El análisis económico desarrollado permitió determinar con precisión el costo de producción de las baldosas elaboradas mediante el prototipo diseñado, así como evaluar la viabilidad del sistema energético que alimenta su funcionamiento. Para ello, se consideró el presupuesto total de construcción del prototipo y los costos asociados a la materia prima, operación y energía suministrada por el sistema fotovoltaico instalado en la edificación de la EPIER – UNAJ, sede Ayabacas.

En primer lugar, se determinó el costo unitario del insumo principal (plástico triturado), obteniéndose un valor de S/ 3.00 por kilogramo. Dado que cada baldosa requiere 170 g de material, el costo directo de materia prima por unidad asciende a **S/ 0.51**, permitiendo establecer una base precisa del costo de producción.

Posteriormente, se evaluó el desempeño económico del sistema fotovoltaico que abastece de energía al prototipo. Con una generación anual de 2838.78 kWh y una tarifa MT4 de 0.60 soles por kWh, el ahorro inicial es de S/ 1,703.27, el cual se proyectó con un crecimiento anual del 5% asociado al incremento tarifario. Asimismo, se consideró el mantenimiento del sistema (2% de la inversión inicial, con incremento anual del 5%) y la reposición de la resistencia eléctrica en los años 5, 10 y 15. Teniendo la Tabla 22 el cual nos resume los resultados.

**Tabla 22**

*Resumen de resultados económicos*

<b>Indicador</b>	<b>Resultado</b>	<b>Interpretación / comentario</b>
VAN (tasa 10%)	<b>S/ 4,381.17</b>	VAN positivo → proyecto rentable a 10%.
TIR (IRR)	<b>18.16 %</b>	TIR > tasa de corte (10%) → atractiva rentabilidad.
Relación B/C	<b>1.34</b>	Por cada S/1 invertido se recupera ≈ S/1.34 (VP).
PRI simple	<b>6 años</b>	Recuperación nominal de la inversión.
PRI descontado (10%)	<b>8 años</b>	Recuperación considerando valor del dinero.

*Nota.* Resumen de los resultados económicas en un rango 15 años. (Elaboración propia, 2025)

Se creó un flujo de caja económica para un período de evaluación de 15 años y una tasa del 10% para descontar, utilizando los datos de entrada establecidos. La Tabla 19 indica que la recuperación simple de la inversión se logra en el sexto año si no se aplica descuento. No, sin embargo, el periodo de recuperación descontado (PRI) se presenta en el octavo año cuando se toma en cuenta el valor temporal del dinero, lo que muestra un comportamiento acorde con la tasa de actualización utilizada. Se obtiene un valor positivo de S/ 4,381.16 al calcular el Valor Actual Neto (VAN) para los 15 años estudiados, lo que señala que las ganancias actualizadas son mayores a los costos de operación e inversión del proyecto. de S/ 4,381.16 al calcular el Valor Actual Neto (VAN) para los 15 años estudiados, lo que señala que las ganancias actualizadas son mayores a los costos de operación e inversión del proyecto. Además, la tasa interna de retorno alcanzada fue de 18.16%, que es mayor que el 10% de la tasa de descuento, lo cual verifica la viabilidad económica y la rentabilidad del sistema según el criterio de TIR. En suma, estos hallazgos evidencian que el prototipo de la máquina tiene un costo de producción bajo por baldosa y que su funcionamiento con energía fotovoltaica es una opción económicamente factible en el contexto de la EPIER - UNAJ. Asimismo, las ganancias obtenidas del precio de venta de las baldosas producirían rendimientos adicionales. La propuesta se puede validar como sostenible desde el punto de vista técnico y económico, ya que los costos de los insumos son bajos, los ahorros energéticos aumentan y la vida útil del sistema es la adecuada. De esta manera, se cumple con el objetivo propuesto en el estudio de forma satisfactoria.

#### **Impacto de variaciones en los supuestos:**

- Si las tarifas eléctricas crecieran menos del 5 %, el VAN disminuiría, pero el proyecto seguiría siendo viable mientras la TIR se mantenga por encima del 10 %.
- Si la frecuencia de reposición de la resistencia aumentara, la recuperación de la inversión sería más lenta, pero la rentabilidad global permanecería positiva debido al bajo costo unitario por baldosa.
- Si el costo de mantenimiento aumentara, afectaría la utilidad neta, pero no comprometería la viabilidad del sistema mientras los incrementos no superen el 10 % anual.

#### **4.4 Discusión de la Investigación.**

La comparación de los resultados obtenidos con investigaciones previas a nivel internacional, nacional y regional nos permite contextualizar el desempeño del prototipo Ovenier y valorar

su aporte dentro del campo de la valorización del PET a través de procesos termo–transformativos (fusión, inyección e extracción).

Respecto al primer objetivo específico (moldeo, espesor y comportamiento térmico del PET) Los resultados experimentales del prototipo confirman lo reportado por investigaciones internacionales sobre el rango de fusión del PET. Montero et al. (2021) indican que el material puede fundirse de manera eficiente entre 110 °C y 220 °C, evitando su degradación térmica si no se supera este límite. El Ovenier operó de forma estable alrededor de los 180 °C, sin evidenciar carbonización, lo que ratifica que se trabajó dentro del intervalo seguro para la plastificación por capas del material triturado. Andrés y Ugalde (2012) señalaron que la fabricación de baldosas de mayor espesor mediante inyección requiere temperaturas cercanas a 200 °C debido al volumen y masa del material. A diferencia de ello, el Ovenier produce baldosas de menor espesor (5 mm), por lo que la temperatura requerida es menor y el proceso resulta energéticamente más eficiente. Esta tendencia confirma que la demanda térmica del PET se reduce proporcionalmente con el espesor de la pieza, lo que favorece los prototipos de pequeña escala. Asimismo, estudios como los de Gutiérrez y Rangel (2005) y Sánchez y Castellanos (2020) resaltan la importancia del tamaño del triturado en la calidad final de la pieza moldeada. En concordancia con ello, el presente trabajo demuestra que el triturado menor a 1 cm permite obtener baldosas uniformes, sin cavidades internas y con buena estabilidad dimensional. Este comportamiento coincide con experiencias de Colombia, Ecuador y México, donde se observó que la distribución térmica mejora cuando se trabaja con partículas finas de PET. Aunque no fue posible incorporar ensayos mecánicos o modelos térmicos avanzados debido a limitaciones de equipamiento, se realizó un análisis manual de pérdidas térmicas del horno, verificándose experimentalmente mediante una cámara FLIR una temperatura externa cercana a 78.8 °C, valor coherente con los 80 °C estimados teóricamente. Esta concordancia valida el desempeño térmico del aislamiento y del diseño del prototipo.

Así mismo con el segundo objetivo específico (demanda energética y viabilidad operativa) A nivel nacional, Delgado et al. (2020) evidenciaron que las máquinas industriales de inyección de plástico requieren potencias de hasta 160 kW, lo que dificulta su implementación en instituciones educativas o municipios con recursos limitados. En contraste, el Ovenier opera con apenas 1295.8 W suministrados por energía solar fotovoltaica, representando una alternativa de bajo consumo, sostenible y 100 % autónoma de la red eléctrica convencional. En el ámbito regional, los estudios de la Municipalidad Provincial de San Román (2019) y de Chullunquia (2024) confirman el incremento acelerado de residuos PET en Juliaca y

alrededores. Esto refuerza la pertinencia de desarrollar tecnologías locales de transformación, capaces de dar valor agregado al material en origen. El Ovenier responde a esta necesidad, demostrando que es posible procesar PET a nivel local sin depender de maquinaria industrial ni transporte hacia centros de reciclaje en otras regiones.

Respecto al tercer objetivo específico (evaluación económica) Los resultados económicos muestran que el proyecto presenta un VAN positivo y un periodo de recuperación estimado en el año 8 considerando una tasa de descuento del 10 %. Si se excluye dicho supuesto, la recuperación ocurre en el año 6, lo que evidencia la factibilidad financiera del prototipo. Además, su costo de construcción (S/. 7927.12) es considerablemente menor en comparación con prototipos industriales como los referidos por Delgado et al. (2020), cuyo costo supera los \$10 000, sin considerar aún los elevados requerimientos energéticos de dichas máquinas. Este menor costo, junto con el uso de energía solar y la disponibilidad local de PET, convierte al prototipo en una opción viable para instituciones educativas, emprendimientos comunitarios o programas municipales de reciclaje.

En conjunto, los resultados muestran que el prototipo Ovenier se alinea con las tendencias reportadas en estudios internacionales respecto al comportamiento térmico del PET, pero introduce un elemento diferenciador clave: el uso exclusivo de energía solar fotovoltaica como fuente de alimentación. Esto reduce los costos operativos y posiciona al prototipo como una alternativa sostenible y adaptable a contextos rurales y académicos.

## CAPÍTULO V CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 5.1 Conclusiones

El diseño y construcción del prototipo *Ovenier* demuestra que es técnica y energéticamente viable transformar botellas PET en baldosas utilizando exclusivamente energía solar fotovoltaica. El proyecto aporta nuevo conocimiento al integrar tres dimensiones normalmente estudiadas por separado: el comportamiento térmico del PET bajo un esquema de control artesanal – industrial, el aprovechamiento energético real de un sistema fotovoltaico aislado y la evaluación económica del proceso. La investigación valida una tecnología aplicable y replicable que permite valorizar residuos plásticos mediante un proceso sostenible, con bajo costo operativo y potencial de uso en recubrimientos, elementos decorativos y aplicaciones no estructurales en la industria de la construcción.

El prototipo logró alcanzar y mantener temperaturas entre 100 °C y 190 °C, permitiendo la fusión homogénea del PET triturado y la obtención de baldosas con adecuada compactación y espesor uniforme (~5 mm). El análisis termográfico confirmó la coherencia entre los cálculos teóricos y el comportamiento térmico real del sistema, aportando evidencia experimental sobre el rango operativo óptimo del PET y sobre la eficiencia del sistema de aislamiento térmico diseñado. Este resultado sustenta la aplicabilidad técnica del prototipo para la elaboración de baldosas de plásticos aptos para usos decorativos y de recubrimiento.

La demanda diaria de 7.77 kWh puede ser suministrada por una matriz fotovoltaica de 36 paneles de 50 W o mediante el generador existente de 2.7 kWp en la EPIER–UNAJ, demostrando que el sistema fotovoltaico es suficiente y estable para operar el prototipo ya que la conexión no es de carácter permanente, por lo que el sistema no operará de manera continua las 24 horas del día. El aporte científico consiste en demostrar empíricamente la compatibilidad entre sistemas térmicos de alta demanda puntual y sistemas de generación renovable, donde las HSP permiten viabilizar procesos de transformación de materiales sin recurrir a energía convencional.

El costo de producción por baldosa es de S/0.51 y el sistema presenta una rentabilidad positiva ( $VAN=S/4,381.16$ ;  $TIR = 18.16\%$ ). Los supuestos económicos utilizados en el crecimiento de tarifas eléctricas del 5 %, mantenimiento del 2 % anual y reposición de la resistencia cada 5 años se justifican porque representan condiciones conservadoras y acordes con la experiencia operativa de sistemas fotovoltaicos aislados.

La investigación aporta al conocimiento científico al demostrar empíricamente que el PET puede ser moldeado de manera eficiente mediante un sistema térmico de baja potencia alimentado por energía solar, lo que abre líneas de investigación en tecnologías de reciclaje descentralizado, economía circular y aprovechamiento energético en regiones altoandinas. Asimismo, provee un modelo metodológico reproducible para evaluar térmica, energética y económicamente la transformación de residuos en nuevos materiales aplicables.

## **5.2 Recomendaciones**

Se recomienda operar el prototipo de manera constante dentro del rango óptimo de 110 °C a 190 °C, ya que en este intervalo se evidenció una adecuada fusión del PET sin degradación del material. Superar este rango puede generar carbonización superficial y pérdida de propiedades mecánicas, mientras que temperaturas inferiores ocasionan una fusión incompleta y defectos en la baldosa, también se recomienda mejorar el aislamiento térmico del prototipo mediante el aumento del espesor del material aislante o la incorporación de aislantes de mayor conductividad térmica inversa, con el fin de reducir pérdidas de calor, disminuir el consumo energético y mejorar la eficiencia del sistema fotovoltaico asociado.

Se sugiere optimizar el diseño del molde incorporando sistemas de ventilación o alivio de gases, así como superficies antiadherentes, con el objetivo de facilitar el desmolde, reducir imperfecciones superficiales y mejorar el acabado final de las baldosas. Se recomienda utilizar PET triturado con un tamaño de partícula uniforme (preferentemente menor a 1 cm), ya que una granulometría homogénea favorece una fusión más uniforme, mejor compactación del material y una mejor distribución térmica dentro del molde.

Se recomienda implementar un sistema de monitoreo en tiempo real del consumo energético del prototipo Ovenier y de la generación del sistema fotovoltaico, lo cual permitirá evaluar la eficiencia energética del proceso y optimizar la gestión del uso de la energía solar disponible.

Para trabajos futuros, se recomienda evaluar el escalamiento del prototipo Ovenier a una mayor capacidad de producción, considerando resistencias de mayor potencia, moldes múltiples y un sistema fotovoltaico ampliado, manteniendo el enfoque de sostenibilidad y bajo consumo energético. Se recomienda promover la replicación del prototipo en instituciones educativas, municipalidades y comunidades locales, como una alternativa tecnológica para la gestión de residuos plásticos y la generación de productos de valor agregado.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aguilar, M., & Cruz, R. (2016). *Estudio de pre-factibilidad para la instalación de una planta productora de baldosas de plástico reciclado para piso y pared* (Tesis de licenciatura). Universidad de Lima, Perú. Recuperado de <https://repositorio.ulima.edu.pe/handle/20.500.12724/3551>
- Alexander, C., & Sadiku, M. (2013). *Fundamentos de circuitos eléctricos* (5.<sup>a</sup> ed.). McGraw-Hill Interamericana. Recuperado de <https://steltda.wordpress.com/>
- Andrés, F., & Ugalde, M. (2012). *Diseño y fabricación de un molde para inyectar pieza de plástico* (Tesis de ingeniería). Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, Ecuador. Recuperado de <https://academica-e.unavarra.es/>
- Bolaños, J. (2019). *Reciclado de plástico PET*. Universidad Católica San Pablo, Arequipa, Perú. Recuperado de <https://bibliotecadigital.oducal.com/>
- Boylestad, R. (2010). *Análisis introductorio de circuitos* (12.<sup>a</sup> ed.). Pearson Educación.
- Brealey, R., Myers, S., & Allen, F. (2019). *Principios de finanzas corporativas* (13.<sup>a</sup> ed.). McGraw-Hill Education.
- Castejon, A. & Santamaría; G. (2010). *Instalaciones Solares Fotovoltaicas* (Editorial Edítex).
- Cengel, Y. & Ghajar, A. (2015). *Transferencia de calor y masa: Fundamentos y aplicaciones* (5.<sup>a</sup> ed.). McGraw-Hill.
- Cerna, J., León, C., Mamani, F., & Vidal, J. (2023). *Modelo ProLab: Ecobaldosas*. Universidad Pontificia Católica del Perú, Lima, Perú. Recuperado del repositorio <https://repositorio.pucp.edu.pe/20.500.12404/24864>
- Chullunquia, R. (2024). *Caracterización de residuos sólidos municipales en el distrito de San Miguel – Provincia de San Román - Puno - 2024*. Recuperado de <http://repositorio.upsc.edu.pe/handle/UPSC/924>
- Cubides, J. (2018). *Material compuesto a base de PET aplicado a un sistema de obra falsa* (Tesis de ingeniería). Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Bogotá, Colombia. Recuperado de <https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/86619>

Creus, A. (2014). Energías renovables. Bogotá: Ediciones de la U.

Delgado, P., Flores, B., Palomino, S., & Quispe, M. (2020). *Fabricación de baldosas a base de plástico reciclado (Tesis de licenciatura)*. Universidad San Ignacio de Loyola, Lima, Perú. Obtenido de <https://hdl.handle.net/20.500.14005/10632>

Díaz, A., & Rivera, S. (2021). *Desarrollo de un sistema de automatización industrial aplicado a una máquina de moldeo por inyección* (Tesis de ingeniería). Universidad Técnica de Manabí, Ecuador. Recuperado de <https://repositorioacademico.upc.edu.pe/handle/10757/655533>

Dueñas, M., & Vera, A. (2017). Construcción de un prototipo de baldosa para piso usando plástico PET reciclado y cascarilla de arroz. *LACCEI Conference*, 1–5. <https://doi.org/10.18687/LACCEI2017.1.1.120>.

Europe, S. (2019). Radiación solar, HSP e irradiancia. Recuperado de SunFields: <https://www.sfe-solar.com/>

Felicity Solar. (11 de 04 de 2022). *Sistema de almacenamiento comercial*. Obtenido de Felicity Solar: <https://latam.felicitysolar.com/>

FEEO. (12 de 03 de 2024). *Producción Profesional de productos solares fotovoltaicos*. Recuperado de FEEO: <https://www.feeo.com.cn/>

Flir. (11 de 02 de 2022). *Aplicación FLIR Tools*. Obtenido de Flir: <https://flir.custhelp.com>

Floyd, T. (2013). Libro de: *Principios de circuitos eléctricos: Electrónica, eléctrica*. Pearson Educación.

Geyer, R., Jambeck, J. & Law, K. (2017). *Production, use, and fate of all plastics ever made*. *Science Advances*, 3(7), e1700782. Obtenido de <https://doi.org/10.1126/sciadv.1700782>

Giancoli, D. (2014). *Física para ciencias e ingeniería con física moderna* (4.<sup>a</sup> ed.). Pearson.

Gómez, J. (2016). *Diagnóstico del impacto del plástico-botellas sobre el medio ambiente: Estado del arte* (Tesis). Universidad Tecnológica de Pereira, Colombia. Recuperado de <https://repository.unad.edu.co/bitstream/handle>

- GTA Ambiental. (2023). Inyectoras de plástico. Obtenido de <https://gtaambiental.com/>
- Gutierrez, J. & Rangel, J. (2005). *Análisis térmico y estructural en molde para inyección de plásticos* (Tesis). Universidad Industrial de Santander, Colombia. Recuperado de <http://hdl.handle.net/20.500.12749/1542>
- Guzmán, N., & Prada, B. (2025). *Deficiencia en el reciclaje de PET en Bogotá* (Tesis de maestría). Universidad Nacional de Colombia. Recuperado de <https://hdl.handle.net/10882/15180>
- Hachi, J. & Rodríguez, J. (2010). *Estudio de factibilidad para reciclar envases PET en Guayaquil* (Tesis). Universidad de Guayaquil, Ecuador. Recuperado de <https://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/2450>
- Incropera, F., DeWitt, D., Bergman, T. & Lavine, A. (2013). *Fundamentals of heat and mass transfer* (7th ed.). Wiley.
- International Energy Agency. (2020). *Renewables 2020: Analysis and forecast to 2025*. IEA Publications.
- Lipa, D. & Huanca, E. (2025). *Diseño, implementación y evaluación económica de un inversor híbrido de 5.0 kW conectado a la red con un sistema de respaldo para el suministro de una carga del centro de cómputo en la EPIER-Ayabacas* (Tesis de ingeniería). Universidad Nacional de Juliaca. Recuperado de <https://hdl.handle.net/20.500.14845/189>
- López, C. & Llana, D. (2016). *Reciclado del plástico [PET] para la obtención de fibra textil*. Obtenido de <http://www.edutecne.utn.edu.ar/>
- Los Andes. (16 de 07 de 2022). Obtenido de <https://www.losandes.com.pe/oweb/Regional/20180716/116485.html>
- Mena, M (2018). Eco-loseta de plástico reciclado. Obtenido de <https://www.martinmena.es/>
- MINAM (2020). Reporte Nacional de Residuos Sólidos Municipales 2019. Lima, Perú.
- Montero, F., Del Río, G., & García, L. (2021). *Plastic Matrix*. Obtenido de [https://polired.upm.es/index.php/ingenia\\_materiales](https://polired.upm.es/index.php/ingenia_materiales).

- Municipalidad Provincial de San Román. (2019). Estudio de caracterización de Residuos Sólidos Municipales (ECSR). *Dirección General de Gestión de Residuos Sólidos*. <https://drive.google.com/>
- NASA METEOROLOGY. (2024). The power project. Recuperado el 15 de 02 de 2024, de <https://power.larc.nasa.gov>
- Naranjo, E., Moyano, J., & Santillán, C. (2021). Diseño y construcción de un prototipo de máquina recicladora de botellas plásticas PET. *ConcienciaDigital*, 4(1.2), 147–161. <https://doi.org/10.33262/concienciadigital.v4i1.2.1585>
- National Fire Protection Association. (2023). *NFPA 70: National Electrical Code*. NFPA.
- Naylamp mechatronics. (11 de 02 de 2023). *Componentes electronicos*. Obtenido de Naylamp mechatronics: <https://naylampmechatronics.com/>
- Ogata, K. (2010). *Ingeniería de control moderna* (5.<sup>a</sup> ed.). Pearson Educación.
- Panca, L. (2024). *Evaluación comparativa del rendimiento de dos bombas solares sumergibles de 2HP para la determinación de su altura óptima de operación a más de 3800 msnm* (Tesis). Universidad Nacional de Juliaca, Perú. Recuperado de <https://hdl.handle.net/20.500.14845/57>
- Predko, M. (2007). *Programming and customizing the 8051 microcontroller*. McGraw-Hill.
- Reina, M. (2020). *Modelo de gestión de plástico tipo PET en la ciudad de Bogotá para su reutilización y transformación a fibras o materiales de uso textil*. (Tesis de maestría). Universidad Nacional de Colombia. Recuperado del repositorio de la Universidad <https://biblioteca-repositorio.clacso.edu.ar/handle/CLACSO/225130>
- Reynaga W. & Rodriguez, D. (2022). *Propuesta de un eco-ladrillo con escoria de acero y material de reciclaje PET para uso de tabiquería, con el fin de reducir el impacto ambiental ocasionado por la fabricación de ladrillos de arcilla en Lima* (Tesis de ingeniería). Universidad Peruana de Ciencia Aplicadas. Recuperado de, <http://hdl.handle.net/10757/659186>

- Rochman, C., Browne, M., Halpern, B., Hentschel, B., Hoh, E., Kurobe, N., & Koelmans, A. (2013). *Policy: Classify plastic waste as hazardous*. *Nature*, 494(7436), 169-171, doi: 10.1038/494169a
- Rodríguez, M. & Vázquez, A. (2018). *Mejora de la calidad de la energía con sistemas fotovoltaicos en las zonas rurales*. *Revista de Ingeniería*, (49), 265-274. Recuperado de <https://revistas.udistrital.edu.co/index.php/revcie/index>
- Ross, S., Westerfield, R., & Jordan, B. (2018). *Fundamentos de finanzas corporativas* (11.<sup>a</sup> ed.). McGraw-Hill Education.
- Sapag, C., & Sapag, R. (2014). *Preparación y evaluación de proyectos* (6.<sup>a</sup> ed.). McGraw-Hill.
- Salazar, H., Barbier, L., Serna, J., Rosero, M., Arias, J., & Arteaga, M. (2018). Transformación de material reciclado para la elaboración de baldosas plásticas. *Sennova - Sistema de Investigación, Desarrollo Tecnológico e Innovación*, 44–55. SENA, Colombia. Recuperado de <https://revistas.sena.edu.co/index.php/idea/article/view/3948>
- Sánchez, E., Alba Baena, N., Loya, A., Rivas Valles, G., Ruiz Chávez, O., & Aguilera González, J. E. (2016). Diseño de un prototipo de una máquina de moldeo de plástico para fabricar piezas de parafernalia. *Cultura Científica Y Tecnológica*, (56). Recuperado a partir de <https://erevistas.uacj.mx/ojs/index.php/culcyt/article/view/800>
- Serway, A., & Jewett, J. (2014). *Física para ciencias e ingeniería* (9.<sup>a</sup> ed.). Cengage Learning.
- Siegel, R., & Howell, J. R. (2002). *Thermal radiation heat transfer* (4th ed.). Taylor & Francis.
- SolidWorks. (2024). *SolidWorks: Software de diseño e ingeniería*. Recuperado de <https://www.solidworks.com/es/>
- Solidworks. (21 de 10 de 2002). *Solidworks corporation*. Obtenido de Solidworks: <https://www.solidworks.com/>

- Sooftware. (15 de 05 de 2007). *CoolTerm*. Obtenido de Sooftware:  
<https://coolterm.software.com/>
- UCSM. (2016). Universidad Católica de Santa María. Recuperado el 2020, de  
<https://www.ucsm.edu.pe/>
- Velásquez, D. (2018). *Bloques de concreto sustentables a partir de la utilización de material de reciclaje (PET)* (Tesis de ingeniería). Universidad de Medellín, Colombia. Recuperado de <https://repository.ucc.edu.co/server/api/core/bitstreams/>
- Wildi, T. (2007). *Máquinas eléctricas, sistemas de potencia y control* (6.ª ed.). Pearson.
- WHC SOLAR (2025). *Tipos de sistemas fotovoltaicos*. Obtenido de  
<https://www.whcsolar.com/>
- Yancachajlla, U., Quispe, L., & Vilca, O. (2020). Evaluation of the Peak-Sun Hour on a Tilted Surface in the City of Juliaca. (2. I. Electronics, Ed.) *IEEE Xplore*, 1-4. doi:10.1109/INTERCON50315.2020.9220191

## **ANEXOS**

## Anexo I

*Emisividades de las superficies. Extraída de Cengel & Ghajar (2015)*

**TABLA A-18**

Emisividades de las superficies

a) Metales

Material	Temperatura, K	Emisividad, $\epsilon$	Material	Temperatura, K	Emisividad, $\epsilon$
Aluminio			Magnesio pulido	300-500	0.07-0.13
Pulido	300-900	0.04-0.06	Mercurio	300-400	0.09-0.12
Lámina comercial	400	0.09	Molibdeno		
Intensamente oxidado	400-800	0.20-0.33	Pulido	300-2 000	0.05-0.21
Anodizado	300	0.8	Oxidado	600-800	0.80-0.82
Bismuto brillante	350	0.34	Níquel		
Latón			Pulido	500-1 200	0.07-0.17
Intensamente pulido	500-650	0.03-0.04	Oxidado	450-1 000	0.37-0.57
Pulido	350	0.09	Platino pulido	500-1 500	0.06-0.18
Placa mate	300-600	0.22	Plata pulida	300-1 000	0.02-0.07
Oxidado	450-800	0.6	Acero inoxidable		
Cromo pulido	300-1 400	0.08-0.40	Pulido	300-1 000	0.17-0.30
Cobre			Ligeramente oxidado	600-1 000	0.30-0.40
Intensamente pulido	300	0.02	Intensamente oxidado	600-1 000	0.70-0.80
Pulido	300-500	0.04-0.05	Acero		
Lámina comercial	300	0.15	Lámina pulida	300-500	0.08-0.14
Oxidado	600-1 000	0.5-0.8	Lámina comercial	500-1 200	0.20-0.34
Oxidado en negro	300	0.78	Intensamente oxidado	300	0.81
Oro			Estaño pulido	300	0.05
Intensamente pulido	300-1 000	0.03-0.06	Tungsteno		
Hoja brillante	300	0.07	Pulido	300-2 500	0.03-0.29
Hierro			Filamento	3500	0.39
Intensamente pulido	300-500	0.05-0.07	Zinc		
Hierro fundido	300	0.44	Pulido	300-800	0.02-0.05
Hierro forjado	300-500	0.28	Oxidado	300	0.25
Aherrumbrado	300	0.61			
Oxidado	500-900	0.64-0.78			
Plomo					
Pulido	300-500	0.06-0.08			
No oxidado, áspero	300	0.43			
Oxidado	300	0.63			

## Anexo II

Conductividad térmica de los materiales de construcción. Extraído de Cengel & Ghajar (2015)

**TABLA A-5**

Propiedades de materiales de construcción (*conclusión*)  
(a una temperatura media de 24°C)

Material	Espesor, $L$ mm	Densidad, $\rho$ kg/m <sup>3</sup>	Conductividad térmica, $k$ W/m · K	Calor específico, $c_p$ kJ/kg · K	Valor $R$ (para los espesores de la lista, $L/k$ ), K · m <sup>2</sup> /W
<b>Material para techos</b>					
Tejas de asbesto-cemento		1 900	—	1.00	0.037
Asfalto en rollos		1 100	—	1.51	0.026
Tejas de asfalto		1 100	—	1.26	0.077
Techado incorporado	10 mm	1 100	—	1.46	0.058
Pizarra	13 mm	—	—	1.26	0.009
Tejas de madera (simples o con cara de plástico/película)		—	—	1.30	0.166
<b>Materiales para revoque</b>					
Revoque de cemento, agregado de arena	19 mm	1 860	0.72	0.84	0.026
Revoque de yeso:					
Agregado ligero	13 mm	720	—	—	0.055
Agregado de arena	13 mm	1 680	0.81	0.84	0.016
Agregado de perlita	—	720	0.22	1.34	—
<b>Material para forro exterior (sobre superficies planas)</b>					
Tejas de asbesto-cemento	—	1 900	—	—	0.037
Forro de tablero duro	11 mm	—	—	1.17	0.12
Forro de madera (rebajada)	25 mm	—	—	1.30	0.139
Forro de madera (contrachapada), traslapada	10 mm	—	—	1.21	0.111
Forro de aluminio o acero (sobre encofrado):					
Con respaldo hueco	10 mm	—	—	1.22	0.11
Con respaldo de tablero aislante	10 mm	—	—	1.34	0.32
Vidrio arquitectónico	—	2 530	1.0	0.84	0.018
<b>Maderas</b>					
Maderas duras (arce, roble, etc.)	—	721	0.159	1.26	—
Maderas suaves (abeto, pino, etc.)	—	513	0.115	1.38	—
<b>Metales</b>					
Aluminio (1 100)	—	2 739	222	0.896	—
Acero dulce	—	7 833	45.3	0.502	—
Acero inoxidable	—	7 913	16.0	0.456	—

Fuente: Las tablas A-5 y A-6 se adaptaron tomándolas del *Handbook of Fundamentals* de la ASHRAE (Atlanta, GA: American Society of Heating, Refrigerating, and Air-Conditioning Engineers, 1993), Cap. 22, tabla 4. Usadas con autorización.

## Anexo III

Conductividades térmicas de Materiales aislantes. Extraído de Cengel & Ghajar (2015)

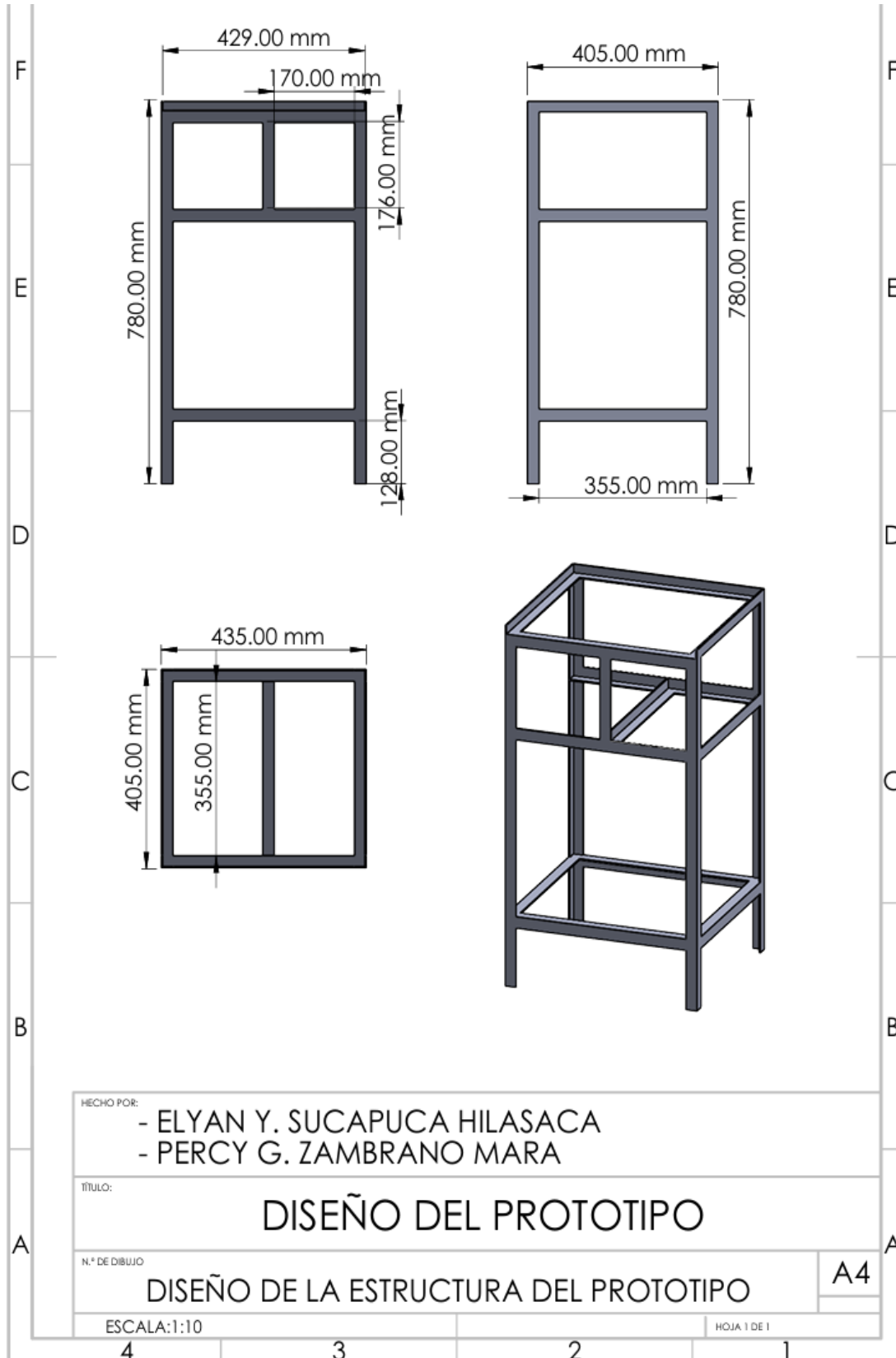
**TABLA A-6**

Propiedades de materiales aislantes  
(a una temperatura media de 24°C)

Material	Espesor, $L$ mm	Densidad, $\rho$ kg/m <sup>3</sup>	Conductividad térmica, $k$ W/m · K	Calor específico, $c_p$ kJ/kg · K	Valor $R$ (para los espesores de la lista, $L/k$ ), K · m <sup>2</sup> /W
<b>Colcha y lámina</b>					
Fibra mineral (forma fibrosa)	50 a 70 mm	4.8-32	—	0.71-0.96	1.23
procesada a partir de roca,	75 a 90 mm	4.8-32	—	0.71-0.96	1.94
escoria o vidrio)	135 a 165 mm	4.8-32	—	0.71-0.96	3.32
<b>Tablero y losa</b>					
Vidrio celular		136	0.055	1.0	—
Fibra de vidrio (ligamento orgánico)		64-144	0.004	0.96	—
Poliestireno expandido (bolitas moldeadas)		16	0.040	1.2	—
Poliuretano expandido ( $R$ -11 expandido)		24	0.023	1.6	—
Perlita expandida (ligamento orgánico)		16	0.052	1.26	—
Caucho expandido (rígido)		72	0.032	1.68	—
Fibra mineral con aglomerante de resina		240	0.042	0.71	—
Corcho		120	0.039	1.80	—
<b>Rociado o formado en el sitio</b>					
Espuma de poliuretano		24-40	0.023-0.026	—	—
Fibra de vidrio		56-72	0.004	—	—
Uretano, mezcla de dos partes (espuma rígida)		70	0.026	1.045	—
Gránulos de lana mineral con aglomerantes de asbesto/inorgánico (rociado)		190	0.046	—	—
<b>Relleno flojo</b>					
Fibra mineral (de roca, escoria o vidrio)	~ 75 a 125 mm	9.6-32	—	0.71	1.94
	~165 a 222 mm	9.6-32	—	0.71	3.35
	~191 a 254 mm	—	—	0.71	3.87
	~185 mm	—	—	0.71	5.28
Aerogel de sílice		122	0.025	—	—
Vermiculita (expandida)		122	0.068	—	—
Perlita (expandida)		32-66	0.039-0.045	1.09	—
Aserrín o virutas		128-240	0.065	1.38	—
Aislamiento celulósico (papel molido o pulpa de madera)		37-51	0.039-0.046	—	—
<b>Aislamiento para techo</b>					
Vidrio celular	—	144	0.058	1.0	—
Preformado, para usarse arriba del tablero	13 mm	—	—	1.0	0.24
	25 mm	—	—	2.1	0.49
	50 mm	—	—	3.9	0.93
<b>Aislamiento reflector</b>					
Polvo sílice (al vacío)		160	0.0017	—	—
Hoja de aluminio separando colchones de vidrio esponjoso; 10 a 12 capas (al vacío); para aplicaciones criogénicas (150 K)		40	0.00016	—	—
Hoja de aluminio y laminado de vidrio y papel; 75 a 150 capas; para aplicaciones criogénicas (150 K)		120	0.000017	—	—

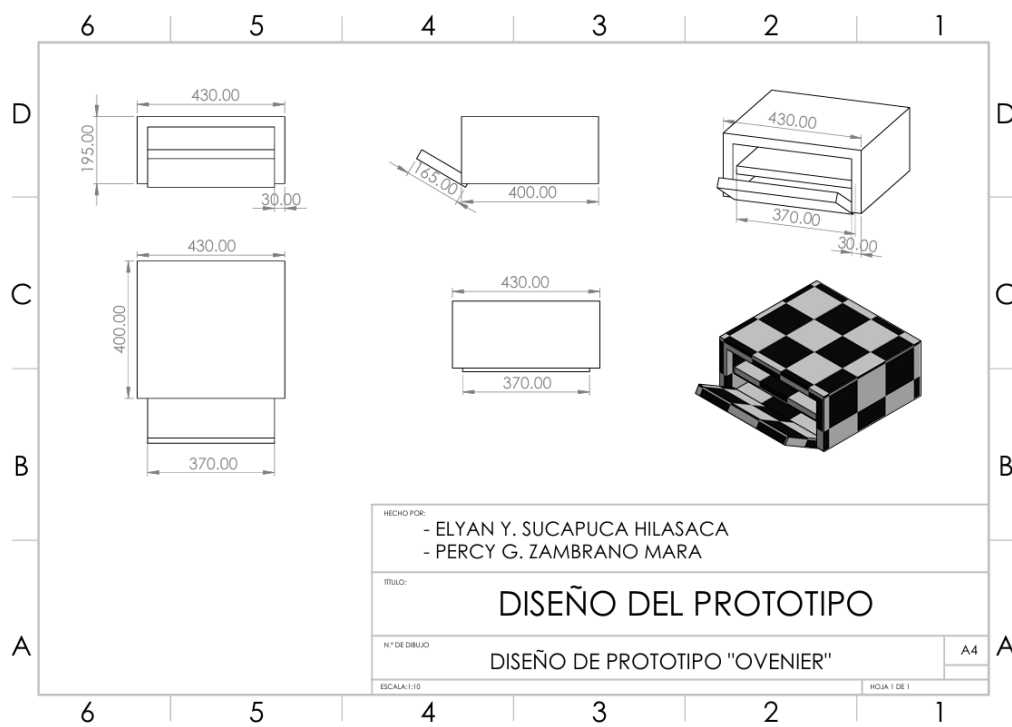
## Anexo IV

*Plano del diseño de la estructura; que sirve como soporte para el prototipo.*



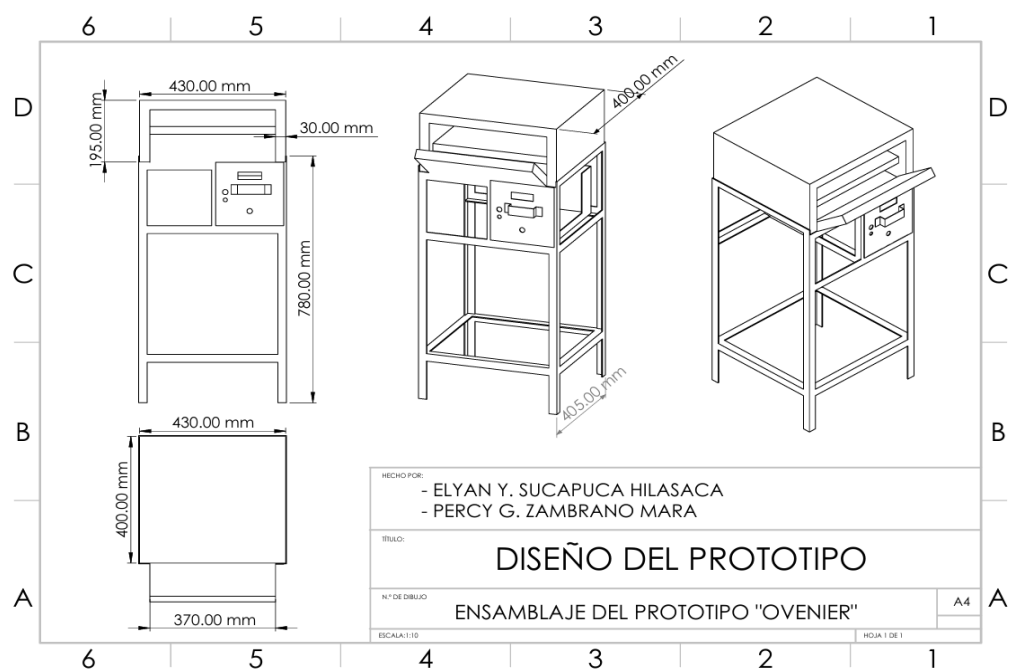
## Anexo V

*Plano del diseño de la parte superior del prototipo, parte del horno donde va la resistencia*



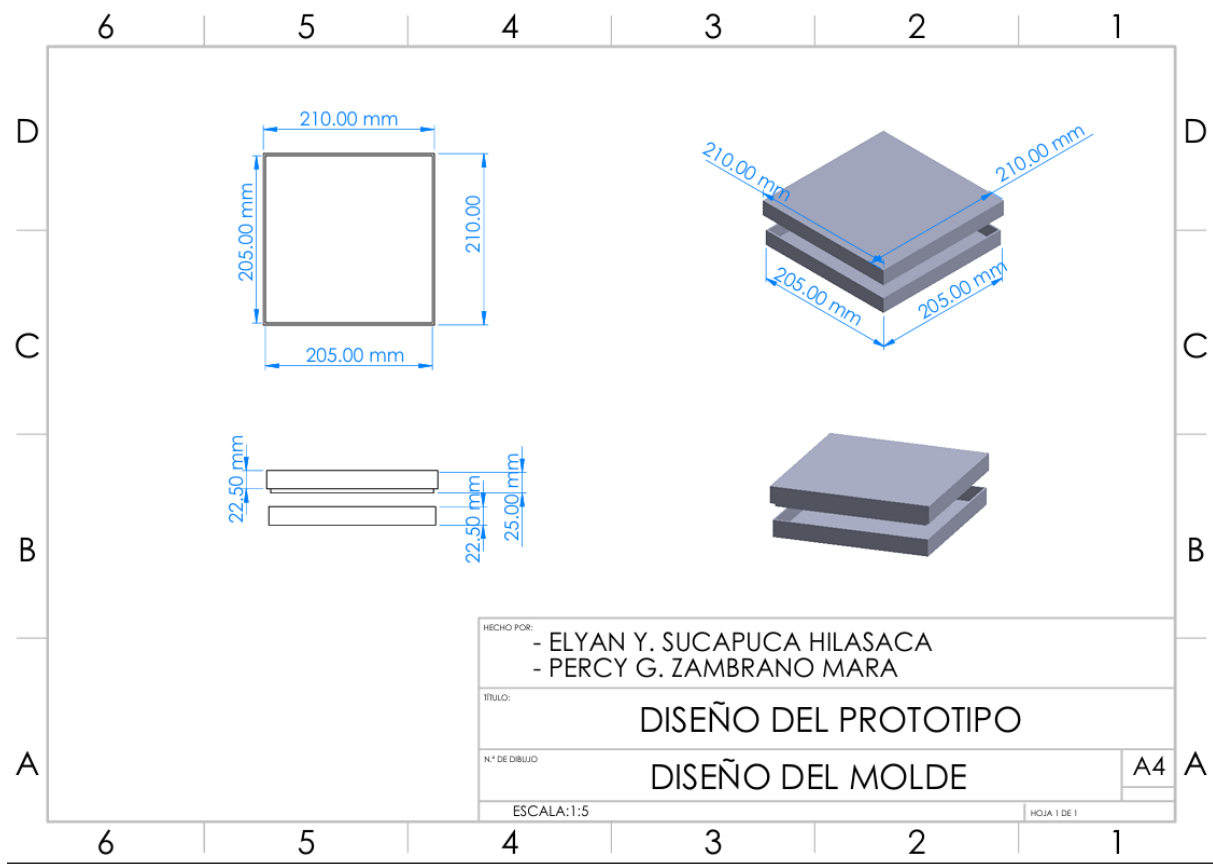
## Anexo VI

*Plano del ensamble del todo el prototipo OVENIER; donde está el tablero electrónico; el soporte y prototipo.*



## Anexo VII

*Plano del Diseño de molde para realizar las baldosas, que sirve para poner el triturado PET*




## Anexo VIII

*Estructura del prototipo OVENIER fabricado con las medidas de los planos*



# Anexo IX

## Boleta del costo de la resistencia



**CRISAC**<sup>®</sup>  
CORPORACION DE RESISTENCIAS INDUSTRIALES S.A.C.  
LA CALIDAD DE LA ELECTROTHERMIA INDUSTRIAL

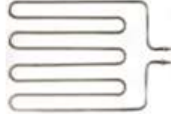
RUC : 20603808003  
DIRECCIÓN : CALLE LOS JAZMINES MZ K6 LT8 URB. SECTOR 5 DE MAYO  
SAN JUAN DE MIRAFLORES, LIMA – PERÚ  
E-MAIL : crisacperu@gmail.com / logistica.crisacperu@gmail.com  
TELEFONO : (01) 695 - 6697 CELULAR : 931398647

<b>Nº</b>	<b>: 2023 – 011307</b>
<b>FECHA</b>	<b>: 17/08/23</b>

# COTIZACIÓN

<b>CLIENTE</b>	SRTA. YAKELIN
<b>RUC</b>	-----
<b>CORREO</b>	<a href="mailto:sucapucayaki@gmail.com">sucapucayaki@gmail.com</a>
<b>DIRECCIÓN</b>	-----
<b>TELEFONO</b>	+51 925 761 366
<b>ATENCIÓN</b>	SRTA. YAKELIN

IMAGEN REFERENCIAL



Estimado cliente, por medio de la presente le hago llegar nuestra cotización que ha solicitado. Puede corroborar a detalle cada pedido. Cualquier consulta adicional no dude en comunicarse con nosotros donde gustosamente lo atenderemos.

Sin otro particular, quedamos de ustedes

ITEM.	CANT.	UNID/MED	DESCRIPCIÓN	PRE - UNIT. US\$	SUB - TOTAL US\$
01	1	UNID.	resistencia tubular en doble "M" de diámetro 3/8" en 50W/12V con terminales en pernos roscados (Según datos técnicos). CODIGO : CP-RT2M1 - 011307 MARCA IMPORTADO : CRISAC <sup>®</sup> REZISTANŞ - PROCEDENCIA: MADE IN USA MATERIAL EN ACERO INOXIDABLE CALIDAD AISI 316L ANTICORROSIVO.	560	560

**SON :** TRESIENTOS CINCUENTA Y CUATRO CON 00 /100 DÓLARES AMERICANOS

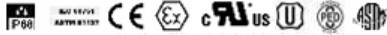
TERMINOS Y CONDICIONES	
CONDICION DE PAGO	DEPOSITO
TIEMPO DE ENTREGA	6 DIAS HABILDES DESPUES DE RECIBIR SU ORDEN DE COMPRA
MONEDA	DOLARES AMERICANOS
LUGAR DE ENTREGA	EN COORDINACION / ENCOMIENDA
PRODUCTO GARANTIZADO	08 MESES
OFERTA VALIDA	10 DIAS

<b>SUB - TOTAL</b>	<b>US\$</b>	<b>560.00</b>
<b>IGV (18%)</b>	<b>US\$</b>	<b>100.80</b>
<b>TOTAL</b>	<b>US\$</b>	<b>660.80</b>


*Atentamente,*  
**GIANELLA STEISI VARGAS LL.**  
Departamento de Ventas

Información promocional de nuestros productos :  
( solo para productos del mismo ITEM )  
( no incluye materiales y accesorios complementarios )  
Productos de 1 unid. precio regular  
Productos de 5 a 10 unid. 5% Dcto  
Productos de 11 a 20 unid. 10% Dcto  
Productos de 21 a 30 unid. 13% Dcto  
Productos de 31 a 40 unid. 15% Dcto  
( PASANDO LA FECHA DE LA OFERTA DADA, LOS PRECIOS VARIAN CONSIDERABLEMENTE )

TIPO DE CAMBIO: 3.90  
Nombre de la cuenta: corporacion de resistencias industriales S.A.C. - CRISAC PERÚ  
CUENTA CORRIENTE EN SOLES  
CTA. BCP. Soles : 194-2650118-0-67  
CCI Soles : 0021940085011806798  
CUENTA CORRIENTE EN DOLARES AMERICANOS  
CTA. BCP. Dolares : 194-8748839-1-18  
CCI Dolares : 00219400874883911893



DIRECCIÓN: CALLE LOS LAZMINES MZ K6 LT8 URB. SECTOR 5 DE MAYO, SAN JUAN DE MIRAFLORES, LIMA – PERÚ  
E-MAIL: crisacperu@gmail.com / logistica.crisacperu@gmail.com / TELF.: (01) 695 - 6697 / CEL.: 931 398 647  
[www.crisacperu.com](http://www.crisacperu.com)



**Anexo X**

*Planta de procesamiento de la materia prima (botellas de plástico)*



**Anexo XI**

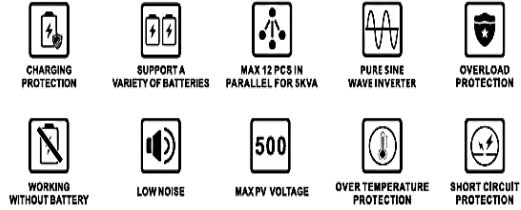
*Materia prima - venta al público en sacos de acuerdo al peso.*



## Anexo XII

### Ficha técnica del inversor/Hibrido de 5kW

# SOLAR INVERTER IVEM3024/5048

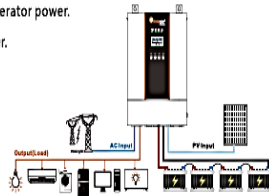


## PRODUCT PARAMETERS

Model	IVEM3024	IVEM5048
<b>Line Mode Specifications</b>		
Rated Output Power(VA)	3000VA	5000VA
Rated Output Power(W)	3000W	5000W
Nominal DC Input Voltage	24V	48V
Nominal Input Voltage		230Vac
Max. AC Input Voltage		280Vac
Nominal Input Frequency		50Hz / 60Hz (Auto detection)
Efficiency(Line Mode)	>95% (Rated R load, battery full charged)	
Pass Through Without Battery	Yes	
<b>Utility Charge Mode Specifications</b>		
Nominal Input Voltage		230Vac
Input Voltage Range		96-280Vac
Max. Charge Current		100A
Over Charge Protection	Yes	
<b>Solar Charging &amp; Grid Charging</b>		
Max. PV Open Circuit Voltage		500V
PV Voltage Working Range		120V-500V
Max. Input Power	4000W	6000W
Max. Solar Charging Current	100A	100A
Max. Charging Current(PV+Grid)	100A	100A
Max. Input Current	15A	20A
Min. Startup Voltage		125V
<b>Inverter Mode Specifications</b>		
Output Voltage Waveform	Pure sine wave	
Nominal Output Voltage	230Vac±5%	
Nominal Output Frequency(Hz)	50±0.3Hz/60±0.3Hz(Adjustable)	
Parallel capability	No	Yes, up to 12 units
Peak Efficiency	93%	
Over-Load Protection(SMPS load)	5.5s@±150% load; 10.5s @105% ~150% load	
Surge Rating	2* rated power for 5s	
Capable of Starting Electric	Yes	
Output Short Circuit Protection	Yes	
<b>General Specifications</b>		
Operating Temperature	0°C-55°C	
Range Storage Temperature	-15°C-60°C	
Net Weight(KG)	10.8KG	13.2KG
Product Dimension(MM)	395*295*129MM	415*320*129MM
Package Dimension(MM)	472*372*202MM	494*399*202MM

## FEATURES

- Configurable input voltage range for home appliances and personal computers via LCD setting.
- Configurable battery charging current based on applications via LCD setting.
- Configurable AC/Solar Charger priority via LCD setting.
- Compatible to mains voltage or generator power.
- Built-in MPPT solar charge controller.
- Auto restart while AC is recovering.
- Lithium battery activation function.
- Inverter running without battery.
- Cold start function.



## Anexo XIII

### Ficha técnica de la batería LiFePO4 de 5Kw

#### LiFePO4 Battery System for Households

---

##### 2.3 Specifications

Model	LPBF48100-H	LPBF48200-H
Usable Capacity	5KWH	10KWH
Nominal Voltage	51.2	51.2
Voltage Range	48-57.6	48-57.6
MAX. Charge & Discharge Current	100A@30S	120A@30S
Recommend Charge & Discharge Current	≤50A	≤80A
MAX. Output Power	5000W	6000W
Recommend Output Power	2500W	4000W
DOD	≥95%	
Modules Connection	1-6in parallel	
Communication	CAN&RS485	
Ingress Protection	IP21	
Cycle Life	≥6000@25°C, 80%DOD	
Working Temperature Range	Discharge:-20°C to +65°C, Charge:+0°C to +55°C	
Net Weight(KG)	63KG	75KG
Gross Weight(KG)	76KG	88KG
Product Dimension(MM)	675x430x258MM	685x475x213MM
Package Dimension(MM)	670x525x415MM	780x570x375MM

##### 2.4 Recommended Settings

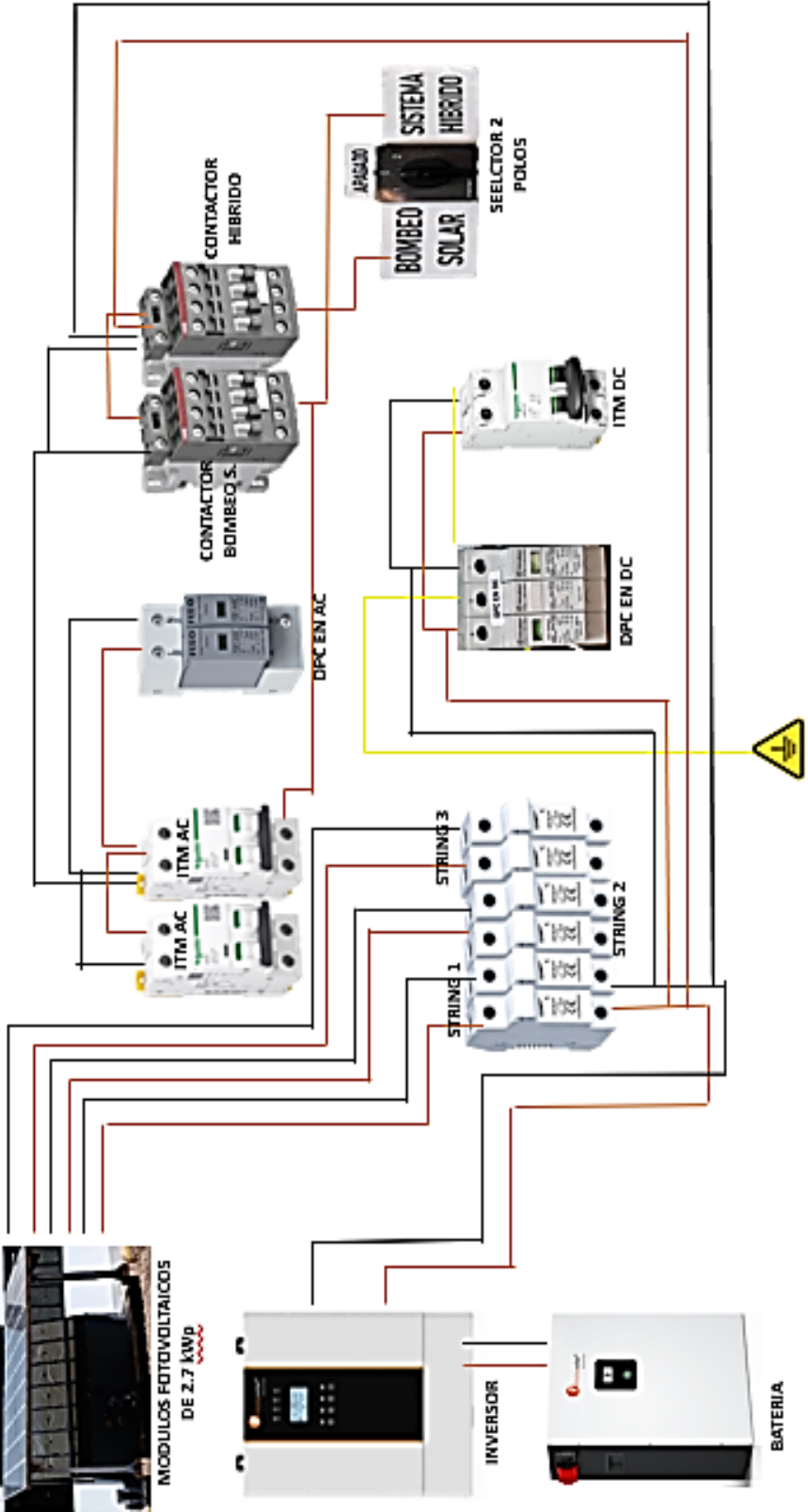
Lithium battery pack is not same as lead-acid battery, so for the devices which you connect with the battery pack for charging or discharging, such as inverters, MPPT charger controllers or UPS, please implement pre-settings as recommended settings as below before you launched them.

Setting	LPBF48100-H	LPBF48200-H
Max. Charging Voltage	57.6V	57.6V
Floating charging Voltage	57.6V	57.6V
Max. Charging Current	50A*N	80A*N
Cut-off voltage	48V	48V

Notes: \*N" means the number of battery packs connected in parallel.

Anexo XIV

Diagrama del tablero eléctrico y control instalado en el laboratorio de fotovoltaica.



## Anexo XV

*Conexión del tablero de control con el inversor híbrido*



## Anexo XVI

*Materia prima polietileno tereftalato*

### Figura 65

*Materia prima Pet colocada en el molde.*



*Nota.* Colocado del Pet en el molde para realizar las muestras (Elaboración propia, 2025).

## Figura 66

*Peso del Pet sin procesar y procesado.*



*Nota.* Visualización del peso de la materia prima Pet en la balanza digital (Elaboración propia, 2025)

## Anexo XVII

*Medición de temperatura del molde dentro del horno, con la cámara termográfica.*



## Anexo XVIII

Medida de temperatura con la cámara termográfica – fase 0 en el programa FlirTools

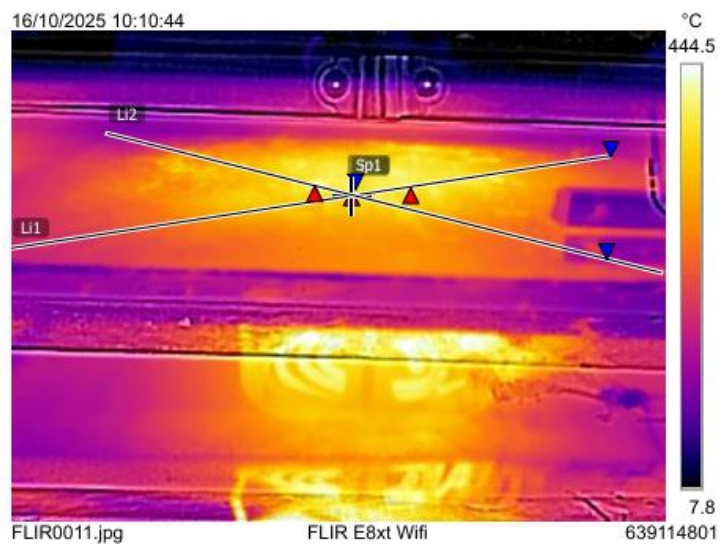


### Medidas

E11	Max	376.9 °C
	Min	370.6 °C
	Average	373.1 °C
Sp1		377.4 °C
Li1	Max	393.9 °C
	Min	235.8 °C
	Average	317.8 °C
Li2	Max	411.4 °C
	Min	213.8 °C
	Average	305.6 °C

### Parámetros

Emisividad	0.34
Temp. refl.	20 °C

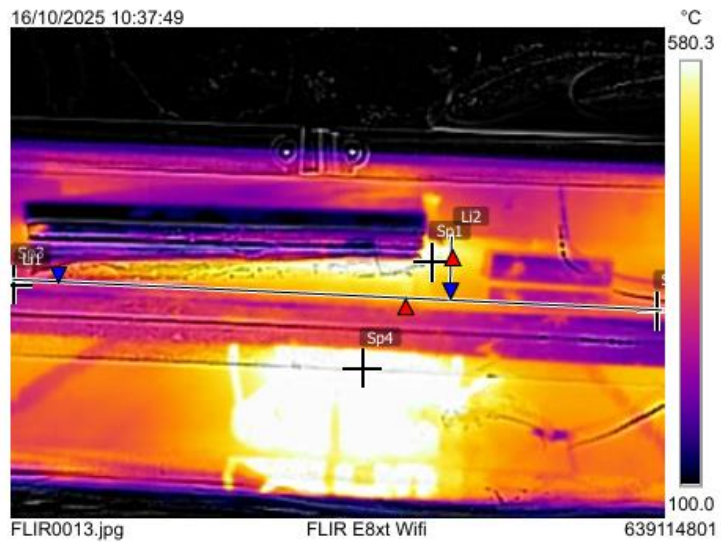


## Anexo XIX

Medida de temperatura con la cámara termográfica - fase I en el programa FlirTools



Medidas	
Sp1	568.7 °C ⚠
Sp2	374.0 °C
Sp3	338.7 °C
Sp4	580.3 °C ❌
Li1	Max 467.9 °C
	Min 296.1 °C
	Average 379.0 °C
Li2	Max 580.3 °C ❌
	Min 431.4 °C
	Average 492.3 °C ⚠
Parámetros	
Emisividad	0.34
Temp. refl.	20 °C



## Anexo XX

Medida de temperatura con la cámara termográfica - fase 2 en el programa FlirTools

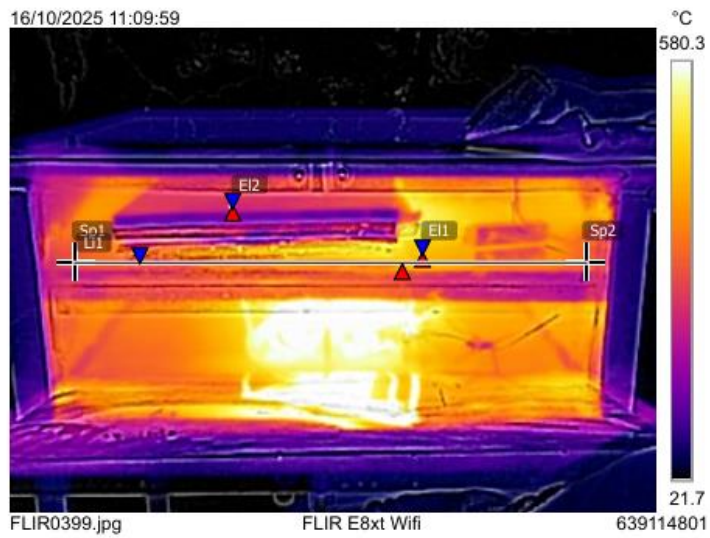


### Medidas

E11	Max	436.3 °C
	Min	432.5 °C
	Average	434.2 °C
E12	Max	295.3 °C
	Min	284.4 °C
	Average	290.4 °C
Sp1		344.9 °C
Sp2		367.2 °C
Li1	Max	447.0 °C
	Min	314.8 °C
	Average	371.7 °C

### Parámetros

Emisividad	0.34
Temp. refl.	20 °C



## Anexo XXI

Medida de temperatura con la cámara termográfica - fase 3 en el programa FlirTools

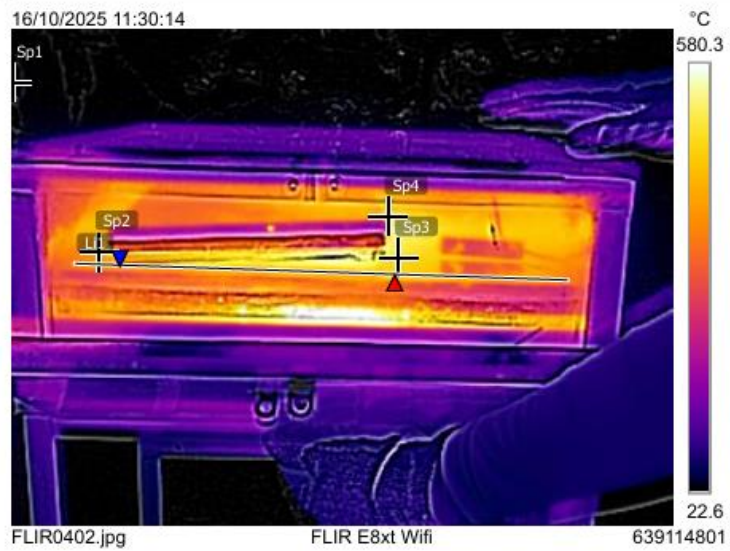


### Medidas

Sp1		22.3 °C
Sp2		366.9 °C
Sp3		448.9 °C
Sp4		506.0 °C
LI1	Max	429.3 °C
	Min	322.3 °C
	Average	380.2 °C

### Parámetros

Emisividad	0.34
Temp. refl.	20 °C



## Anexo XXII

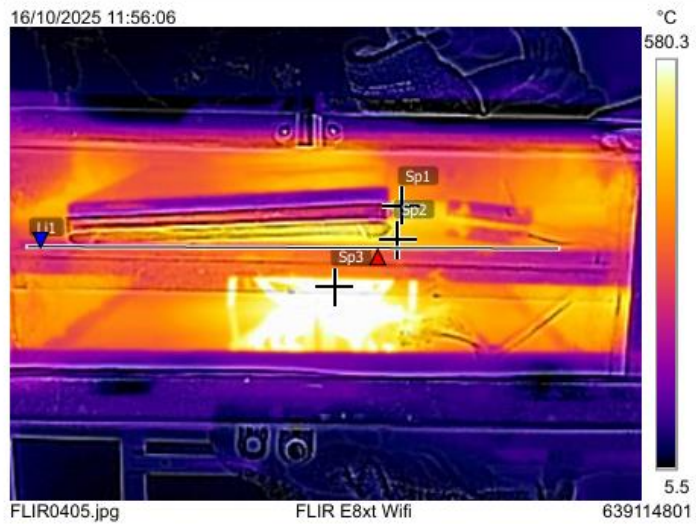
Medida de temperatura con la cámara termográfica - fase 4 en el programa FlirTools



Medidas		
Sp1		495.6 °C
Sp2		413.6 °C
Sp3		580.3 °C <span style="color: red;">✘</span>
Li1	Max	354.8 °C
	Min	252.3 °C
	Average	317.6 °C

Parámetros	
Emisividad	0.34
Temp. refl.	20 °C



## Anexo XXIII

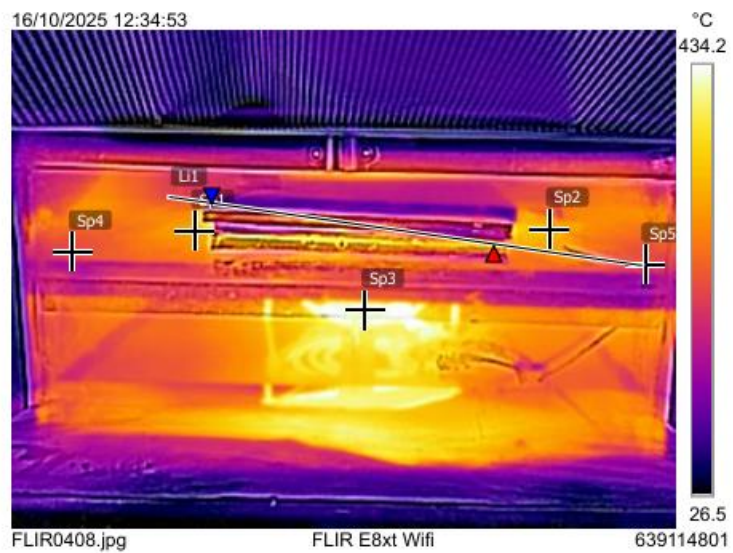
Medida de temperatura con la cámara termográfica - fase 1-2 en el programa FlirTools



Medidas		
Sp1		302.4 °C
Sp2		316.5 °C
Sp3		423.6 °C
Sp4		245.6 °C
Sp5		250.8 °C
Li1	Max	327.9 °C
	Min	90.3 °C
	Average	248.3 °C

Parámetros	
Emisividad	0.34
Temp. refl.	20 °C



## Anexo XXIV

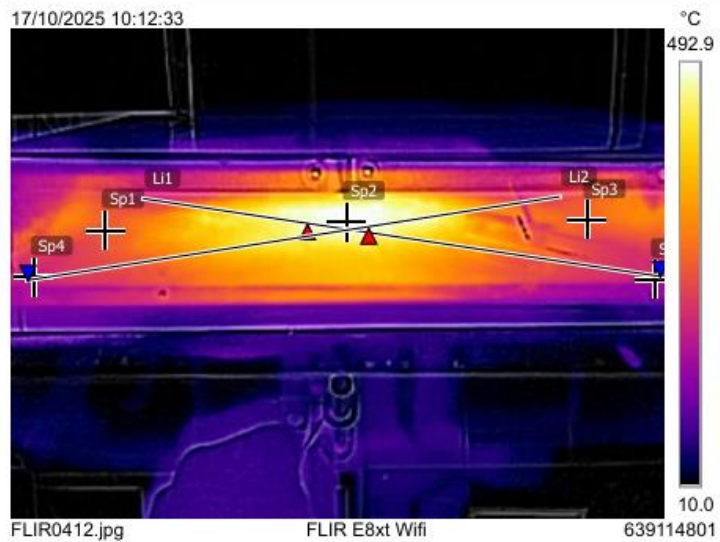
Medida de temperatura con la cámara termográfica - fase 2-2 en el programa FlirTools



Medidas	
Sp1	261.5 °C
Sp2	486.0 °C
Sp3	265.6 °C
Sp4	203.4 °C
Sp5	239.9 °C
Li1	Max 496.4 °C
	Min 204.3 °C
	Average 341.8 °C
Li2	Max 494.6 °C
	Min 194.8 °C
	Average 346.0 °C

Parámetros	
Emisividad	0.34
Temp. refl.	20 °C



## Anexo XXV

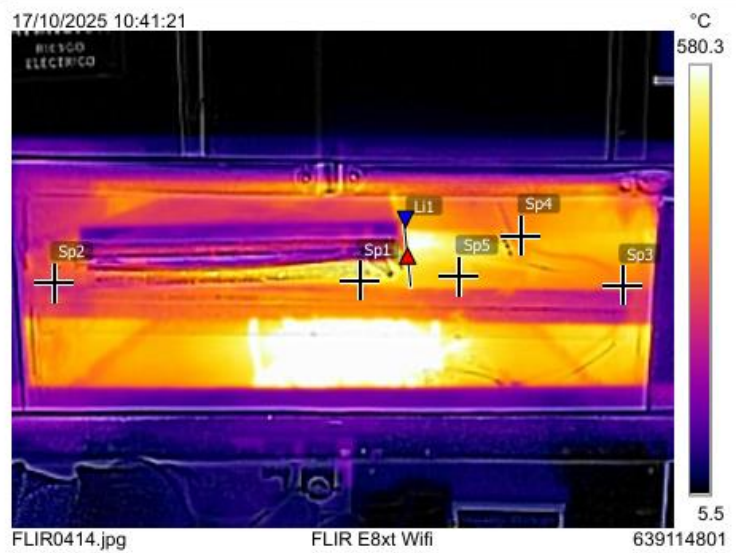
Medida de temperatura con la cámara termográfica - fase 3-2 en el programa FlirTools



Medidas	
Sp1	459.1 °C
Sp2	282.5 °C
Sp3	363.7 °C
Sp4	400.0 °C
Sp5	423.4 °C
Li1	Max 538.2 °C
	Min 403.6 °C
	Average 476.5 °C

Parámetros	
Emisividad	0.34
Temp. refl.	20 °C



## Anexo XXVI

Medida de temperatura con la cámara termográfica - fase 4-2 en el programa FlirTools.



Medidas	
Sp1	300.0 °C
Sp2	312.4 °C
Sp3	483.0 °C
Li1	Max 365.2 °C
	Min 257.6 °C
	Average 323.3 °C
Li2	Max 514.1 °C
	Min 345.8 °C
	Average 423.1 °C
Parámetros	
Emisividad	0.34
Temp. refl.	20 °C



## Anexo XXVII

*Muestra del grosor y medida del producto final de la baldosa.*



UNW



**UNIVERSIDAD NACIONAL DE JULIACA**

**"Universidad Pública de Calidad"**