

**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL CENTRO DEL PERÚ  
FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA**



**TESIS**

**COLECTOR SOLAR PLANO CON CANALES DE  
ESPEJOS PARA PRODUCIR AGUA CALIENTE**

**PRESENTADO POR EL BACHILLER:**

**HUAROC SANTIAGO Franz Antonio**

**SALOME CAJAHUANCA Franz Alexis**

**PARA OPTAR EL TITULO PROFESIONAL DE:**

**INGENIERO MECÁNICO**

**HUANCAYO – PERÚ**

**2024**



ACTA N° 057-2024-FIME-UNCP

SUSTENTACIÓN DE TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO MECÁNICO

Siendo las 10:00 horas del día 6 de diciembre del 2024, en la sala de conferencias de la Facultad de Ingeniería Mecánica, con la asistencia de los Señores Miembros del Jurado, como se detalla a continuación:

PRESIDENTE	:	Ing. Dr. MARCIAL DE LA CRUZ LEZAMA
SECRETARIO	:	Ing. Mg. JOSÉ ANTONIO TAIBE CASTRO
VOCAL	:	Ing. Dr. CIRO ABELARDO ESPINOZA MONTES
VOCAL	:	Ing. Mg. EDMUNDO MUÑICO CASAS
VOCAL	:	Ing. Dr. OSCAR PAUL HUARI VILA

El acto de sustentación de la tesis titulada: "COLECTOR SOLAR PLANO CON CANALES DE ESPEJOS PARA PRODUCIR AGUA CALIENTE", se inicia con el saludo y apertura del proceso por parte del señor Presidente Dr. MARCIAL DE LA CRUZ LEZAMA, luego solicita al Secretario Mg. José Antonio Taipe Castro, dar lectura de la Resolución N° 292-2024-DFIME-UNCP, donde indica que el Bach. HUAROC SANTIAGO FRANZ ANTONIO, identificado con DNI N° 71710646 cumple con los requisitos de dicha modalidad para la obtención Título Profesional y se encuentra expedito para sustentar su tesis con fines de optar el TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO MECÁNICO.

Seguidamente, el Ing. Dr. MARCIAL DE LA CRUZ LEZAMA Presidente del Jurado, invita al señor Asesor de la tesis Ing. Dr. CIRO ABELARDO ESPINOZA MONTES, para la presentación respectiva.

Prosiguiendo con el acto de sustentación, el Presidente del Jurado, dispuso que la exposición oral y lectura de conclusiones y recomendaciones, por parte del sustentante, tendrá una duración promedio de 20 minutos de acuerdo a lo indicado en el Reglamento Académico vigente.

Acabada la exposición del sustentante, los Señores Miembros del Jurado, procedieron a formular las preguntas y observaciones del caso; el sustentante, procedió a la defensa de su tesis en cada caso.

Concluida la sustentación, el jurado calificador, en privado deliberó y emitió su dictamen de acuerdo al puntaje obtenido, El resultado final de la sustentación de Tesis para la obtención del Título Profesional, de conformidad a lo establecido en los Arts. 204, 205, 206, 207, 208, 209, 210 del Reglamento Académico General de la UNCP, vigente cuyo promedio es de VEINTITRES (23) que corresponde a:

- (  ) Aprobado por unanimidad, con mención de excelencia
- (  ) Aprobado por unanimidad
- (  ) Aprobado por mayoría
- (  ) Desaprobado

Seguidamente, el Secretario invita al sustentante, pasar a la sala de conferencias de la Facultad de Ingeniería Mecánica, luego el Presidente del jurado le comunica el resultado, Y LO FELICITA

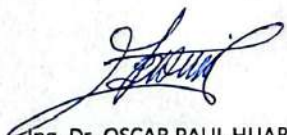
El acto de sustentación se concluye a las 11:40 horas.

  
Ing. Dr. MARCIAL DE LA CRUZ LEZAMA  
PRESIDENTE

  
Ing. Mg. JOSÉ ANTONIO TAIBE CASTRO  
SECRETARIO

  
Ing. Dr. CIRO ABELARDO ESPINOZA MONTES  
VOCAL

  
Ing. Mg. EDMUNDO MUÑICO CASAS  
VOCAL

  
Ing. Dr. OSCAR PAUL HUARI VILA  
VOCAL



**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL CENTRO DEL PERÚ**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA**

Av. Mariscal Castilla N° 3909-4089 El Tambo Huancayo  
 Ciudad Universitaria - Carretera Central Km. 5  
 Correo Institucional: [mecanica@uncp.edu.pe](mailto:mecanica@uncp.edu.pe)



**ACTA N° 058-2024-FIME-UNCP**

**SUSTENTACIÓN DE TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO MECÁNICO**

Siendo las 10:00 horas del día 6 de diciembre del 2024, en la sala de conferencias de la Facultad de Ingeniería Mecánica, con la asistencia de los Señores Miembros del Jurado, como se detalla a continuación:

PRESIDENTE	:	Ing. Dr. MARCIAL DE LA CRUZ LEZAMA
SECRETARIO	:	Ing. Mg. JOSÉ ANTONIO TAIPE CASTRO
VOCAL	:	Ing. Dr. CIRO ABELARDO ESPINOZA MONTES
VOCAL	:	Ing. Mg. EDMUNDO MUÑICO CASAS
VOCAL	:	Ing. Dr. OSCAR PAUL HUARI VILA

El acto de sustentación de la tesis titulada: "COLECTOR SOLAR PLANO CON CANALES DE ESPEJOS PARA PRODUCIR AGUA CALIENTE", se inicia con el saludo y apertura del proceso por parte del señor Presidente Dr. MARCIAL DE LA CRUZ LEZAMA, luego solicita al Secretario Mg. José Antonio Taipe Castro, dar lectura de la Resolución N° 293-2024-DFIME-UNCP, donde indica que el Bach. SALOME CAJAHUANCA FRANZ ALEXIS, identificado con DNI N° 72656295 cumple con los requisitos de dicha modalidad para la obtención Título Profesional y se encuentra expedito para sustentar su tesis con fines de optar el TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO MECÁNICO.

Seguidamente, el Ing. Dr. MARCIAL DE LA CRUZ LEZAMA Presidente del Jurado, invita al señor Asesor de la tesis Ing. Dr. CIRO ABELARDO ESPINOZA MONTES, para la presentación respectiva.

Prosiguiendo con el acto de sustentación, el Presidente del Jurado, dispuso que la exposición oral y lectura de conclusiones y recomendaciones, por parte del sustentante, tendrá una duración promedio de 20 minutos de acuerdo a lo indicado en el Reglamento Académico vigente.

Acabada la exposición del sustentante, los Señores Miembros del Jurado, procedieron a formular las preguntas y observaciones del caso; el sustentante, procedió a la defensa de su tesis en cada caso.

Concluida la sustentación, el jurado calificador, en privado deliberó y emitió su dictamen de acuerdo al puntaje obtenido, El resultado final de la sustentación de Tesis para la obtención del Título Profesional, de conformidad a lo establecido en los Arts. 204, 205, 206, 207, 208, 209, 210 del Reglamento Académico General de la UNCP, vigente cuyo promedio es de VEINTITRES (23) que corresponde a:

- ( ) Aprobado por unanimidad, con mención de excelencia
- (  ) Aprobado por unanimidad
- ( ) Aprobado por mayoría
- ( ) Desaprobado

Seguidamente, el Secretario invita al sustentante, pasar a la sala de conferencias de la Facultad de Ingeniería Mecánica, luego el Presidente del jurado le comunica el resultado, Y LO FELICITA

El acto de sustentación se concluye a las 11:40 horas.

  
 Ing. Dr. MARCIAL DE LA CRUZ LEZAMA  
 PRESIDENTE

  
 Ing. Mg. JOSÉ ANTONIO TAIPE CASTRO  
 SECRETARIO

  
 Ing. Dr. CIRO ABELARDO ESPINOZA MONTES  
 VOCAL

  
 Ing. Mg. EDMUNDO MUÑICO CASAS  
 VOCAL

  
 Ing. Dr. OSCAR PAUL HUARI VILA  
 VOCAL





**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL CENTRO DEL PERÚ**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA**

Av. Mariscal Castilla N° 3909-4089 El Tambo Huancayo  
Ciudad Universitaria - Carretera Central Km. 5 - Central Telefónica (064) 481084



*"Año del Bicentenario, de la consolidación de nuestra Independencia, y de la conmemoración de las heroicas batallas de Junín y Ayacucho"*

**INFORME N° 002-2024-CEM-UNCP**

**A** : Decano de la Facultad de Ingeniería Mecánica- UNCP  
**De** : Dr. CIRO ABELARDO ESPINOZA MONTES  
Docente asesor  
**Asunto** : Informe de originalidad de Borrador de Tesis  
**Interesado** : Franz Antonio HUAROC SANTIAGO  
**Fecha** : 22 de enero de 2024.

Habiendo concluido la revisión del Borrador de tesis titulada: **COLECTOR SOLAR PLANO CON CANALES DE ESPEJOS PARA PRODUCIR AGUA CALIENTE**, presentado por **Franz Antonio HUAROC SANTIAGO**, doy mi conformidad y aprobación.

El reporte obtenido de TURNITIN indica que la tesis tiene 18% de índice de similitud que es menor al límite permisible de similitud de acuerdo con la Directiva N°001-2018-SG-UNCP.

Es cuanto informo a usted, para los fines del caso.

Atentamente;

Dr. Ciro Abelardo Espinoza Montes  
Asesor

CEM/cem. Cc.: archivo



*"Año del Bicentenario, de la consolidación de nuestra Independencia, y de la conmemoración de las heroicas batallas de Junín y Ayacucho"*

**INFORME N° 003-2024-CEM-UNCP**

**A** : Decano de la Facultad de Ingeniería Mecánica- UNCP  
**De** : Dr. CIRO ABELARDO ESPINOZA MONTES  
Docente asesor  
**Asunto** : Informe de originalidad de Borrador de Tesis  
**Interesado** : Franz Alexis SALOME CAJAHUANCA  
**Fecha** : 22 de enero de 2024.

Habiendo concluido la revisión del Borrador de tesis titulada: **COLECTOR SOLAR PLANO CON CANALES DE ESPEJOS PARA PRODUCIR AGUA CALIENTE**, presentado por **Franz Alexis SALOME CAJAHUANCA**, doy mi conformidad y aprobación.

El reporte obtenido de TURNITIN indica que la tesis tiene 18% de índice de similitud que es menor al límite permisible de similitud de acuerdo con la Directiva N°001-2018-SG-UNCP.

Es cuanto informo a usted, para los fines del caso.

Atentamente;

Dr. Ciro Abelardo Espinoza Montes  
Asesor

CEM/cem. Cc.: archivo

# Tesis Colector

---

## INFORME DE ORIGINALIDAD

---

18%

INDICE DE SIMILITUD

18%

FUENTES DE INTERNET

3%

PUBLICACIONES

6%

TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

---

## FUENTES PRIMARIAS

---

1	<a href="http://repositorio.uncp.edu.pe">repositorio.uncp.edu.pe</a> Fuente de Internet	7%
2	<a href="http://hdl.handle.net">hdl.handle.net</a> Fuente de Internet	1%
3	Submitted to Universidad Nacional del Centro del Peru Trabajo del estudiante	1%
4	<a href="http://dspace.ups.edu.ec">dspace.ups.edu.ec</a> Fuente de Internet	1%
5	<a href="http://cybertesis.unmsm.edu.pe">cybertesis.unmsm.edu.pe</a> Fuente de Internet	1%
6	<a href="http://www.coursehero.com">www.coursehero.com</a> Fuente de Internet	1%
7	<a href="http://ri.ues.edu.sv">ri.ues.edu.sv</a> Fuente de Internet	1%
8	<a href="http://repositorio.unheval.edu.pe">repositorio.unheval.edu.pe</a> Fuente de Internet	1%
9	<a href="http://repositorio.urp.edu.pe">repositorio.urp.edu.pe</a> Fuente de Internet	

<1 %

10

[docplayer.es](http://docplayer.es)

Fuente de Internet

<1 %

11

[www.slideshare.net](http://www.slideshare.net)

Fuente de Internet

<1 %

12

[repositorio.ucv.edu.pe](http://repositorio.ucv.edu.pe)

Fuente de Internet

<1 %

13

[patents.google.com](http://patents.google.com)

Fuente de Internet

<1 %

14

[www.acodal.org.co](http://www.acodal.org.co)

Fuente de Internet

<1 %

15

[issuu.com](http://issuu.com)

Fuente de Internet

<1 %

16

[repositorio.unicordoba.edu.co](http://repositorio.unicordoba.edu.co)

Fuente de Internet

<1 %

17

Submitted to tarapoto

Trabajo del estudiante

<1 %

18

[repositorio.unjbg.edu.pe](http://repositorio.unjbg.edu.pe)

Fuente de Internet

<1 %

19

William Quitiaquez, Isaac Simbaña, César A. Isaza-Roldán, Patricio Quitiaquez et al.

"Revisión del estado del arte de sistemas DX-

<1 %

60	<a href="http://agora.ya.com">agora.ya.com</a> Fuente de Internet	<1 %
61	<a href="http://educacion.sanjuan.edu.ar">educacion.sanjuan.edu.ar</a> Fuente de Internet	<1 %
62	<a href="http://es.slideshare.net">es.slideshare.net</a> Fuente de Internet	<1 %
63	<a href="http://fr.slideshare.net">fr.slideshare.net</a> Fuente de Internet	<1 %
64	<a href="http://idoc.pub">idoc.pub</a> Fuente de Internet	<1 %
65	<a href="http://journals.nubip.edu.ua">journals.nubip.edu.ua</a> Fuente de Internet	<1 %
66	<a href="http://livrosdeamor.com.br">livrosdeamor.com.br</a> Fuente de Internet	<1 %
67	<a href="http://nanopdf.com">nanopdf.com</a> Fuente de Internet	<1 %
68	<a href="http://repositorio.uwiener.edu.pe">repositorio.uwiener.edu.pe</a> Fuente de Internet	<1 %
69	<a href="http://www.science.gov">www.science.gov</a> Fuente de Internet	<1 %
70	<a href="http://ojs2.utp.edu.co">ojs2.utp.edu.co</a> Fuente de Internet	<1 %
71	<a href="http://solar-energia.net">solar-energia.net</a> Fuente de Internet	<1 %

---

Excluir citas      Activo

Excluir coincidencias      Apagado

Excluir bibliografía      Activo

**ASESOR**

DR. CIRO ABELARDO ESPINOZA MONTES

## **DEDICATORIA**

Dedico este trabajo a aquellos que han sido mi faro en el mar de la vida, mis padres y familiares, cuya incansable fe y amor incondicional me han guiado a través de cada desafío. A mis amigos y mentores, cuya sabiduría y apoyo han sido pilares en mi crecimiento personal y académico.

Huaroc Santiago, Franz Antonio

Esta tesis es un tributo a las personas que han marcado mi camino con huellas imborrables: a mi familia, cuyo amor y sacrificio han sido el viento bajo mis alas; a mis profesores y colegas, por su guía esclarecedora y su confianza inquebrantable en mi potencial. A todos ustedes, que han sido mi soporte y mi alegría, les dedico este logro, como un reflejo de lo que hemos construido juntos

Salome Cajahuanca, Franz Alexis

## RESUMEN

El objetivo general del presente estudio fue determinar la influencia del material de la tubería y los canales de espejo en la eficiencia energética del colector solar. Respecto a la metodología, el enfoque de la investigación fue cuantitativo de tipo aplicado, se utilizó el método científico inductivo de nivel explicativo con diseño experimental / longitudinal; la muestra estuvo conformada por 20 experimentos en el sistema del colector solar; se empleó como técnica de recolección de datos empírica y el instrumento fue termómetro digital fichas de observación. Se halló por resultados que el colector solar de cobre, se observa una eficiencia promedio de 39.9% en el Canal 1 y de 40.4% en el Canal 2, indicando un rendimiento ligeramente mejor en el segundo canal. Por otro lado, el colector solar de acero inoxidable (INOX) muestra una eficiencia promedio significativamente menor, con 35% para el Canal 1 y 34% para el Canal 2. Estas cifras sugieren que tanto el material del colector como la configuración del canal tienen un impacto significativo en el rendimiento del sistema del colector solar. Entre las cuatro configuraciones analizadas, el colector solar de cobre en el Canal 2 destaca como el más eficiente, con un promedio de eficiencia del 40.4%. En conclusión, el material de los colectores solares y los canales de espejos, influyen significativamente la eficiencia energética de los colectores solares.

**Palabras claves:** material de tuberías, canales de espejos, eficiencia del colector solar.

## **ABSTRACT**

The general objective of the present study was to determine the influence of the material of the pipe and the glass channels on the energy efficiency of the solar collector. Regarding the methodology, the research approach was quantitative of an applied type., the inductive scientific method of explanatory level with experimental/longitudinal design was used; The sample was made up of 20 experiments in the solar collector system; Empirical was used as a data collection technique and the instrument was a digital thermometer and observation sheets. It was found from the results that the copper solar collector has an average efficiency of 39.9% in Channel 1 and 40.4% in Channel 2, indicating a slightly better performance in the second channel. On the other hand, the stainless steel solar collector (INOX) shows a significantly lower average efficiency, with 35% for Channel 1 and 34% for Channel 2. These figures suggest that both the collector material and the channel configuration have a significant impact on the performance of the solar collector system. Among the four configurations analyzed, the copper solar collector on Channel 2 stands out as the most efficient, with an average efficiency of 40.4%. In conclusion, the material of the solar collectors and the mirror channels significantly influence the energy efficiency of the solar collectors.

**Keywords:** pipe material, mirror channels, solar collector efficiency.

## ÍNDICE GENERAL

ASESOR .....	ii
DEDICATORIA .....	iii
RESUMEN .....	iv
ABSTRACT .....	v
ÍNDICE GENERAL .....	vi
ÍNDICE DE TABLAS .....	x
ÍNDICE DE FIGURAS .....	xii
INTRODUCCIÓN .....	xiii
CAPITULO I PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	1
1.1.    Fundamentación del problema.....	1
1.2.    Formulación del problema.....	1
1.2.1.    Problema general.....	1
1.2.2.    Problemas específicos: .....	2
1.3.    Objetivos de la investigación.....	2
1.3.1.    Objetivo general.....	2
1.3.2.    Objetivos específicos .....	2
1.4.    Justificación e importancia del proyecto.....	2
1.4.1.    Razones que motivan la investigación.....	2
1.4.2.    Importancia del tema de investigación.....	2

1.5.	Alcances y limitaciones del estudio.....	3
CAPITULO II MARCO TEÓRICO.....		4
2.1.	Antecedentes .....	4
2.2.	Bases Teóricas.....	9
2.2.1.	Colector solar.....	9
2.2.2.	Colectores solares sin concentración .....	10
2.2.3.	Colectores solares con concentración .....	13
2.2.4.	Componentes del colector solar.....	14
2.2.5.	Transferencia de Calor:.....	15
2.2.6.	Irradiación solar .....	17
2.2.7.	Clases de absorbentes .....	20
2.2.8.	Inclinación y orientación del colector .....	24
2.2.9.	Eficiencia térmica ( $\eta$ ) .....	25
2.2.10.	Energía térmica útil o ganada ( $E_t$ ) .....	25
2.2.11.	Energía solar recibida ( $E_s$ ) .....	26
2.2.12.	Área efectiva de captación ( $m^2$ ) .....	26
2.2.13.	El área interior de la tubería.....	26
2.3.	Bases conceptuales y operacionales .....	27
2.3.1.	Definiciones conceptuales .....	27
2.3.2.	Definiciones operacionales .....	27
2.3.3.	Definición de términos básicos .....	27
2.4.	Hipótesis de la investigación.....	29
2.4.1.	Hipótesis General .....	29
2.4.2.	Hipótesis Específicas.....	29
2.5.	Operacionalización de las variables.....	30
CAPÍTULO III METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN .....		31
3.1.	Método de investigación .....	31
3.2.	Tipo de investigación .....	31
3.3.	Nivel de investigación .....	31
3.4.	Diseño de la investigación .....	32

3.4.1.	Diseño factorial .....	32
3.4.2.	Diseño factorial $2^k$ .....	32
3.5.	Población y muestra o unidad de investigación .....	34
3.6.	Materiales usados en la investigación.....	35
3.7.	Diseño e instrumentos de recolección de datos.....	36
3.8.	Lugar de toma de datos .....	36
3.9.	Procedimiento de la investigación.....	36
CAPÍTULO IV DESARROLLO DE LA INVESTIGACION .....		39
4.1.	Ecuaciones .....	39
4.1.1.	Eficiencia térmica ( $\eta$ ) .....	39
4.1.2.	Energía térmica útil o ganada ( $E_t$ ) .....	39
4.1.3.	Energía solar recibida ( $E_s$ ) .....	40
4.1.4.	Área efectiva de captación ( $m^2$ ) .....	40
4.1.5.	El área interior de la tubería.....	41
4.2.	Resultados .....	41
4.2.1.	Cálculo del área interior de la tubería ( $m^2$ ).....	41
4.2.2.	El área efectiva de captación sería el área interna total de la tubería ( $m^2$ ).....	42
4.2.3.	Cálculo de la energía solar recibida ( $E_s$ ) .....	43
4.2.4.	Cálculo Energía térmica útil o ganada ( $E_t$ ) .....	44
4.2.5.	Promedio de eficiencia del colector solar.....	49
CAPÍTULO V RESULTADOS DE LA INVESTIGACIÓN .....		50
5.1.	Análisis estadístico.....	50
5.1.1.	Calculo paso a paso de los valores para ANOVA .....	51
5.2.	Interpretación de Resultados .....	57
5.2.1.	Diagrama de Efectos de Pareto .....	57
5.2.2.	Análisis de Residuos.....	58
5.2.3.	Prueba de Normalidad .....	60
5.2.4.	Efectos sobre la eficiencia .....	61
5.3.	Contrastación de Hipótesis .....	62

5.4. Discusiones.....	63
CONCLUSIONES.....	67
RECOMENDACIONES .....	68
REFERENCIA BIBLIOGRÁFICAS.....	69
ANEXOS .....	73
Anexo 1. Matriz de consistencia .....	74
Anexo 2. Promedio de radiación solar del Valle del Mantaro.....	76
Anexo 3. Temperaturas tomadas por día .....	77
Anexo 4. Base de datos para las pruebas de hipótesis .....	79
Anexo 5. Gráfico de tratamiento de Datos .....	80
Anexo 6. Diseño en 3D .....	81
Anexo 7. Fotos de construcción del colector solar.....	86

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 <i>Ubicación geográfica, récord histórico y tipo de instrumento de medición de irradiación solar en las estaciones base</i> .....	18
Tabla 2 <i>Valores de las principales variables climáticas de las estaciones base</i> .....	19
Tabla 3 <i>Hora de salida del sol (HS), hora de puesta del sol (HP) y duración astronómica del día (N), para diferentes latitudes</i> .....	19
Tabla 4 <i>Inclinación del colector</i> .....	25
Tabla 5 <i>Operacionalización de variables</i> .....	30
Tabla 6 <i>Simbolos de combinacion del diseño factorial</i> .....	33
Tabla 7 <i>Diseño factorial de 2<sup>2</sup></i> .....	34
Tabla 8 <i>Materiales usados en la investigación</i> .....	35
Tabla 9 <i>Equipos usados en la investigación</i> .....	35
Tabla 10 <i>Resultados de energía térmica útil y eficiencia de colector solar por la tubería de cobre – canal 1</i> .....	44
Tabla 11 <i>Resultados de energía térmica útil y eficiencia de colector solar por la tubería de cobre – canal 2</i> .....	45

Tabla 12 <i>Resultados de energía térmica útil y eficiencia de colector solar por la tubería de acero inoxidable – canal 1</i> .....	47
Tabla 13 <i>Resultados de energía térmica útil y eficiencia de colector solar por la tubería de acero inoxidable – canal 2</i> .....	48
Tabla 14 <i>Resultados del promedio de eficiencia para cada colector solar y canal de espejos</i> .....	49
Tabla 15 <i>Análisis ANOVA de dos factores (Material de la tubería y canales de vidrios)</i> .....	50
Tabla 16 <i>Tabla de Residuos</i> .....	58
Tabla 17 <i>Prueba de Normalidad</i> .....	60

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 <i>Colector Solar Plano</i> .....	10
Figura 2 <i>Colector Solar de placa plana</i> .....	11
Figura 3 <i>Colectores de aire</i> .....	12
Figura 4 <i>Colectores de vacío</i> .....	12
Figura 5 <i>Absorbentes planos</i> .....	21
Figura 6 <i>Tubo soldado a la placa</i> .....	21
Figura 7 <i>Espaciamiento de tubos</i> .....	22
Figura 8 <i>Absorbente cilíndrico</i> .....	23
Figura 9 <i>Absorbentes cilíndrico con reflector</i> .....	23
Figura 10 <i>Canal 1 de espejos de dos ángulos</i> .....	35
Figura 11 <i>Canal 2 de espejos con tres ángulos</i> .....	35
Figura 12 <i>Diagrama de efectos de Pareto</i> .....	57
Figura 13 <i>Análisis de Residuos</i> .....	59
Figura 14 <i>Efectos principales para la eficiencia</i> .....	61

## INTRODUCCIÓN

El desarrollo de tecnologías eficientes en la generación de energía es crucial para mitigar el impacto negativo del cambio climático. Los dispositivos ineficientes, como algunos sistemas de producción de agua caliente, contribuyen significativamente a este problema al liberar energía desperdiciada en forma de calor al medio ambiente. La tendencia ascendente en la temperatura subraya la necesidad de adoptar soluciones energéticas más sostenibles y eficientes.

Una solución prometedora es el uso de colectores solares planos con canales de espejos para la producción de agua caliente. Estos sistemas están diseñados para minimizar las pérdidas de calor, que comúnmente ocurren a través de la conducción y la convección en los sistemas tradicionales. Donde, la conducción se produce principalmente a través de las paredes de los materiales de recolección, tuberías y tanques, mientras que la convección ocurre a través del aire y la superficie transparente. Los colectores solares con canales de espejos abordan estos problemas de manera eficiente, reduciendo así la emisión de calor al ambiente y optimizando el proceso de calentamiento del agua. Su implementación podría ser una estrategia clave en la lucha contra el cambio climático, especialmente en regiones vulnerables al calentamiento global como Perú.

En el primer capítulo se describe el contenido del problema de investigación, la formulación del problema, los objetivos, la justificación de la investigación, los alcances y las hipótesis. El segundo capítulo presenta información sobre el

marco teórico, los antecedentes, bases conceptuales y la operacionalización de variables. El capítulo tres presenta información sobre el método de investigación, el tipo, el nivel, el diseño, la población y muestra, los materiales y los procedimientos. El cuarto capítulo desarrolla los resultados obtenidos en el proceso de toma de datos y elaboración de los colectores solares. El quinto capítulo presenta la discusión de resultados. El sexto capítulo se enfoca en las conclusiones obtenidas. El séptimo capítulo presenta las recomendaciones. Finalmente se presenta la bibliografía y los anexos de la investigación.

# **CAPITULO I**

## **PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

### **1.1. Fundamentación del problema**

Los dispositivos y máquinas ineficientes tienen un impacto negativo en el cambio climático porque liberan al medio ambiente la energía perdida en forma de calor. Durante los últimos 50 años, la temperatura en todo el Perú ha aumentado 0,75°C, pero en los próximos 50 años aumentará 2°C (Andersen et al., 2009).

Las pérdidas de calor se producen mediante la transferencia de calor al ambiente mediante conducción y convección. La conducción ocurre a través de las paredes de los materiales de recolección, tuberías y tanque, mientras que la convección ocurre a través del aire y la superficie transparente (Balaji et al., 2018).

La finalidad de la investigación es evaluar la propuesta de un colector solar que, como novedad, utiliza canales de espejo que reflejan la radiación solar hacia el tubo absorbente.

### **1.2. Formulación del problema**

#### **1.2.1. Problema general**

El problema general se plantea con la siguiente interrogante:

¿Cómo influyen el material de las tuberías y los canales de espejos en la eficiencia energética de los colectores solares?

### **1.2.2. Problemas específicos:**

- ¿Cómo influye el material de la tubería en la eficiencia de los colectores solares para calentar agua?
- ¿Cómo influyen los canales de espejos en la eficiencia de los colectores solares para calentar agua?

### **1.3. Objetivos de la investigación**

#### **1.3.1. Objetivo general**

Determinar la influencia del material de la tubería y los canales de espejos en la eficiencia energética de los colectores solares.

#### **1.3.2. Objetivos específicos**

- Determinar la influencia del material de la tubería en la eficiencia de los colectores solares para calentar agua.
- Determinar la influencia de los canales de espejos en la eficiencia de los colectores solares para calentar agua.

### **1.4. Justificación e importancia del proyecto**

#### **1.4.1. Razones que motivan la investigación**

La razón por la cual nos motiva esta investigación es la solución del problema que permitirá mejorar la eficiencia de los colectores solares de calentamiento de agua y de esa manera también contribuir con información para futuras investigaciones.

#### **1.4.2. Importancia del tema de investigación**

Es importante porque se obtendrá una evaluación de la propuesta de colectores solares donde el absorbedor está limitado a la parrilla de tubería y el resto de la radiación solar que llega al colector será reflejado a dichos absorbedores.

Este trabajo se hará posible con el fin de contribuir al bienestar y mejorar la calidad de vida que se suscita hoy en día.

### **1.5. Alcances y limitaciones del estudio**

En esta investigación se llegará a estudiar la influencia del perfil de los espejos para obtener los canales de espejos y de manera saber la velocidad de calentamiento de agua, en un colector solar. Como también se llegará a estudiar la influencia del material de la tubería en la velocidad de calentamiento de agua, en un colector solar. La limitante es la escasa información del uso de canales de espejos en colectores solares.

## **CAPITULO II**

### **MARCO TEÓRICO**

#### **2.1. Antecedentes**

Existen diversas investigaciones relacionadas a Colectores Solares, a continuación, se presenta algunos de ellos:

Según Capcha (2014) en su tesis profesional titulada "Colector solar de placas paralelas como una alternativa eficiente para calentamiento de agua mediante termosifón en el Valle del Mantaro", presentada en la Universidad Nacional del Centro del Perú, en la facultad de Ingeniería Mecánica, los resultados de su investigación indican lo siguiente: el flujo de calor efectivo en el colector solar de placas paralelas es de 19,527.694 BTU/hr, lo cual representa el 100% del flujo de calor radiante recibido por la placa absorbente. Por otro lado, en el colector solar de tubos, el flujo de calor efectivo es de 10,358.184 BTU/hr, equivalente al 53% de dicho flujo radiante. Además, se observa que el área efectiva de captación del colector solar de placas paralelas (10.774 pie<sup>2</sup>) es mayor que la del colector solar de tubos (5.715 pie<sup>2</sup>).

*Relevancia:* Los resultados de la investigación previa indican claramente que el colector solar de placas paralelas es una opción más eficiente para calentar agua en el Valle del Mantaro utilizando termosifón. Esto se debe a dos razones principales: tiene un mayor flujo de calor efectivo y una mayor área para captar el calor en comparación con el colector de tubos.

Travezaño (2002) en su trabajo para obtener el título de segunda especialización profesional en energía solar, titulado "Diseño, construcción y evaluación de una terma solar de 50 litros para uso doméstico" presentado en la Universidad Nacional de Ingeniería, Facultad de Ciencias, se llega a la conclusión de que la eficiencia del calentador siempre es menor que la del colector debido a las diferentes pérdidas. En este caso particular, se encontró que la eficiencia promedio diaria de la Terma Solar fue de 0,48. Además, se registró una temperatura promedio de 63°C en el tanque a las 4:00 pm, mientras que la temperatura promedio del tanque al inicio de la evaluación (9:00 am) fue de 30°C. De esta manera, se puede deducir que se logró un incremento de temperatura de 33°C.

*Relevancia:* En la investigación llevada a cabo por Travezaño acerca de la energía solar, se determinó que el calentador presenta una menor eficiencia en comparación con el colector debido a las pérdidas. La terma solar examinada registró una eficiencia promedio diaria de 0,48 y experimentó un aumento de temperatura de 33°C, alcanzando su temperatura máxima de 63°C a las 4:00 pm.

García (2010) presentaron un trabajo de investigación titulado "Diseño y construcción de un colector solar en forma de V para calentamiento de agua residencial: Propuesta técnica y económica para comunidades rurales" en la Universidad de las Américas Puebla - México, Escuela de Ingeniería Civil y Ambiental. Este proyecto de investigación aborda el tema de la contaminación ambiental, específicamente la contaminación del aire causada por la quema de combustibles fósiles, y propone una alternativa ecológica para una de sus múltiples aplicaciones. El principal objetivo del proyecto de investigación es diseñar un colector solar rentable en forma de V adecuado para comunidades rurales e individuos con recursos limitados.

*Relevancia:* La investigación previa se centra en abordar la contaminación del aire causada por la quema de combustibles fósiles, específicamente

en comunidades rurales. Para ello, proponen el diseño y construcción de un colector solar en forma de V, una alternativa rentable y ecológica para el calentamiento de agua residencial.

Fernández y Tuesta (2014) en su tesis de pregrado titulada "Eficiencia y capacidad de una terma solar con un colector de 1 m<sup>2</sup> de tubos verticales de cobre en Chachapoyas, Amazonas - 2014", realizada en la Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas, Facultad de Ingeniería y Ciencias Agrarias. Sus conclusiones se resumen de la siguiente manera: La terma solar, equipada con un colector solar plano de 1 m<sup>2</sup> fabricado con tubos y accesorios de cobre de 1/2", y un tanque de almacenamiento de agua caliente con una capacidad de 80 litros, logró alcanzar una temperatura máxima en el tanque de almacenamiento de 39°C en un día soleado. Además, se registró una ganancia de temperatura de 22°C y una eficiencia del 33,3%, con una radiación solar de 6,13 kWh/m<sup>2</sup>.

*Relevancia:* El estudio previo analizó el rendimiento de una terma solar equipada con un colector de cobre de 1 m<sup>2</sup> en Chachapoyas, Amazonas. Los resultados revelaron que esta terma alcanzó una temperatura máxima en el tanque de 39°C, logrando una ganancia de temperatura de 22°C y una eficiencia del 33,3% con una radiación solar de 6,13 kWh/m<sup>2</sup>.

Campos (2018) en su tesis de pregrado titulada "Diseño, Construcción y Validación de un Sistema Solar Térmico para Producción de Agua Caliente Sanitaria en una Clínica de Fisioterapia", presentado en la Universidad De El Salvador, escuela de ingeniería mecánica, se planteó el objetivo de implementar un sistema de recolección de energía solar utilizando un panel plano para generar agua caliente en el área de hidroterapia de la unidad de fisioterapia de la clínica de Bienestar Universitario. El enfoque utilizado fue cuantitativo y el diseño fue experimental. Para llevar a cabo el estudio, se construyó y validó un sistema de energía solar térmica que posibilitaba la generación de agua caliente para uso sanitario. El instrumento utilizado fue el sistema solar

térmico construido y la muestra correspondió a los pacientes que requerían terapias de hidroterapia. En conclusión, la investigación logró desarrollar y validar un sistema solar térmico que suplió la demanda de agua caliente para fines higiénicos en la clínica de fisioterapia, lo que permitió brindar terapias con agua a una temperatura adecuada.

*Relevancia:* En el estudio de Campos, se implementó un sistema solar térmico experimental para generar agua caliente en una clínica de fisioterapia. Asimismo, logró satisfacer la demanda de agua caliente, brindando terapias con agua a temperatura adecuada.

González y Calad (2021) en su tesis de pregrado titulada "Evaluación termo económica de colectores solares de placa plana para producción de agua caliente sanitaria en un hotel de la ciudad de Montería - Córdoba" presentado en la Universidad De Córdoba, Departamento de ingeniería mecánica, se planteó el objetivo de realizar un estudio termo económico de un colector solar de placa plana empleado para generar agua caliente para propósitos de higiene en un establecimiento hotelero situado en la localidad de Montería. Se empleó un enfoque cuantitativo y diseño experimental, además se utilizaron diversas herramientas tales como software RETScreen Expert para estudiar la radiación solar en la zona específica, el programa CYPECAD MEP para diseñar el sistema y el software TRNSYS para determinar la exergía del sistema. En conclusión, los hallazgos permitieron determinar la viabilidad y eficiencia del aprovechamiento de los paneles solares de tipo plano en la generación de agua caliente para uso higiénico. Además, los análisis realizados también permitieron determinar la cantidad óptima de colectores necesarios, la tasa de retorno de la inversión, la exergía del sistema y su eficiencia en la generación de agua caliente para propósitos de higiene.

*Relevancia:* En su tesis de pregrado, González y Calad evaluaron la eficiencia de los colectores solares en la generación de agua caliente para un hotel en Montería. Los resultados destacaron la viabilidad y eficiencia de los paneles solares, además de proporcionar información sobre la

cantidad óptima de colectores, la tasa de retorno de la inversión y la eficiencia del sistema.

Otavalo y Olmedo (2018) en su tesis de pregrado titulada "Análisis comparativo de la eficiencia de colectores solares térmicos y colectores solares termodinámicos utilizados en bombas de calor asistidas por energía solar para la generación de agua caliente en el sector residencial" presentado en la Universidad Politécnica Salesiana, Facultad De Ingeniería Mecánica, se planteó el objetivo de evaluar la eficiencia de colectores solares térmicos y termodinámicos empleados en sistemas de transferencia de calor con asistencia solar para producir agua caliente en el ámbito doméstico. Se empleo un enfoque fue mixto y diseño experimental, también se realizaron pruebas experimentales en las cuales se analizaron los efectos de las variables de funcionamiento, tales como la temperatura ambiente, la temperatura del líquido y el nivel de radiación solar, entre otros factores. Cada proceso de calentamiento del agua mediante los colectores solares fue evaluado durante un período de 30 minutos. En conclusión, el colector solar térmico también conocido como colector de placa plana con cubierta, superó al colector solar termodinámico ya que logró una temperatura promedio de 58,9°C y una radiación solar máxima de 803,3 W/m<sup>2</sup> en un día despejado. En un día lluvioso, registró una temperatura de 57,9°C. Además, se analizó el calor útil obtenido en los receptores solares, donde el colector térmico alcanzó una cota máxima de 568,22 W en un día despejado, mientras que el colector termodinámico alcanzó 89,66 W en las mismas condiciones.

*Relevancia:* El estudio de Otavalo y Olmedo sobre la eficiencia de los colectores solares térmicos y termodinámicos en la generación de agua caliente en hogares es relevante y aporta información valiosa. Los resultados demuestran que, aunque ambos colectores son eficientes, el colector solar térmico de placa plana con cubierta supera al termodinámico en términos de temperatura y radiación solar, tanto en días despejados como lluviosos. Además, el colector térmico logra un rendimiento significativamente mayor en la producción de calor útil.

Hashim et al. (2018) en su artículo científico titulado "Estudio de caso sobre calentamiento de agua solar para colectores de placa plana" presentado en Iraq, se planteó el objetivo evaluar el rendimiento de un sistema de calentamiento solar de agua mediante colectores de placa plana. Se empleo el enfoque cuantitativo y diseño experimental. Se diseñó un sistema de rendimiento térmico con dimensiones de 125 x 110 cm y ancho de 25 cm, de manera que el fluido pudiera fluir desde la entrada hasta la salida a través de una tubería con una longitud de 15.9 m, diseñada en patrón cuadrado en pendiente. El fluido utilizado fue agua, y se evaluaron dos tasas de flujo diferentes (5.3 y 6.51 L/min). En conclusión, los hallazgos revelaron que el agua a una tasa de flujo de 5.3 L/min se calentó más que a una tasa de flujo de 6.51 L/min, lo que resultó en una mayor eficiencia y efectividad del colector, alcanzando una temperatura máxima de 51.4 °C y 49 °C para las tasas de flujo de 5.3 L/min y 6.51 L/min, respectivamente y se puede afirmar que este sistema puede utilizarse para calentar agua y luego utilizarla en el hogar, edificios y otros fines.

*Relevancia:* En el estudio previo se evaluó un sistema de calentamiento solar de agua con colectores de placa plana. A una tasa de flujo de 5.3 L/min, el agua se calentó más y el colector fue más eficiente, alcanzando una temperatura máxima de 51.4 °C. A una tasa de flujo de 6.51 L/min, la temperatura máxima fue de 49 °C. Estos hallazgos indican que este sistema es adecuado para calentar agua en hogares, edificios y otros usos.

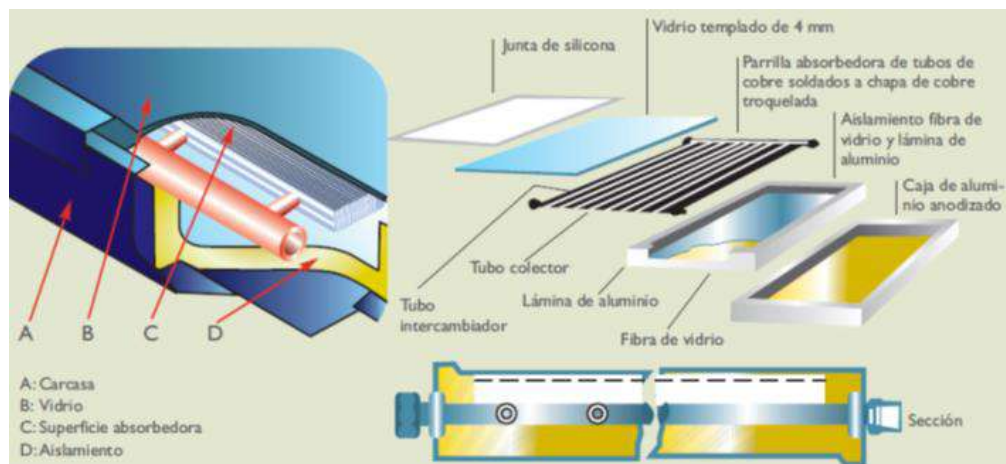
## **2.2. Bases Teóricas**

### **2.2.1. Colector solar**

El funcionamiento de los colectores solares se basa en el efecto invernadero: la radiación solar (onda corta) incide sobre y a través del vidrio y es absorbida por la superficie calentada. Después la superficie calentada genera radiación calor térmica; pero este tipo de ondas largas no queda atrapado en el colector porque no consigue atravesar el vidrio;

el principio de funcionamiento básico de estos colectores solares es simple: capturar la radiación solar y transferir el calor a un fluido, generalmente agua o aire. Para aprovechar la energía solar se utilizan colectores solares. El fluido calentado se puede utilizar directa o indirectamente a través de un intercambiador de calor (Schallenberg et al., 2008).

**Figura 1**  
*Colector Solar Plano*



*Nota.* Tomado de Schallenberg et al. (2008)

Los colectores solares aprovechan el efecto invernadero para su funcionamiento. La radiación solar incide en el vidrio y es absorbida por la superficie calentada, generando calor. Este calor se transfiere a un fluido, como agua o aire, que puede utilizarse directamente o a través de un intercambiador de calor. De esta manera, los colectores solares capturan la radiación solar y la convierten en energía utilizable.

### 2.2.2. Colectores solares sin concentración

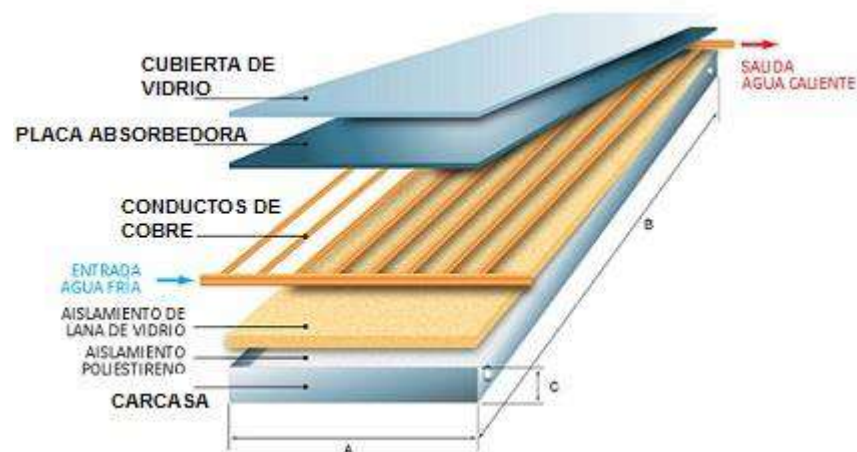
Se emplean en el calentamiento solar de baja temperatura porque su temperatura no supera los 70°C. Un ejemplo de aplicación es la producción de agua caliente. Dado que estos colectores solares carecen de un método de concentración típico, la relación entre la superficie del colector solar y la superficie absorbente es esencialmente la misma.

### a. Colectores solares de placa plana

Generalmente, los colectores de panel plano actúan como receptores que recogen la energía del sol y calientan los paneles. La energía almacenada en las placas se transfiere al líquido. Estos colectores solares suelen tener una cubierta de vidrio transparente o plástico que aprovecha el efecto invernadero, y están formados por varios tubos de cobre que, al exponerse a la luz solar, absorben la radiación solar y la transfieren al líquido que pasa por ellos. Su aplicación es la producción de agua caliente sanitaria, calefacción y climatización de piscinas.

**Figura 2**

*Colector Solar de placa plana*



*Nota.* Tomado de Schallenberg et al. (2008)

### b. Colectores de aire

Son colectores planos cuya principal característica es el aire como fluido caloportador. No tienen un límite máximo de temperatura (el proceso de convección afecta menos al aire) y funcionan bien en condiciones normales de circulación, pero tienen una capacidad calorífica relativamente baja y un pobre proceso de transferencia de calor entre las placas y el líquido. Su uso principal es la calefacción.

**Figura 3**

*Colectores de aire*



*Nota.* Tomado de Schallenberg et al. (2008)

c. Colectores de vacío:

Están equipados con una cubierta hermética de doble capa, aislamiento hermético, interno y externo, y se crea un vacío en el interior. Su finalidad es reducir las pérdidas por convección. Son más caros y pierden su efecto de vacío con el tiempo. Su uso principal es la producción de agua caliente sanitaria y climatización de piscinas.

**Figura 4**

*Colectores de vacío*



*Nota.* Tomado de Schallenberg et al. (2008)

d. Tubos de calor:

Tienen simetría cilíndrica y están formados por dos tubos

concéntricos; exterior de cristal e interior pintado de negro o barnizado selectivamente. El fluido circula a través del tubo interior. Su uso principal es la calefacción.

e. Colectores cónicos o esféricos:

Su característica principal es que forman una unidad de recogida y almacenamiento al mismo tiempo. Su superficie de recogida es cónica o esférica con una cubierta de vidrio de la misma geometría. Con estas geometrías es posible conseguir una superficie iluminada de forma continua durante todo el día sin sombras. Son fáciles de instalar, pero tienen problemas con la humedad y tienen una pequeña captación útil. Su finalidad principal es producir agua caliente sanitaria.

Los colectores solares sin concentración se emplean para calentar agua a baja temperatura. Los colectores de placa plana transfieren la energía solar al líquido a través de tubos de cobre, mientras que los de aire se usan para calefacción. Los colectores de vacío reducen las pérdidas por convección, los tubos de calor se usan en calefacción y los colectores cónicos o esféricos producen agua caliente sanitaria.

### **2.2.3. Colectores solares con concentración**

Estos colectores utilizan concentración óptica para elevar la temperatura del líquido por encima de los 70°C. Estos captadores son aptos para energía solar térmica media-alta temperatura. Se utilizan para la producción central de electricidad y calor a nivel industrial, así como para la producción de electricidad. Utilizan un sistema especial para aumentar la intensidad de la radiación sobre la superficie absorbente y así conseguir una temperatura elevada en el fluido caloportador el más importante.

La complejidad que crean es la necesidad de un sistema de seguimiento para garantizar que el colector esté constantemente orientado hacia el sol.

**a. Concentradores cilíndricos:**

Su superficie reflectante es medio cilindro. Su uso principal es la producción de vapor en centrales térmicas.

**b. Concentradores paraboloídes:**

Su superficie reflectante muestra la geometría de un paraboloíde de revolución. Su uso principal es la producción de vapor en centrales térmicas.

Los colectores solares sin concentración utilizan concentración óptica para alcanzar altas temperaturas. Los concentradores cilíndricos y paraboloídes son usados en la producción de vapor en centrales térmicas. Requieren sistemas de seguimiento para mantener la orientación solar constante.

**2.2.4. Componentes del colector solar**

Según Koulibaly y González (2015) las partes o componentes principales de un colector solar son:

**a. Absorbente:**

Es el principal elemento responsable de la absorción toma la energía del sol y la convierte en calor, que luego se transfiere al agua, y suele ser de metal (cobre, acero, aluminio, etc.).

**b. Cubierta:**

Es una pieza de material transparente montada delante del absorbedor, en la parte superior del colector, cree un espacio (de 2 a 2,6 cm) entre la placa y el absorbedor. El objetivo de la campana es dejar pasar la radiación solar absorbida por los paneles, así como reducir la cantidad de radiación infrarroja que escapa, reduciendo así las pérdidas del colector solar.

**c. Conductos para la circulación del fluido:**

Un colector solar de panel plano debe tener una serie de tubos por donde circula el fluido de trabajo para recibir la energía absorbida por los paneles y entregarla a un tanque de almacenamiento. Existen dos tipos de serpentines o tubos colectores de calor, las conexiones placa-conducto también están disponibles en varios diseños.

**d. Caja:**

La caja es el elemento que soporta todos los componentes del colector solar y evita que la humedad, el polvo y el aire entren en el colector solar y reduzcan su eficiencia. Hay varios materiales adecuados para su construcción: aluminio, chapa galvanizada, madera, termoplástico de alta temperatura o fibra de vidrio laminada.

**e. Tanque de Almacenamiento:**

El calor puede almacenarse en el tanque por circulación directa entre el colector solar y el tanque, o el agua calentada en el colector solar puede circular a través de los serpentines del tanque y así transferir calor al agua del tanque.

Los principales componentes de un colector solar son el absorbente, la cubierta, los conductos para la circulación del fluido, la caja y el tanque de almacenamiento. El absorbente convierte la energía solar en calor, la cubierta permite el paso de la radiación solar y reduce las pérdidas, los conductos transportan el fluido, la caja protege los componentes y el tanque almacena el calor.

**2.2.5. Transferencia de Calor:**

Es el intercambio de energía que sucede en el interior de un cuerpo, velocidad con la que este intercambio de temperaturas se realiza. Se

divide en tres formas: conducción, radiación y convección (Holman y Valenzuela, 1998).

**a. Conducción**

La ley de Fourier de la conducción de calor se utiliza para determinar la tasa de transferencia de calor por unidad de tiempo desde la superficie isotérmica (Guevara, 2003).

$$q = k * A * \frac{d_r}{d_n} \dots\dots\dots (2.1)$$

Donde:

q: Rapidez de transferencia de calor

k: Conductividad térmica del material

A: Superficie isométrica

$\frac{d_r}{d_n}$  : Gradiente de temperatura

**b. Radicación:**

Utilizamos la ley de Stefan-Boltzmann, donde la tasa de transferencia de calor está relacionada con la cuarta diferencia de temperatura de potencia (Guevara, 2003).

$$q = \sigma * A * (T_1^4 - T_2^4) \dots\dots\dots (2.2)$$

Donde:

q: Rapidez de transferencia de calor

$\sigma = 5,66 * 10^{-8} \frac{W}{m^2 K^4}$ : Constante de Stefan - Boltzman

A: Superficie que se calienta

T<sub>1</sub>: Temperatura de la superficie

T<sub>2</sub>: Temperatura de la superficie

### c. Convección

Utilizando la ley de Newton, donde la tasa de transferencia de calor está relacionada con la diferencia de temperatura entre la pared y el fluido y el área de la superficie (Guevara, 2003).

$$q = h * A * (T_w - T_{\infty}) \dots\dots\dots (2.3)$$

Donde:

q: Rapidez de transferencia de calor

h: Coeficiente convectivo

A: Superficie del medio sólido en contacto con el fluido

T<sub>w</sub>: Temperatura del medio sólido

T<sub>∞</sub>: Temperatura promedio del fluido

La transferencia de calor ocurre en un cuerpo y se divide en tres formas: conducción, radiación y convección. La conducción se rige por la ley de Fourier, la radiación por la ley de Stefan-Boltzmann y la convección por la ley de Newton.

#### 2.2.6. Irradiación solar

SENHAMI (2003) afirma que su red de medición de radiación solar está compuesta por estaciones con piranómetros, que son instrumentos de precisión que registran directamente la radiación solar; Proporciona una aproximación de la radiación solar; y un pirheliómetro, un instrumento que estima indirectamente la radiación solar a partir de las horas de sol. También cuenta con estaciones meteorológicas automáticas como parte de un programa continuo de radiometría solar cuyos datos se han utilizado

para confirmar los datos históricos existentes, así como para recopilar datos en ubicaciones clave para las que no se dispone de información histórica.

En un estudio realizado por SENAMHI (Atlas Solar del Perú), para calibrar el método se utilizó una red de 10 estaciones con registros de intensidad de insolación y 5 estaciones con registros de radiación óptica distribuidas a lo largo del Perú cubriendo tres regiones (costa, sierra y selva). Las ubicaciones, registros de datos y tipos de instrumentos de medición de las estaciones meteorológicas que forman la red de estaciones de insolación se muestran la tabla 1, mientras que la tabla 2 proporciona una descripción general de las variables climáticas más importantes para estas estaciones.

**Tabla 1**

*Ubicación geográfica, récord histórico y tipo de instrumento de medición de irradiación solar en las estaciones base*

Estación meteorológica	Latitud (°S)	Longitud (°W)	Altitud (msnm)	Récord histórico	Instrumento de medición
Miraflores	5,17	80,62	30	1 979-1 992	Piranómetro
San Ramón SM	5,56	76,05	184	1 972-1 982	Actinógrafo
El Porvenir	6,35	76,19	230	1 964-1 971	Actinógrafo
Bambamarca	6,40	78,31	2 536	1 967-1 977	Actinógrafo
Bellavista	7,03	76,33	247	1 971-1 973	Actinógrafo
Weberbauer	7,17	78,50	2 536	1 980-1 985	Piranómetro
Huayao	12,03	75,32	3 308	1 977-1 996	Piranómetro
A. Von Humboldt	12,08	76,95	238	1 968-1 999	Piranómetro
Cosmos	12,15	75,57	4 575	1 986-1 988	Piranómetro
Granja Kcayra	13,55	71,87	3 219	1 980-1 988	Piranómetro
San Camilo	14,07	75,72	398	1 978-1 988	Piranómetro
Chuquibambilla	14,78	70,73	3 971	1 980-1 984	Piranómetro
Puno	15,83	70,02	3 820	1 977-1 993	Piranómetro
Characato-La Pampilla	16,45	71,48	2 451	1 978-1 987	Piranómetro
La Joya	16,58	71,92	1 295	1 967-1 993	Actinógrafo

*Nota.* SENHAMI (2003)

**Tabla 2**

Valores de las principales variables climáticas de las estaciones base

Estación meteorológica	Energía solar diaria (kW h/m <sup>2</sup> )	Heliofanía relativa (%)	Temperatura máxima (°C)	Temperatura mínima (°C)	Precipitación total (mm/año)
<b>COSTA</b>					
Miraflores	5,75	56	30,7	19,3	216
A. Von Humboldt	4,06	40	23,3	15,5	16
San Camilo	5,92	61	28,7	13,4	11
La Joya	7,03	75	27,0	10,1	77
<b>SIERRA</b>					
Bambamarca	4,56	44	19,4	9,5	737
Weberbauer	4,92	49	21,3	7,6	644
Cosmos	4,92	46	9,2	-0,7	1 047
Huayao	6,00	56	19,6	4,4	765
Granja Kcayra	5,44	53	20,7	3,7	674
Chaquabambilla	6,08	59	16,8	-2,4	715
Puno	6,36	70	14,7	2,0	753
Characato	6,50	73	22,8	6,8	78
<b>SELVA</b>					
San Ramón SM	4,67	41	31,3	20,8	2 158
El Porvenir	3,89	41	32,5	20,4	1 041
Bellavista	4,78	40	32,2	20,9	928

Nota. SENAMHI (2003)

**Tabla 3**

Hora de salida del sol (HS), hora de puesta del sol (HP) y duración astronómica del día (N), para diferentes latitudes

Lat (°)	10°			12°			14°			16°			18°		
	HS	HP	N	HS	HP	N	HS	HP	N	HS	HP	N	HS	HP	N
Ene	05:50	18:29	12,7	05:47	18:32	12,8	05:44	18:35	12,9	05:40	18:39	13,0	05:37	18:42	13,1
Feb	06:02	18:27	12,4	06:00	18:28	12,5	05:58	18:30	12,5	05:56	18:32	12,6	05:54	18:34	12,7
Mar	06:04	18:14	12,2	06:04	18:14	12,2	06:03	18:14	12,2	06:03	18:14	12,2	06:03	18:15	12,2
Abr	06:04	17:56	11,9	06:05	17:55	11,8	06:06	17:53	11,8	06:08	17:52	11,7	06:09	17:50	11,7
May	06:07	17:46	11,7	06:09	17:43	11,6	06:12	17:40	11,5	06:15	17:37	11,4	06:18	17:34	11,3
Jun	06:14	17:47	11,6	06:18	17:43	11,4	06:21	17:40	11,3	06:25	17:36	11,2	06:29	17:32	11,1
Jul	06:18	17:54	11,6	06:21	17:51	11,5	06:25	17:47	11,4	06:28	17:44	11,3	06:32	17:40	11,1
Ago	06:11	17:58	11,8	06:13	17:56	11,7	06:15	17:54	11,7	06:17	17:52	11,6	06:20	17:50	11,5
Set	05:54	17:57	12,1	05:54	17:56	12,0	05:55	17:56	12,0	05:55	17:55	12,0	05:56	17:55	12,0
Oct	05:56	17:55	12,3	05:55	17:57	12,4	05:54	17:58	12,4	05:52	17:59	12,5	05:51	18:01	12,5
Nov	05:27	18:02	12,6	05:25	18:05	12,7	05:22	18:08	12,8	05:19	18:10	12,9	05:16	18:14	13,0
Dic	05:34	18:16	12,7	05:30	18:20	12,8	05:27	18:24	13,0	05:23	18:28	13,1	05:19	18:31	13,2

Nota. SENHAMI (2003)

SENAMHI emplea piranómetros y pirheliómetros en estaciones para medir la radiación solar. Además, utiliza estaciones meteorológicas

automáticas para confirmar datos históricos. Se realizaron estudios en varias regiones de Perú para calibrar los métodos de medición. Las tablas muestran ubicación, registros históricos y variables climáticas de las estaciones, así como horarios de salida y puesta del sol en diferentes latitudes.

### **2.2.7. Clases de absorbentes**

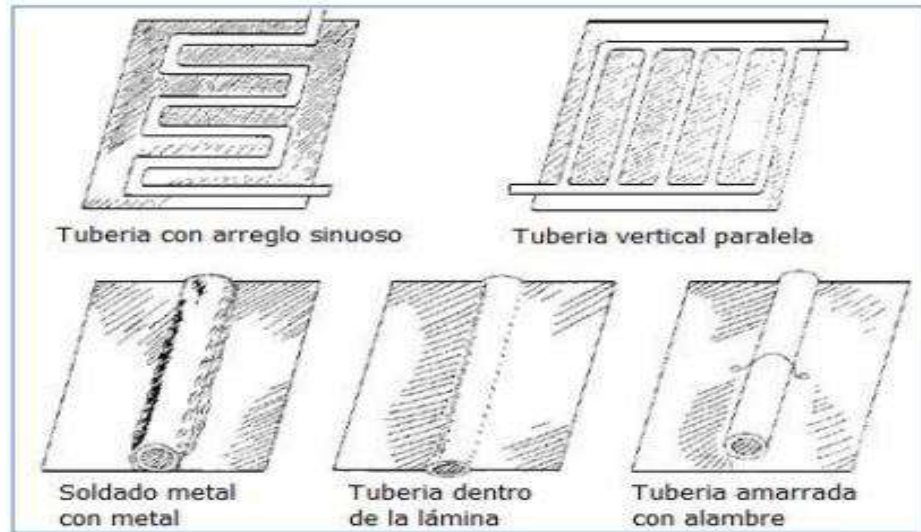
Los absorbentes presentan diferencias tanto en su forma como en su eficiencia. El más eficiente tiene la capacidad de absorber la mayor cantidad de luz solar posible, ya que parte de esta energía se pierde debido a la radiación y la convección. Una vez que la luz solar es absorbida, el material transmitirá la energía a través de su espesor y luego la conducirá al agua en forma de calor. El cobre, el aluminio y el hierro son materiales que cumplen bien estas funciones y son comúnmente utilizados en la producción de absorbentes.

#### **a. Absorbentes planos:**

El agua puede pasar a través, sobre, penetrar o desviar los materiales absorbentes (Figura 5). En la mayoría de los absorbentes planos, el agua está presurizada y contenida en tubos soldados, pegados o unidos a láminas metálicas planas. Este pegamento es muy importante porque los pegamentos inferiores no transfieren calor a la manguera. La soldadura es mejor que el pegamento o la unión con alambre. Cuando la tubería se suelda a la placa, el agua que fluye por ella absorbe más calor que el conductor solo (Figura 3).

**Figura 5**

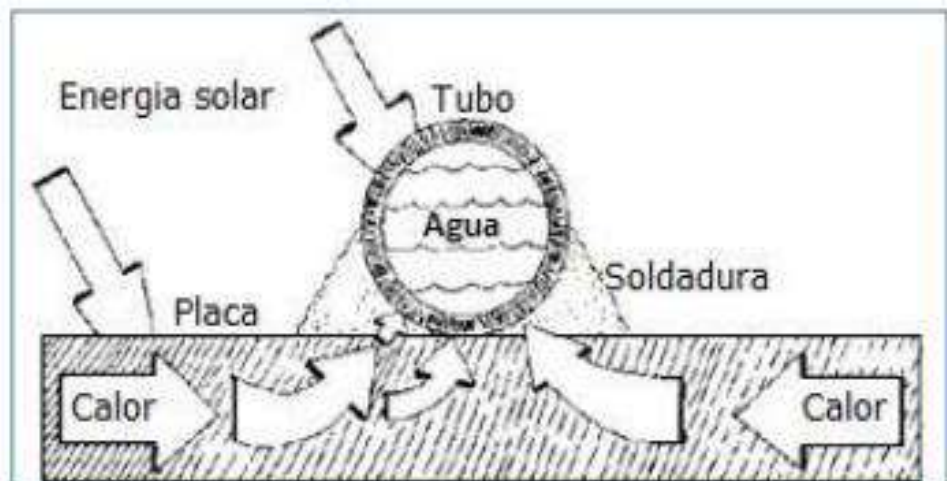
*Absorbentes planos*



*Nota.* Tomado de Capcha (2014)

**Figura 6**

*Tubo soldado a la placa*

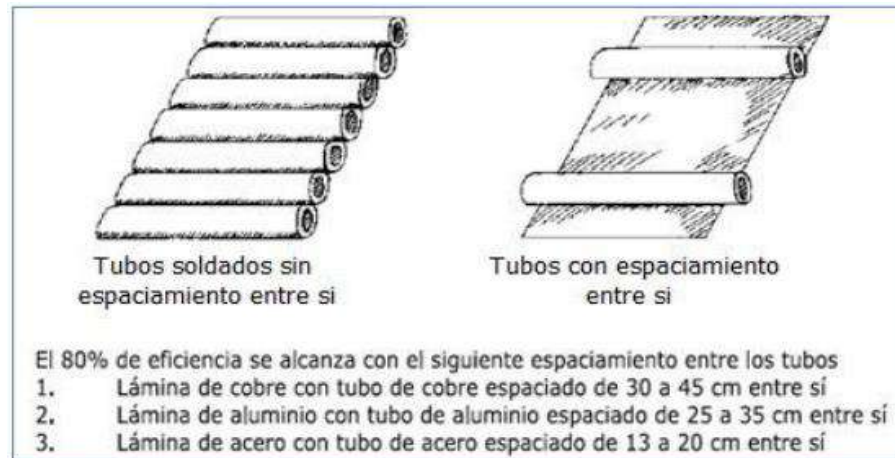


*Nota.* Tomado de Capcha (2014)

La distancia entre las tuberías es tan importante como la elección del material absorbente y el método de conexión. Esta distancia varía con diferentes metales y tamaños de tubería. La figura 7 muestra las dimensiones y profundidades de las tuberías. La separación debe hacerse con buenos absorbentes hechos de los metales listados.

**Figura 7**

*Espaciamiento de tubos*



*Nota.* Tomado de Capcha (2014)

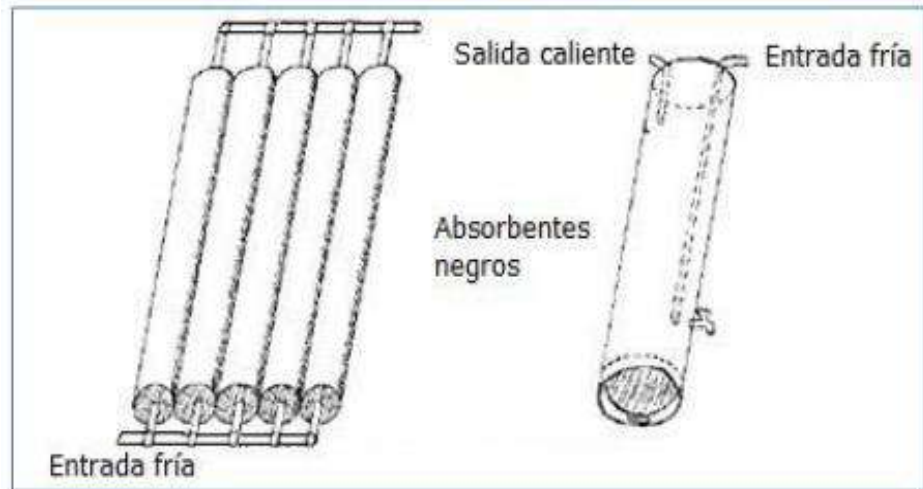
**b. Absorbentes Cilíndricos:**

Además de los absorbentes de calor planos, también existen muchos calentadores de agua que se forman secuencialmente a partir de cilindros (Fig. 8).

Al menos tres fabricantes japoneses de calentadores de agua utilizan tubos de plástico, acero inoxidable o vidrio de 6 pulgadas como superficie absorbente. Por lo general, son sistemas de gravedad que la gente usa para llenar los baños públicos por la tarde, pero no son adecuados para su uso en el mundo occidental debido a su calentamiento lento y aislamiento deficiente durante la noche.

**Figura 8**

*Absorbente cilíndrico*

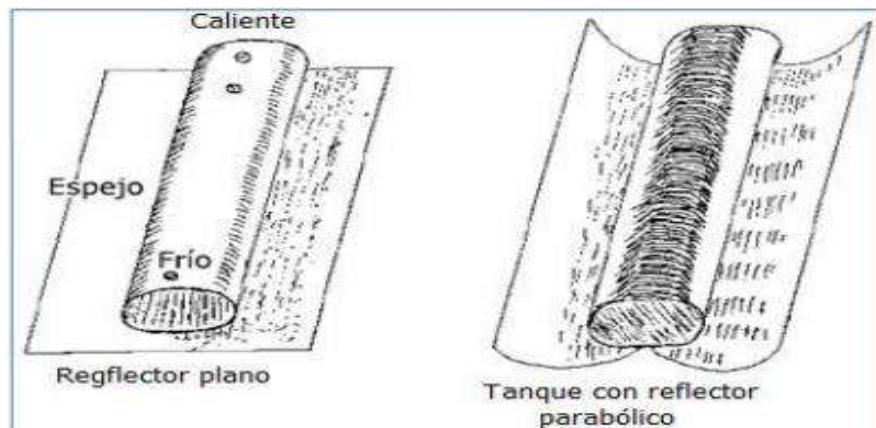


*Nota.* Tomado de Capcha (2014)

Para aumentar la capacidad del absorbedor cilíndrico, detrás de él se coloca un reflector que ilumina toda la superficie (Fig. 8).

**Figura 9**

*Absorbentes cilíndrico con reflector*



*Nota.* Tomado de Capcha (2014)

Estos reflectores son de dos tipos: reflectores planos y reflectores parabólicos. Los reflectores planos no requieren enfoque y solo se pueden colocar en una posición detrás del cilindro de la lente. Un reflector parabólico está curvado para que la luz que incide en el reflector se centre en un punto, lo que calienta rápidamente el agua, pero el reflector siempre debe mirar hacia el sol. Este tipo de reflectores son de poca utilidad en días nublados, mientras que

los diseños planos reflejan la energía solar incluso cuando hay nubes.

Los materiales más comunes que se necesitan para hacer un reflector son: aluminio, plástico plateado y espejo. El papel de aluminio adherido a la superficie es una buena opción por su costo y sus capacidades reflectantes. Los espejos son caros y el plástico plateado, como todos los plásticos, se deteriora con la luz del sol. El aluminio, el plástico plateado y los espejos reflejan alrededor del 80% de la energía luminosa recibida. Un reflector aumenta la eficiencia del absorbedor, pero no es necesario en muchos casos.

Los absorbentes en los colectores solares varían en eficiencia y forma. Los más eficientes transmiten la energía solar al agua a través de materiales como cobre, aluminio o hierro. Los absorbentes planos utilizan tubos soldados a láminas metálicas, mientras que los absorbentes cilíndricos pueden tener reflectores planos o parabólicos para aumentar su capacidad de calentamiento. Los materiales comunes para los reflectores son aluminio, plástico plateado y espejos, que reflejan alrededor del 80% de la energía luminosa recibida.

#### **2.2.8. Inclinación y orientación del colector**

Rozis y Guinebault (1997) mencionaron que el ángulo de inclinación y la orientación del colector juegan un papel importante en la captura correcta energía solar. En general, se puede observar en la tabla 4 las recomendaciones de la siguiente manera:

**Tabla 4**

*Inclinación del colector*

Latitud del lugar	Inclinación
De 0° a 10°	$i = 10^\circ$
De 10° a 20°	$i = \text{lat.}$
De 20° a 35°	$i = \text{lat.} + 10^\circ$
> de 35°	$i = \text{lat.} + 15^\circ$
Fuente: Guinebault A. & Rozis, J. F. (1997)	

*Nota.* Rozis y Guinebault (1997)

La inclinación y orientación del colector solar son cruciales para capturar eficientemente la energía solar. En el hemisferio norte se orientan hacia el Sur y viceversa. Se recomienda seguir las recomendaciones de la tabla 4 para lograr una configuración óptima.

### **2.2.9. Eficiencia térmica ( $\eta$ )**

Se refiere a la capacidad de convertir la energía solar recibida en energía térmica útil. Se calcula como la relación porcentual entre la energía térmica ganada y la energía solar recibida.

$$\eta = Et / Es \dots\dots\dots(1)$$

Donde:

Et = Energía térmica útil o ganada

Es = Energía solar recibida

### **2.2.10. Energía térmica útil o ganada (Et)**

Es la cantidad de energía que el sistema solar logra transferir al agua en forma de calor. Esta energía se mide en función de la variación de la temperatura del agua en el tanque de almacenamiento y teniendo en cuenta la masa del agua y su calor específico.

$$Et = m * Cp * (Tf - Ti) \dots\dots\dots(2)$$

Donde:

m = masa (g)

Cp = calor específico del agua (J/g °C)

Tf = Temperatura de salida del agua (°C)

Ti = Temperatura de entrada del agua (°C)

### **2.2.11. Energía solar recibida (Es)**

Representa la cantidad total de energía solar que incide en el área efectiva de captación del colector solar durante un período determinado.

$$Es = I * Ae \dots\dots\dots (3)$$

Donde:

Ae = área efectiva de captación (m<sup>2</sup>)

I = irradiancia solar promedio en la zona (KW/m<sup>2</sup>)

### **2.2.12. Área efectiva de captación (m<sup>2</sup>)**

Es la superficie del colector solar que está expuesta a la radiación solar y que es capaz de absorberla para transformarla en energía térmica.

$$Ae = Aint * N \dots\dots\dots (4)$$

Donde:

Aint = Área interna de la tubería (m<sup>2</sup>)

N = Número de tubos

### **2.2.13. El área interior de la tubería**

Se refiere al espacio interno a través del cual fluye el agua dentro de la tubería. Esta área es crucial para la eficiencia del calentador, ya que determina la capacidad de flujo de agua y la eficacia en la transferencia de calor.

$$Aint = \pi * r^2 \dots\dots\dots (5)$$

## **2.3. Bases conceptuales y operacionales**

### **2.3.1. Definiciones conceptuales**

El presente trabajo de investigación se compone de dos variables independientes que es material de tuberías y canales de espejos. La variable dependiente eficiencia del colector solar.

#### **VI: Material de tuberías y canales de espejos**

Las tuberías se fabrican en diversos materiales en función de consideraciones técnicas y económicas. Los canales de espejo son formaciones. Los canales de espejos son conductos abiertos por el cual se refleja la luz solar.

#### **VD: Eficiencia del colector solar**

Mide la relación entre la energía útil agregada al flujo que pasa por él, en relación con la energía radiante que llega a él proveniente del sol.

### **2.3.2. Definiciones operacionales**

#### **VI: Material de tuberías y canales de espejos**

Variable que expresa la configuración de los canales reflejantes a distintos ángulos y la variación del material de los tubos absorbentes.

#### **VD: Eficiencia del colector solar**

Variable que expresa la medición en porcentaje del calentamiento de agua.

### **2.3.3. Definición de términos básicos**

- Colector solar: Es cualquier dispositivo diseñado para recoger

la energía radiada por el sol y convertirla en energía térmica (Schallenberg et al, 2008).

- Tanque de almacenamiento: Son estructuras de diversos materiales, por lo general de forma cilíndrica, que son usadas para guardar y/o preservar líquidos o gases a presión ambiente (Koulibaly & González, 2015).
- Agua: Es una sustancia cuya molécula está formada por dos átomos de hidrógeno y uno de oxígeno (H<sub>2</sub>O). Es esencial para la supervivencia de todas las formas conocidas de vida Capcha (2014).
- Transferencia de calor: Es la determinación de la rapidez de transferencia de calor cuando existe una diferencia de temperatura (Holman & Valenzuela, 1998)
- Conductividad térmica: Es la capacidad que tiene los materiales para transferir calor (Guevara, 2003).
- Temperatura: Es una magnitud referida a las nociones comunes de calor medible mediante un termómetro (Koulibaly y González, 2015).
- Tiempo: Es una magnitud física con la que medimos la duración o separación de acontecimientos, sujetos a cambio, de los sistemas sujetos a observación (Koulibaly y González, 2015).

## **2.4. Hipótesis de la investigación**

### **2.4.1. Hipótesis General**

El material de los colectores solares y los canales de espejos, influyen significativamente la eficiencia energética de los colectores solares.

### **2.4.2. Hipótesis Específicas**

- El material influye significativamente en la eficiencia energética de los colectores solares.
- Los canales de espejos influyen significativamente en la eficiencia energética de los colectores solares.

## 2.5. Operacionalización de las variables

**Tabla 5**

*Operacionalización de variables*

<b>Variables</b>	<b>Niveles</b>	<b>Indicadores</b>	<b>Instrumento</b>	<b>Actividades de investigación o tratamiento</b>
<b>Variable independiente X1:</b> Material de tuberías	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Cobre</li> <li>• Acero inoxidable</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Capacidad calorífica.</li> <li>• Calor transferido al agua.</li> <li>• Área de transferencia de calor.</li> </ul>	Tablas de datos por material. Flexómetro. Calculadora.	Dado por el departamento de meteorología del Instituto Geofísico del Perú. Medición de la temperatura de la superficie de contacto a intervalos de tiempo durante el día.
<b>Variable independiente X2:</b> Canales de espejos	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Canal de 2 ángulos</li> <li>• Canal de 3 ángulos</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Angulo de inclinación de las paredes de espejo.</li> <li>• Energía transferida al agua.</li> <li>• Irradiación solar por mes.</li> </ul>	Tabla de datos de SENAMHI. Flexómetro. Angulo de inclinación	
<b>Variable dependiente:</b> Eficiencia del colector solar		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Temperatura que transfiere al agua.</li> <li>• Calor específico del agua.</li> <li>• Masa del agua.</li> <li>• Energía solar (Irradiación solar por mes del año)</li> <li>• Energía térmica útil o ganada</li> <li>• Energía solar recibida</li> </ul>	Termómetro. Frasco con medida en litros. Tabla de datos del calor específico del agua.	Medición del agua a temperatura ambiente. Medición de la temperatura de salida del agua a intervalos de tiempo durante el día.

## **CAPÍTULO III**

### **METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN**

#### **3.1. Método de investigación**

Se empleó el método científico inductivo, respetando las etapas y reglas validadas por la comunidad científica. El procedimiento inició con la observación minuciosa y la recolección de datos. A partir de estos, se identificaron patrones y se formularon hipótesis. Estas hipótesis se sometieron a pruebas rigurosas, conduciendo al desarrollo de teorías respaldadas por evidencia empírica y aceptadas en el ámbito científico. (Hernández et al., 2014)

#### **3.2. Tipo de investigación**

Se utilizó el tipo de investigación aplicada que Carrasco (2006) identifica por su enfoque en objetivos prácticos claros e inmediatos. Se orientó hacia la acción, buscando transformar, modificar o inducir cambios significativos en un área específica de la realidad, reflejando un compromiso con resultados concretos y aplicables.

#### **3.3. Nivel de investigación**

Se adoptó el nivel de investigación explicativo, conforme a la descripción de Hernández et al. (2014), este enfoque se orientó a determinar las causas de los eventos o fenómenos examinados, con el objetivo de

desentrañar y comprender las relaciones causales subyacentes en el tema de estudio.

### **3.4. Diseño de la investigación**

Se utilizó un diseño experimental transversal de investigación, que se basan en la idea de determinar las diferentes características y el desarrollo del diseño de estudio observacional, en un momento dado, en una sola medición retrospectiva.(Hernández et al., 2014).

#### **3.4.1. Diseño factorial**

El diseño factorial es una técnica de diseño de experimentos que permite evaluar simultáneamente los efectos de múltiples factores y sus interacciones sobre una variable de respuesta. En un diseño factorial, todas las posibles combinaciones de los niveles de los factores se investigan en cada experimento completo (Gutiérrez y De la Vara, 2008). Esto ofrece varias ventajas, como la eficiencia en la obtención de datos, ya que permite a los investigadores entender cómo diferentes variables interactúan entre sí y cómo estas interacciones afectan el resultado del experimento.

#### **3.4.2. Diseño factorial $2^k$**

Un diseño factorial estudia dos factores, cada uno a dos niveles. Esto resulta en cuatro combinaciones posibles de tratamientos (nivel 1 del factor I con nivel 1 del factor II, nivel 1 del factor I con nivel 2 del factor II, y así sucesivamente), que se prueban en el experimento para observar los efectos principales y las interacciones entre los factores (Gutiérrez y De la Vara, 2008).

##### **A. Cálculos del diseño $2^k$**

El diseño factorial es el conjunto de tratamientos que pueden formarse considerando todas las posibles combinaciones de los niveles de los factores.

- Donde k es el número de factores

Con  $k = 2$  factores, ambos con dos niveles, se forma el diseño factorial  $2 \times 2 = 2^2$ , que consiste en cuatro combinaciones o puntos experimentales.

- Para obtener el número de corridas experimentales se multiplica el número de tratamientos por el número de réplicas, donde una de éstas se lleva a cabo cada vez que se corre el arreglo completo.

**Tabla 6**

*Símbolos de combinación del diseño factorial*

Tratamientos	Factor A (Material)	Factor B (Canal)	Resultado
a1b1	-	-	+
a2b1	+	-	-
a1b2	-	+	-
a2b2	+	+	+

*Nota.* Elaboración propia, a partir del libro de Gutiérrez y De la Vara (2008).

Los símbolos + y – muestra cómo se representan los niveles altos y bajos de los factores en un experimento.

Variable independiente I (Factor I): Material de la tubería A

- a1: Tubería de cobre
- a2: Tubería de acero INOXIDABLE

Variable independiente II (Factor II): Canales de espejo B

- b1: Canal 1 de espejo de dos ángulos
- b2: Canal 2 de espejo de tres ángulos

Variable dependiente: Eficiencia del colector solar

## B. Operativización del diseño factorial

**Tabla 7**

*Diseño factorial de 2<sup>2</sup>*

A	B	Tratamientos	Replicas				
			I	II	III	IV	V
a1	b1	a1b1	a1b1	a1b1	a1b1	a1b1	a1b1
a2	b1	a2b1	a2b1	a2b1	a2b1	a2b1	a2b1
a1	b2	a1b2	a1b2	a1b2	a1b2	a1b2	a1b2
a2	b2	a2b2	a2b2	a2b2	a2b2	a2b2	a2b2

*Nota.* Elaboración propia

En el diseño factorial 2<sup>2</sup>, se tienen dos factores: el material de la tubería (Factor A) y los canales de espejo (Factor B), cada uno con dos niveles. El Factor A, material de la tubería, tiene dos niveles: a1, tubería de cobre, y a2, tubería de acero inoxidable. El Factor B, canales de espejo, también tiene dos niveles: b1, canal de espejo de dos ángulos, y b2, canal de espejo de tres ángulos. La variable dependiente en este experimento es la eficiencia del colector solar.

El experimento se lleva a cabo mediante tratamientos combinados de los factores, es decir, a1b1, a2b1, a1b2, y a2b2, y cada tratamiento se replica cinco veces para garantizar la precisión y la reproducibilidad de los resultados. La combinación de estos factores permitió evaluar cómo las variaciones en el material de la tubería y el tipo de canal de espejo afectan la eficiencia del colector solar.

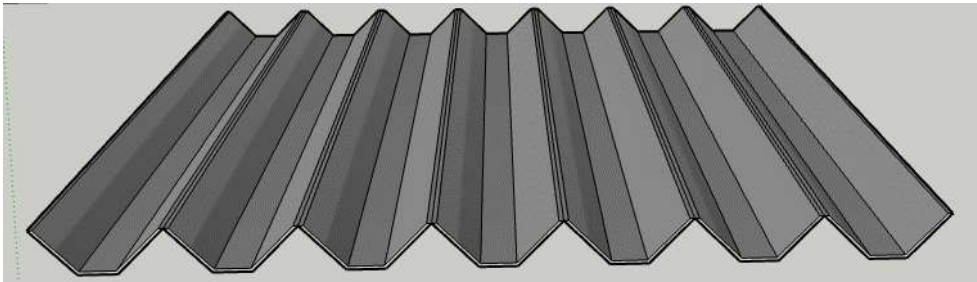
### 3.5. Población y muestra o unidad de investigación

El objeto de investigación es un colector solar plano con canal de espejos que es una propuesta del grupo de investigación en Energías Renovables de la Facultad de Ingeniería Mecánica de la UNCP. En este trabajo se pretende evaluar la configuración que más influye en el calentamiento del agua.

Los canales de espejo a evaluar se presentan en las figuras 16 y 17.

**Figura 10**

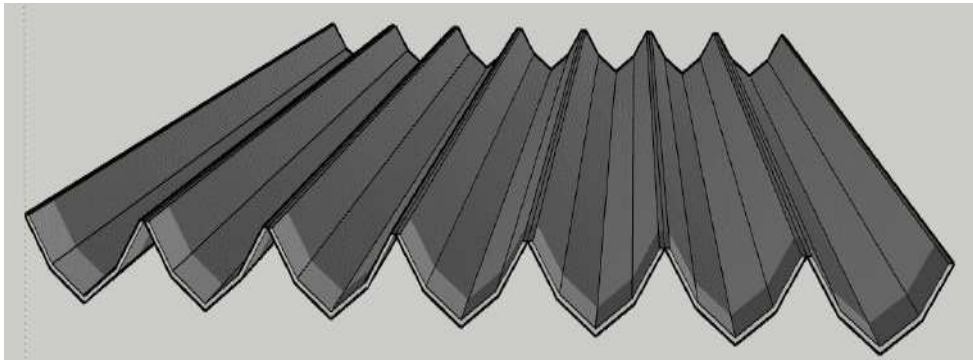
*Canal 1 de espejos de dos ángulos*



*Nota.* Elaboración propia

**Figura 11**

*Canal 2 de espejos con tres ángulos*



*Nota.* Elaboración propia

### 3.6. Materiales usados en la investigación

**Tabla 8**

*Materiales usados en la investigación*

Material	Medidas	Uso
Tabla Pino Radiata	1" x 10" x 10.5'	Estructura del colector solar
Tabla Pino Radiata	1" x 2" x 10.5'	Respaldar del colector solar
Espejo	e=3mm	Diseño de canales
Plancha de Tecnopor	1"	Soporte aislante del colector
Vidrio	e=3mm	Protector superficial del colector
Tubo de cobre tipo M	1/2"	Conductos de agua
Tubo de acero inoxidable grado 304	1/2"	Conductos de agua

*Nota.* Elaboración propia

**Tabla 9**

*Equipos usados en la investigación*

Equipos	Uso
Termómetro digital	Medida de temperatura del agua
Sierra de Mesa Einhell 1800 W	Corte de madera y otros

*Nota.* Elaboración propia

### **3.7. Diseño e instrumentos de recolección de datos**

La recolección de datos se realizará utilizando la técnica empírica, que consiste en la observación directa del objeto de estudio, y conocer su funcionamiento.

Los instrumentos a utilizar son: termómetros digital y fichas de observación.

### **3.8. Lugar de toma de datos**

La investigación se llevó a cabo en la Ciudad Universitaria de la Universidad Nacional del Centro del Perú, ubicada en el distrito de El Tambo, Huancayo. Este distrito se encuentra en la región central de Perú, en el valle del Mantaro, caracterizado por su elevación aproximada de 3,259 metros sobre el nivel del mar.

El Tambo se destaca por tener un clima templado subhúmedo, con una radiación solar significativa durante la mayor parte del año, lo que lo convierte en un sitio ideal para la investigación en tecnologías solares. Esta área geográfica es crucial para el estudio, ya que las condiciones climáticas, incluyendo la intensidad de la luz solar y las temperaturas diurnas, afectan directamente la eficiencia y el rendimiento de los colectores solares.

### **3.9. Procedimiento de la investigación**

#### **A. Construcción de los Colectores Solares**

Diseño y materiales: Los colectores se construyeron con materiales resistentes a la corrosión y al calor, como la madera y el vidrio templado, para optimizar la transferencia de calor y la durabilidad. Los canales de espejos fueron diseñados para maximizar la reflexión de la luz solar hacia los tubos absorbentes.

## **B. Calibración de Equipos**

Verificación del Termómetro: Antes de iniciar el experimento, se calibró el termómetro digital para asegurar la precisión de las mediciones de temperatura. Esta calibración se realizó utilizando un estándar de temperatura conocido para validar el rango de operación y precisión del dispositivo.

## **C. Alimentación de Agua**

Sistema de alimentación: Se instaló un sistema para alimentar agua al colector solar, asegurando un flujo constante y controlado. La estabilidad del flujo de agua es esencial para mantener condiciones experimentales consistentes y obtener datos fiables.

## **D. Preparación del Colector Solar**

Instalación: El colector solar plano con canales de espejos se instaló asegurando una inclinación óptima de  $12^\circ$  respecto a la horizontal, orientado hacia el sur para maximizar la captación de radiación solar directa. Esta orientación se basa en principios de diseño solar estándar que sugieren maximizar la exposición al sol del mediodía, que es cuando la radiación solar es más intensa (Kreider y Kreith, 2010).

## **E. Monitoreo y Registro de Datos**

Instrumentación: Se colocó un termómetro digital en la salida del colector solar para registrar la temperatura del agua calentada. El termómetro digital proporciona lecturas precisas y continuas, lo que es crucial para evaluar el rendimiento térmico del colector.

Registro de Datos: Las temperaturas se registraron a intervalos de una hora a lo largo del día de operación, desde las primeras horas de la mañana hasta el atardecer, para obtener un perfil completo de la capacidad de calentamiento del sistema a lo largo del día.

## **F. Documentación y Observación**

Fichas de observación: Se utilizaron fichas de observación para documentar meticulosamente todas las lecturas de temperatura y condiciones ambientales durante el experimento. Estas fichas permiten un análisis detallado y son esenciales para garantizar la trazabilidad y reproducibilidad del estudio.

## **G. Análisis Preliminar de Datos**

Revisión Diaria: Al final de cada día de experimentación, se realizó una revisión preliminar de los datos recogidos para verificar cualquier anomalía o error en las mediciones, asegurando que los datos recogidos sean de alta calidad y fiables.

## **H. Análisis y Cálculo de Resultados**

Métodos de Análisis: Se emplearon métodos estadísticos para analizar la relación entre la radiación solar y la temperatura del agua. Los datos se ingresaron en un software de análisis estadístico (SPSS V. 26 y Microsoft Excel) para calcular la eficiencia térmica y otros parámetros relevantes.

Calculo de Eficiencia: La eficiencia térmica del colector se calculó utilizando la fórmula:

$$\eta = \frac{Q_{\text{útil}}}{I \cdot A}$$

Este cálculo permitió determinar qué configuraciones del colector eran más efectivas bajo diferentes condiciones de radiación solar (Tiwari y Tiwari, 2016).

## **CAPÍTULO IV**

### **DESARROLLO DE LA INVESTIGACION**

#### **4.1. Ecuaciones**

En esta investigación se utilizará el método sistémico, porque se estudiará el colector solar como un todo y relacionando sus elementos para determinar la función negativa que es el problema a resolver. El objetivo del método sistémico es estudiar el objeto a través de sus elementos, relaciones y límites para observar su estructura y funcionamiento; el nivel tecnológico permite realizar experimentos manipulando variables que se desean optimizar (Espinoza, 2014).

##### **4.1.1. Eficiencia térmica ( $\eta$ )**

Se refiere a la capacidad de convertir la energía solar recibida en energía térmica útil. Se calcula como la relación porcentual entre la energía térmica ganada y la energía solar recibida.

$$\eta = Et / Es \dots\dots\dots(1)$$

Donde:

Et = Energía térmica útil o ganada

Es = Energía solar recibida

##### **4.1.2. Energía térmica útil o ganada (Et)**

Es la cantidad de energía que el sistema solar logra transferir al agua en forma de calor. Esta energía se mide en función de la variación de la temperatura del

agua en el tanque de almacenamiento y teniendo en cuenta la masa del agua y su calor específico.

$$E_t = m * C_p * (T_f - T_i) \dots\dots\dots(2)$$

Donde:

m = masa (g)

C<sub>p</sub> = calor específico del agua (J/g °C)

T<sub>f</sub> = Temperatura de salida del agua (°C)

T<sub>i</sub> = Temperatura de entrada del agua (°C)

#### **4.1.3. Energía solar recibida (E<sub>s</sub>)**

Representa la cantidad total de energía solar que incide en el área efectiva de captación del colector solar durante un período determinado.

$$E_s = I * A_e \dots\dots\dots (3)$$

Donde:

A<sub>e</sub> = área efectiva de captación (m<sup>2</sup>)

I = irradiancia solar promedio en la zona (KW/m<sup>2</sup>)

#### **4.1.4. Área efectiva de captación (m<sup>2</sup>)**

Es la superficie del colector solar que está expuesta a la radiación solar y que es capaz de absorberla para transformarla en energía térmica.

$$A_e = A_{int} * N \dots\dots\dots (4)$$

Donde:

A<sub>int</sub> = Área interna de la tubería (m<sup>2</sup>)

N = Número de tubos

#### 4.1.5. El área interior de la tubería

Se refiere al espacio interno a través del cual fluye el agua dentro de la tubería. Esta área es crucial para la eficiencia del calentador, ya que determina la capacidad de flujo de agua y la eficacia en la transferencia de calor.

$$A_{int} = \pi * r^2 \dots\dots\dots (5)$$

### 4.2. Resultados

#### 4.2.1. Cálculo del área interior de la tubería (m<sup>2</sup>)

$$A_{int} = \pi * r^2 \dots\dots\dots (5)$$

##### 4.2.1.1. Tubería de cobre (Cu)

El diámetro de la tubería de cobre es de ½ pulgada

$$\frac{1}{2}'' = 0.0127m$$

El radio de un círculo es el diámetro entre 2

$$r = (D/2) = (0.0127/2) = 0.00635 m$$

Reemplazando en la ecuación (5)

$$A_{int} = \pi (0.00635 m)^2$$

$$A_{int} = 0.00013 m^2$$

##### 4.2.1.2. Tubería de Acero inoxidable (Inox)

El diámetro de la tubería de Inox es de ½ pulgada

$$\frac{1}{2}'' = 0.0127 m$$

El radio de un círculo es el diámetro entre 2

$$r = (D/2) = (0.0127 /2) = 0.00635 m$$

Reemplazando en la ecuación

$$A_{int} = \pi (0.00635 \text{ m})^2$$

$$A_{int} = 0.00013 \text{ m}^2$$

**4.2.2. El área efectiva de captación sería el área interna total de la tubería (m<sup>2</sup>)**

$$A_e = A_{int} * N * L \dots\dots\dots (4)$$

Donde:

$A_e$  = Área efectiva de captación total (m<sup>2</sup>)

$N$  = número de tubos ;  $L$  = longitud de tubo

El número de tubos fue considerado de la parte que reciben directamente la radiación solar,  $N=9$ .

**4.2.2.1. Tubería de cobre (Cu):**

$$A_{int} = 0.00013 \text{ m}^2$$

$$N = 9 ; L = 1 \text{ m}$$

En la ecuación 4:

$$A_e = A_{int} * N$$

$$A_e = 0.00013 * 9 * 1$$

$$A_e = 0.00117 \text{ m}^2$$

**4.2.2.2. Tubería de Acero inoxidable (Inox):**

$$A_{int} = 0.00029 \text{ m}^2$$

$$N = 9 ; L = 1 \text{ m}$$

En la ecuación 2:

$$A_e = A_{int} * N * 1$$

$$Ae = 0.00013 * 9 * 1$$

$$Ae = 0.00117 \text{ m}^2$$

Estos cálculos se realizarían para ambos prototipos, con cobre y acero inoxidable, además de realizar las repeticiones con los datos tomados para los espejos usados.

#### 4.2.3. Cálculo de la energía solar recibida (Es)

$$Es = I * Ae \dots\dots\dots (3)$$

Donde:

Ae = área efectiva de captación (m<sup>2</sup>)

I = irradiancia solar promedio en la zona en el mes de junio (W/m<sup>2</sup>)

El valor de la absorptividad es extraído de la tabla 1, Ae fue calculado para cada material en los pasos anteriores y la irradiancia se presenta en la tabla de datos obtenido del SENAMHI.

#### 4.2.3.1. Cálculo de la energía solar recibida (Es) por la tubería de cobre (Cu)

$$Ae = 0.00117 \text{ m}^2$$

$$I = 4.67 \text{ kWh/m}^2 * (10^3 \text{ J/s}) / 1\text{kW} * (3,6 * 10^3 \text{ s}) / 1\text{h} = 16,812 * 10^6 \text{ J/m}^2$$

En la ecuación 3

$$Es = I * Ae$$

$$Es = 16,812 * 10^6 \text{ J/m}^2 * 0.00117 \text{ m}^2$$

$$Es = 77335,2 \text{ J}$$

**4.2.3.2. Cálculo del flujo de la energía solar recibida (Es) por la tubería de acero inoxidable (Inox)**

$$A_e = 0.00117 \text{ m}^2$$

$$I = 4.67 \text{ KW/m}^2 = 16,812 * 10^6 \text{ J/m}^2$$

En la ecuación 3

$$E_s = I * A_e$$

$$E_s = 16,812 * 10^6 \text{ J/m}^2 * 0.00117 \text{ m}^2$$

$$E_s = 77335,2 \text{ J}$$

**4.2.4. Cálculo Energía térmica útil o ganada (Et)**

**4.2.4.1. Cálculo Energía térmica útil o ganada por la tubería de cobre – canal 1**

$$E_t = m * C_p * (T_f - T_i) \dots\dots\dots(2)$$

Donde:

$$m = 22000 \text{ g}$$

$$C_p = 4.184 \text{ J/g}^\circ\text{C}$$

$$E_s = 77335,2 \text{ J}$$

**Tabla 10**

*Resultados de energía térmica útil y eficiencia de colector solar por la tubería de cobre – canal 1*

	Temperatura promedio (Cobre - canal 1)		Energía térmica útil o ganada (Et)		Eficiencia de colector solar	
	Ti (°C)	Tf (°C)	Et = m * Cp * (Tf - Ti)		η = Et / Es	
<b>Dia 1</b>	16.1	48.79	Et(1)	3008819.0 J	η(1)	38.9 %
<b>Dia 2</b>	13.7	42.45	Et(2)	2646380.0 J	η(2)	34.2 %
<b>Dia 3</b>	13.8	50.12	Et(3)	3343183.4 J	η(3)	43.2 %
<b>Dia 4</b>	16.7	52.57	Et(4)	3301761.8 J	η(4)	42.7 %
<b>Dia 5</b>	16.1	50.01	Et(5)	3121347.7 J	η(5)	40.4 %

Nota. Elaboración propia

**Interpretación:** La tabla 10 presenta la eficiencia y la energía térmica útil de un colector solar operando por tubería de cobre en el canal 1 durante cinco días. Se emplean datos como masa de agua (22000 g), calor específico (4.184 J/g°C) y energía solar recibida (77335,2 J). La eficiencia y energía térmica varían según la temperatura inicial (Ti) y final (Tf) diaria. En el Día 1, con una Ti de 16.1°C y Tf de 48.79°C, se logró una Et de 3008819.0 J y una eficiencia del 38.9%. El Día 2 mostró una menor Ti (13.7°C) y Tf (42.45°C), resultando en una Et de 2646380.0 J y una eficiencia del 34.2%. El Día 3, con Ti y Tf ligeramente mayores que el Día 2, alcanzó una Et más alta (3343183.4 J) y la mayor eficiencia de la serie (43.2%). En los Días 4 y 5, a pesar de tener temperaturas iniciales similares (16.7°C y 16.1°C), las diferencias en las temperaturas finales (52.57°C y 50.01°C) resultaron en variaciones en la energía térmica útil (Et) y eficiencia, siendo 3301761.8 J y 42.7% para el Día 4, y 3121347.7 J y 40.4% para el Día 5. Este patrón muestra la influencia directa de las variaciones de temperatura en el rendimiento del colector solar.

#### 4.2.4.2. Cálculo Energía térmica útil o ganada por la tubería de cobre – canal 2

$$Et = m * Cp * (Tf - Ti) \dots\dots\dots(2)$$

Donde:

$$m = 22000 \text{ g}$$

$$Cp = 4.184 \text{ J/g}^\circ\text{C}$$

$$Es = 77335,2 \text{ J}$$

**Tabla 11**

*Resultados de energía térmica útil y eficiencia de colector solar por la tubería de cobre – canal 2*

	Temperatura promedio (Cobre - canal 2)		Energía térmica útil o ganada (Et)	Eficiencia de colector solar
	Ti (°C)	Tf (°C)		
<b>Día 1</b>	16.7	49.65	Et(1)	$\eta(1)$
			3033211.7 J	39.2 %

<b>Día 2</b>	13.8	43.44	Et(2)	2728302.7 J	$\eta(2)$	35.3 %
<b>Día 3</b>	14.7	50.85	Et(3)	3327535.2 J	$\eta(3)$	43.0 %
<b>Día 4</b>	17.1	53.79	Et(4)	3377241.1 J	$\eta(4)$	43.7 %
<b>Día 5</b>	16.2	50.53	Et(5)	3160007.8 J	$\eta(5)$	40.9 %

Nota. Elaboración propia

**Interpretación:** La tabla 11 detalla la eficiencia y la energía térmica útil de un colector solar con tubería de cobre en el canal 2 durante cinco días. Utilizando los mismos parámetros (masa de agua de 22000 g, calor específico de 4.184 J/g°C y energía solar recibida de 77335,2 J), se observan variaciones en la eficiencia y energía térmica en función de las temperaturas iniciales (Ti) y finales (Tf) diarias. En el Día 1, con una Ti de 16.7°C y Tf de 49.65°C, se alcanzó una energía térmica útil (Et) de 3033211.7 J y una eficiencia del 39.2%. El Día 2, con una Ti más baja (13.8°C) y una Tf de 43.44°C, resultó en una Et de 2728302.7 J y una eficiencia del 35.3%. El Día 3 experimentó un incremento en ambas temperaturas (14.7°C a 50.85°C), obteniendo una Et de 3327535.2 J y una eficiencia del 43.0%. En los Días 4 y 5, con temperaturas iniciales más altas (17.1°C y 16.2°C) y finales aún mayores (53.79°C y 50.53°C), el colector solar alcanzó Ets de 3377241.1 J y 3160007.8 J, con eficiencias del 43.7% y 40.9%, respectivamente. Este patrón subraya la sensibilidad del canal 2 a las variaciones diarias de temperatura, afectando directamente su eficiencia y producción de energía térmica.

#### 4.2.4.3. Cálculo Energía térmica útil o ganada por la tubería de acero inoxidable (Inox) – canal 1

$$Et = m * Cp * (Tf - Ti) \dots\dots\dots(2)$$

Donde:

$$m = 24000 \text{ g}$$

$$Cp = 4.184 \text{ J/g°C}$$

$$Es = 77335,2 \text{ J}$$

**Tabla 12**

*Resultados de energía térmica útil y eficiencia de colector solar por la tubería de acero inoxidable – canal 1*

	Temperatura promedio (INOX - canal 1)		Energía térmica útil o ganada (Et)		Eficiencia de colector solar	
	Ti (°C)	Tf (°C)	Et = m * Cp * (Tf - Ti)		η = Et / Es	
<b>Día 1</b>	12.8	41.19	Et(1)	2850308.2 J	η(1)	36.9 %
<b>Día 2</b>	13.1	37.72	Et(2)	2472241.9 J	η(2)	32.0 %
<b>Día 3</b>	14	42.93	Et(3)	2905034.9 J	η(3)	37.6 %
<b>Día 4</b>	15.9	41.94	Et(4)	2614832.6 J	η(4)	33.8 %
<b>Día 5</b>	13.8	42.15	Et(5)	2846793.6 J	η(5)	36.8 %

Nota. Elaboración propia

**Interpretación:** La tabla 12 presenta la eficiencia y la energía térmica útil de un colector solar con tubería de acero inoxidable en el canal 1 durante cinco días, utilizando una masa de agua circulante de 24000 g, un calor específico de 4.184 J/g°C, y una energía solar incidente de 114321,6 J. En el Día 1, con temperaturas inicial de 12.8°C y temperatura final de 41.19°C, se generó una energía térmica útil (Et) de 2850308.2 J y se alcanzó una eficiencia del 36.9%. El Día 2 mostró un ligero aumento en la temperatura inicial (13.1°C) pero una menor temperatura final (37.72°C), resultando en una Et más baja de 2472241.9 J y una eficiencia del 32.0%. El Día 3, con una temperatura inicial de 14°C y una final de 42.93°C, se obtuvo una Et de 2905034.9 J y una eficiencia del 37.6%. El Día 4, con una temperatura inicial más alta de 15.9°C y una final de 41.94°C, se logró una Et de 2614832.6 J y una eficiencia del 33.8%. Finalmente, el Día 5, con una temperatura inicial de 13.8°C y una final de 42.15°C, se alcanzó una Et de 2846793.6 J y una eficiencia del 36.8%. Este análisis revela que, aunque las temperaturas iniciales y finales variaron cada día, la eficiencia del colector solar y la energía térmica útil generada se mantuvieron en un rango similar a lo largo de los cinco días.

#### **4.2.4.4. Cálculo Energía térmica útil o ganada por la tubería de acero inoxidable (Inox) – canal 2**

$$Et = m * Cp * (Tf - Ti) \dots\dots\dots(2)$$

Donde:

$$m = 24000 \text{ g}$$

$$C_p = 4.184 \text{ J/g}^\circ\text{C}$$

$$E_s = 77335,2 \text{ J}$$

**Tabla 13**

*Resultados de energía térmica útil y eficiencia de colector solar por la tubería de acero inoxidable – canal 2*

	Temperatura promedio (INOX - canal 2)		Energía térmica útil o ganada (Et)	Eficiencia de colector solar
	Ti (°C)	Tf (°C)		
			$Et = m * C_p * (T_f - T_i)$	$\eta = Et / E_s$
<b>Día 1</b>	14	43.71	Et(1) 2734516.0 J	$\eta(1)$ 35.4 %
<b>Día 2</b>	14.1	40.63	Et(2) 2442033.4 J	$\eta(2)$ 31.6 %
<b>Día 3</b>	14.8	45.6	Et(3) 2835078.4 J	$\eta(3)$ 36.7 %
<b>Día 4</b>	17	44.29	Et(4) 2511989.9 J	$\eta(4)$ 32.5 %
<b>Día 5</b>	15.1	44.31	Et(5) 2688722.1 J	$\eta(5)$ 34.8 %

*Nota.* Elaboración propia

**Interpretación:** La tabla 13 presenta la eficiencia y la energía térmica útil de un colector solar con tubería de acero inoxidable en el canal 1 durante cinco días, utilizando una masa de agua circulante de 24000 g, un calor específico de 4.184 J/g°C, y una energía solar incidente de 114321,6 J. En el Día 1, con temperatura inicial de 14°C y temperatura final de 43.71°C, se produjo una energía térmica útil (Et) de 2734516.0 J y se alcanzó una eficiencia del 35.4%. El Día 2 experimentó un ligero incremento en la temperatura inicial (14.1°C) y una disminución en la final (40.63°C), resultando en una Et más baja de 2442033.4 J y una eficiencia del 31.6%. En el Día 3, con una temperatura inicial de 14.8°C y una final de 45.6°C, se logró una Et de 2835078.4 J y una eficiencia del 36.7%. El Día 4 presentó una temperatura inicial más alta (17°C) pero una final similar (44.29°C), alcanzando una Et de 2511989.9 J y una eficiencia del 32.5%. Finalmente, el Día 5, con una temperatura inicial de 15.1°C y una final de 44.31°C, se obtuvo una Et de 2688722.1 J y una eficiencia del 34.8%. Este conjunto de datos indica que el canal 2 del colector solar con tubería de acero inoxidable también muestra una consistencia en su rendimiento. Aunque las temperaturas iniciales y finales varían cada día, la eficiencia y la energía térmica útil se mantienen en un rango relativamente estable, reflejando una sensibilidad moderada a las variaciones diarias de temperatura.

#### 4.2.5. Promedio de eficiencia del colector solar

$$\text{Promedio de } \eta = \frac{\eta_{\text{dia 1}} + \eta_{\text{dia 2}} + \eta_{\text{dia 3}} + \eta_{\text{dia 4}} + \eta_{\text{dia 5}}}{5}$$

Donde:

$\eta$  = eficiencia del colector solar

**Tabla 14**

*Resultados del promedio de eficiencia para cada colector solar y canal de espejos*

<b>Colector solar</b>	<b>Canal de espejos</b>	<b>Eficiencia</b>
Cobre	Canal 1	39.9%
	Canal 2	40.4%
INOX	Canal 1	35%
	Canal 2	34%

*Nota.* Elaboración propia

**Interpretación:** La tabla 14 proporciona un análisis comparativo de la eficiencia promedio de diferentes configuraciones de colectores solares y canales de espejos. Para el colector solar de cobre, se observa una eficiencia promedio de 39.9% en el Canal 1 y de 40.4% en el Canal 2, indicando un rendimiento ligeramente mejor en el segundo canal. Por otro lado, el colector solar de acero inoxidable (INOX) muestra una eficiencia promedio significativamente menor, con 35% para el Canal 1 y 34% para el Canal 2. Estas cifras sugieren que tanto el material del colector como la configuración del canal tienen un impacto significativo en el rendimiento del sistema solar. Entre las cuatro configuraciones analizadas, el colector solar de cobre en el Canal 2 destaca como el más eficiente, con un promedio de eficiencia del 40.4%.

## CAPÍTULO V

### RESULTADOS DE LA INVESTIGACIÓN

#### 5.1. Análisis estadístico

El tipo de investigación que se desarrollará es la investigación tecnológica, porque se aplicará conocimientos sobre concentración solar para producir aire caliente, almacenamiento de calor en material de cambio de fase.

**Tabla 15**

*Análisis ANOVA de dos factores (Material de la tubería y canales de vidrios)*

<b>Pruebas de efectos inter-sujetos</b>					
<b>Variable dependiente: Eficiencia</b>					
Origen	Tipo III de suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Modelo corregido	877,730	3	292,577	37,138	,000
Intersección	23957,042	1	23957,042	3041,006	,000
a	613,832	1	613,832	77,917	,000
b	145,800	1	145,800	18,507	,001
a * b	118,098	1	118,098	14,991	,001
Error	125,837	16	7,865		
<b>Total</b>	<b>24949,833</b>	<b>20</b>			
<b>Total, corregido</b>	<b>1002,481</b>	<b>19</b>			

*Nota.* Elaboración propia en el software SPSS

#### **Hipótesis general**

H0: El material de los colectores solares y los canales de espejos, no influyen significativamente la eficiencia energética de los colectores solares.

H1: El material de los colectores solares y los canales de espejos, influyen significativamente en la eficiencia energética de los colectores solares.

Regla decisión:

Si:  $p \leq 0.05$ , entonces se acepta H1 y se rechaza H0

Si:  $p > 0.05$ , entonces se acepta H0 y se rechaza H1

**Interpretación:** De acuerdo con lo presentado en la tabla 11 la interacción del material de la tubería del colector solar (Factor 1) y los canales de espejos (Factor 2) revela influencia significativa de ambos factores sobre la Eficiencia. El valor de la significancia es 0.001 y es menor a 0.005 lo que indica que se rechaza la hipótesis nula (H0) y se acepta la hipótesis alterna (H1), demostrando que el material de los colectores solares y los canales de espejos, si influyen significativamente en la eficiencia energética de los colectores solares. Por lo tanto, para optimizar la eficiencia, debemos considerar cuidadosamente la combinación de ambos factores, en lugar de tratar cada factor de forma aislada.

### 5.1.1. Cálculo paso a paso de los valores para ANOVA

#### Paso 1: Cálculo de la Suma de Cuadrados (Sum of Squares)

1. Suma de Cuadrados Total (SST)

$$SST = \sum_{i=1}^N (Y_i - \bar{Y})^2$$

$$\bar{Y} = \frac{\sum_{i=1}^N Y_i}{N}$$

$$\bar{Y} = \frac{803.6}{20} = 40.18$$

$$SST = \sum_{i=1}^{20} (Y_i - 40.18)^2 = 1003.778$$

## 2. Suma de Cuadrados del Factor A (SSA)

$$SSA = \sum_{i=1}^a n_i (\overline{Y_{A_i}} - \bar{Y})^2$$

$$\overline{Y_{\text{Cobre}}} = 37.68$$

$$\overline{Y_{\text{Aluminio}}} = 42.68$$

$$SSA = 10 \times (37.68 - 40.18)^2 + 10 \times (42.68 - 40.18)^2 = 613.832$$

## 3. Suma de Cuadrados del Factor B (SSB)

$$SSB = \sum_{j=1}^b n_j (\overline{Y_{B_j}} - \bar{Y})^2$$

$$\overline{Y_{\text{Canal 1}}} = 37.52$$

$$\overline{Y_{\text{Canal 2}}} = 42.84$$

$$SSB = 10 \times (37.52 - 40.18)^2 + 10 \times (42.84 - 40.18)^2 = 145.800$$

## 4. Suma de Cuadrados de la Interacción (SSAB)

$$SSAB = \sum_{i=1}^a \sum_{j=1}^b n_{ij} (\overline{Y_{A_i B_j}} - \overline{Y_{A_i}} - \overline{Y_{B_j}} + \bar{Y})^2$$

$$\overline{Y_{\text{Cobre, Canal 1}}} = 38.9$$

$$\overline{Y_{\text{Cobre, Canal 2}}} = 36.46$$

$$\overline{Y_{\text{Aluminio, Canal 1}}} = 37.6$$

$$\overline{Y_{\text{Aluminio, Canal 2}}} = 47.76$$

$$\begin{aligned} SSAB &= 5 \times (38.9 - 37.68 - 37.52 + 40.18)^2 \\ &+ 5 \times (36.46 - 37.68 - 42.84 + 40.18)^2 \\ &+ 5 \times (37.6 - 42.68 - 37.52 + 40.18)^2 \\ &+ 5 \times (47.76 - 42.68 - 42.84 + 40.18)^2 = 118.098 \end{aligned}$$

## 5. Suma de Cuadrados del Error (SSE)

$$SSE = \sum_{i=1}^a \sum_{j=1}^b \sum_{k=1}^{n_{ij}} (Y_{ijk} - \overline{Y_{A_i B_j}})^2$$
$$SSE = \sum_{i=1}^{20} (Y_i - \overline{Y_{A_i B_j}})^2 = 126.048$$

### Paso 2: Cálculo de los Grados de Libertad

#### 1. Grados de Libertad del Factor A

$$dfA = a - 1$$

#### 2. Grados de Libertad del Factor B

$$dfB = b - 1$$

#### 3. Grados de Libertad de la Interacción

$$dfAB = (a - 1)(b - 1)$$

#### 4. Grados de Libertad del Error

$$dfE = N - ab$$

Donde:

- a es el número de niveles del Factor A.
- b es el número de niveles del Factor B.
- N es el número total de observaciones.

### Aplicación a los Datos

Para tu conjunto de datos específico:

- a=2 (Cobre, Aluminio)

- $b=2$  (Canal 1, Canal 2)
- $N=20$

Entonces:

$$dfA = 2 - 1 = 1$$

$$dfB = 2 - 1 = 1$$

$$dfAB = (2 - 1)(2 - 1) = 1$$

$$dfE = 20 - (2 \times 2) = 16$$

### Paso 3: Cálculo de los Cuadrados Medios

1. Cuadrado Medio del Factor A (MSA)

$$MSA = \frac{SSA}{dfA}$$

$$MSA = \frac{613.832}{1} = 613.832$$

2. Cuadrado Medio del Factor B (MSB)

$$MSB = \frac{SSB}{dfB}$$

$$MSB = \frac{145.800}{1} = 145.800$$

3. Cuadrado Medio de la Interacción (MSAB)

$$MSAB = \frac{SSAB}{dfAB}$$

$$MSAB = \frac{118.098}{1} = 118.098$$

4. Cuadrado Medio del Error (MSE)

$$MSE = \frac{SSE}{dfE}$$

$$MSE = \frac{126.048}{16} = 7.878$$

#### **Paso 4: Cálculo de los Valores F**

1. Valor F para el Factor A

$$F_A = \frac{MSA}{MSE}$$

$$F_A = \frac{613.832}{7.878} = 77.917$$

2. Valor F para el Factor B

$$F_B = \frac{MSB}{MSE}$$

$$F_B = \frac{145.800}{7.878} = 18.507$$

3. Valor F para la Interacción

$$F_{AB} = \frac{MSAB}{MSE}$$

$$F_{AB} = \frac{118.098}{7.878} = 14.991$$

#### **Paso 5: Comparación con el Valor Crítico de F**

Para comparar los valores  $F$  calculados con los valores críticos de la distribución  $F$ , se necesita conocer el valor crítico  $F_{crit}$  para los grados de libertad correspondientes y el nivel de significancia  $\alpha = 0.05$ .

A continuación, se muestran los valores críticos para cada:

$$F_{crit, A}(1,16) = 4.494$$

$$F_{crit, B}(1, 16) = 4.494$$

$$F_{crit, AB}(1, 16) = 4.494$$

### Fórmulas para Comparación

Si  $F_{calc} > F_{crit}$ , rechazamos la hipótesis nula.

#### 1. Comparación del Factor A

$$F_A = 77.917$$

$$F_{crit, A}(\alpha, dfA, dfE)$$

*Si*  $(F_A > F_{crit, A})$ , rechazamos  $(H_{0A})$ .

#### 2. Comparación del Factor B

$$F_B = 18.507$$

$$F_{crit, B}(\alpha, dfB, dfE)$$

*Si*  $(F_B > F_{crit, B})$ , rechazamos  $(H_{0B})$ .

#### 3. Comparación de la Interacción

$$F_{AB} = 14.991$$

$$F_{crit, AB}(\alpha, dfAB, dfE)$$

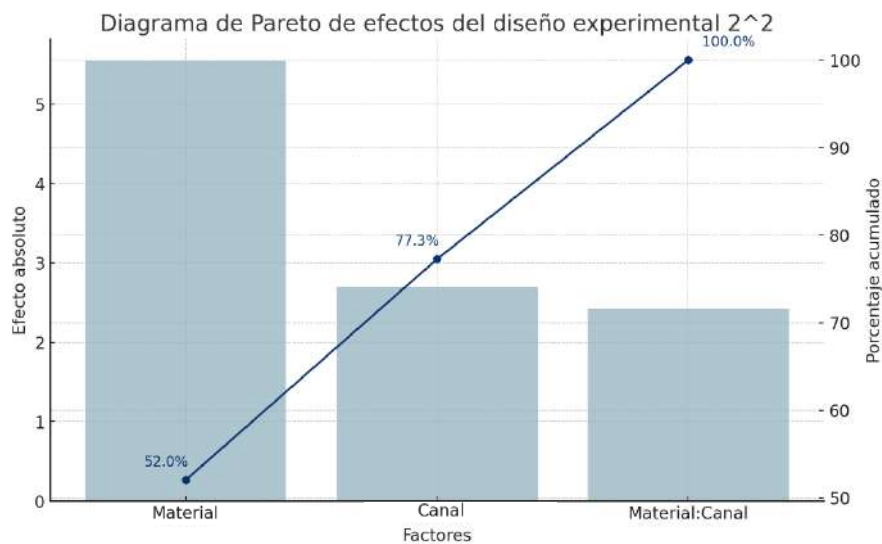
*Si*  $(F_{AB} > F_{crit, AB})$ , rechazamos  $(H_{0AB})$ .

## 5.2. Interpretación de Resultados

### 5.2.1. Diagrama de Efectos de Pareto

Figura 12

Diagrama de efectos de Pareto



Nota. Elaboración propia

**Interpretación:** El diagrama de Pareto muestra los efectos absolutos de los factores "Material" y "Canal", así como su interacción, sobre la eficiencia de un proceso. El factor "Material" tiene el mayor impacto, con un efecto absoluto de 5.544, representando el 52.03% del total. Le sigue el factor "Canal" con un efecto de 2.688, que contribuye con el 77.26% acumulado. La interacción entre "Material" y "Canal" tiene un efecto de 2.423, alcanzando el 100% del impacto total. Esto indica que el tipo de material utilizado es el factor más influyente en la eficiencia, seguido por el canal y la interacción entre ambos. Esta información es crucial para tomar decisiones informadas sobre la optimización del proceso.

## 5.2.2. Análisis de Residuos

**Tabla 16**

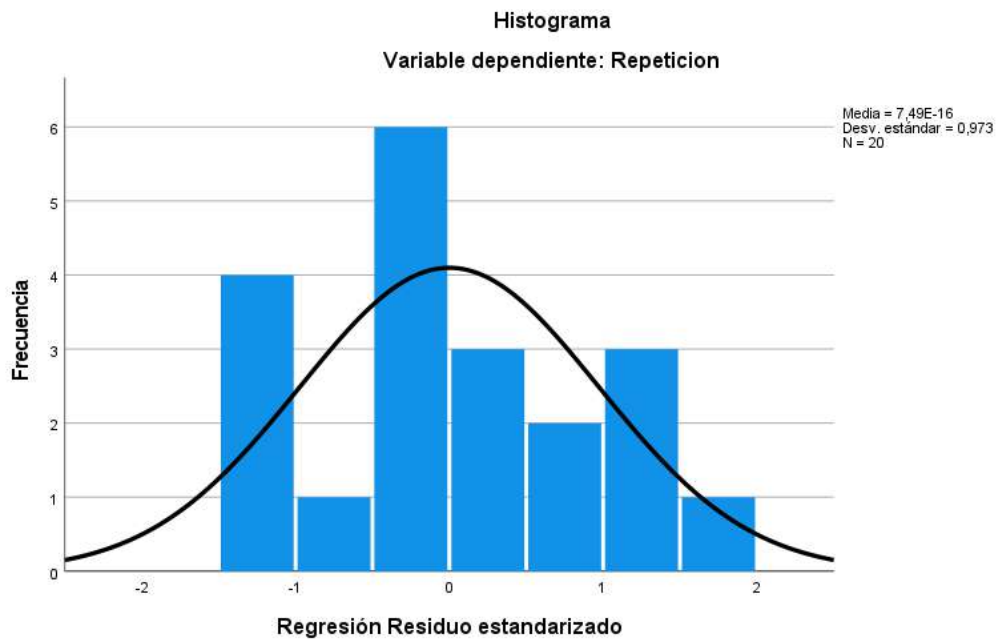
*Tabla de Residuos*

<b>Material</b>	<b>Canal</b>	<b>Repetición</b>	<b>Eficiencia</b>	<b>Residuos</b>
Cobre	Canal 1	1	38,9	-2,12
Cobre	Canal 1	2	34,2	-0,72
Cobre	Canal 1	3	43,2	-0,49
Cobre	Canal 1	4	42,7	0,55
Cobre	Canal 1	5	40,4	1,75
INOX	Canal 1	1	36,9	-1,95
INOX	Canal 1	2	32,0	-0,53
INOX	Canal 1	3	37,6	-0,01
INOX	Canal 1	4	33,8	1,30
INOX	Canal 1	5	36,8	2,05
Cobre	Canal 2	1	39,2	-2,14
Cobre	Canal 2	2	35,3	-0,81
Cobre	Canal 2	3	43	-0,47
Cobre	Canal 2	4	43,7	0,47
Cobre	Canal 2	5	40,9	1,71
INOX	Canal 2	1	35,4	-1,81
INOX	Canal 2	2	31,6	-0,49
INOX	Canal 2	3	36,7	0,06
INOX	Canal 2	4	32,5	1,42
INOX	Canal 2	5	34,8	2,23

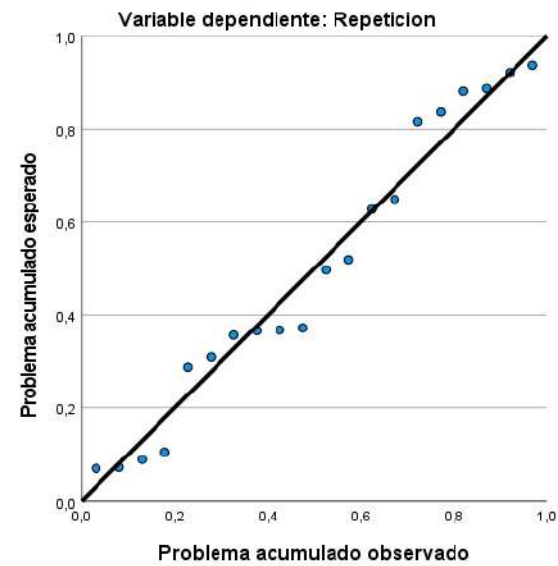
Por lo tanto, cerca de 68% de los residuales estandarizados deberán estar incluidos dentro de los límites  $\pm 1$ , cerca de 95% de ellos deberán estar incluidos dentro de  $\pm 2$  y virtualmente todos ellos deberán estar incluidos dentro de  $\pm 3$ . En el análisis realizado, ninguno de los residuos excede este umbral, indicando que no hay puntos atípicos en los datos. Esto apoya la validez de los resultados del ANOVA.

**Figura 13**

*Análisis de Residuos*



**Gráfico P-P normal de regresión Residuo estandarizado**



Nota. Elaboración propia

- Observación: La distribución de los residuos parece estar centrada alrededor de cero y tiene una forma aproximadamente simétrica.

- Interpretación: Esto sugiere que los residuos siguen una distribución normal, lo cual es una de las suposiciones clave para la validez del ANOVA.

## 2. Gráfico Q-Q de los Residuos:

- Observación: La mayoría de los puntos se alinean cerca de la línea diagonal, aunque hay algunos puntos que se desvían ligeramente en los extremos.
- Interpretación: La alineación cercana a la línea diagonal indica que los residuos se aproximan a una distribución normal. Las pequeñas desviaciones en los extremos no son lo suficientemente significativas como para invalidar la suposición de normalidad.

Estas observaciones apoyan la validez del modelo ajustado y, por ende, los resultados del ANOVA son confiables. No se identificaron puntos atípicos significativos que puedan influir negativamente en las conclusiones del análisis.

A continuación, se verifica el supuesto de normalidad de los residuos planteando las siguientes hipótesis:

H0: Los datos de los residuos se distribuyen de manera normal

H1: Los datos de los residuos no se distribuyen de manera normal

### 5.2.3. Prueba de Normalidad

**Tabla 17**

*Prueba de Normalidad*

	Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.
Residuos	,973	20	,126

La prueba de normalidad de Shapiro-Wilk para los residuos arrojó un estadístico de 0.973 con 20 grados de libertad y una significancia de 0.126. Dado que el valor p es mayor que 0.05, no se rechaza la hipótesis nula de normalidad de los residuos. Esto sugiere que no hay evidencia suficiente para afirmar que los

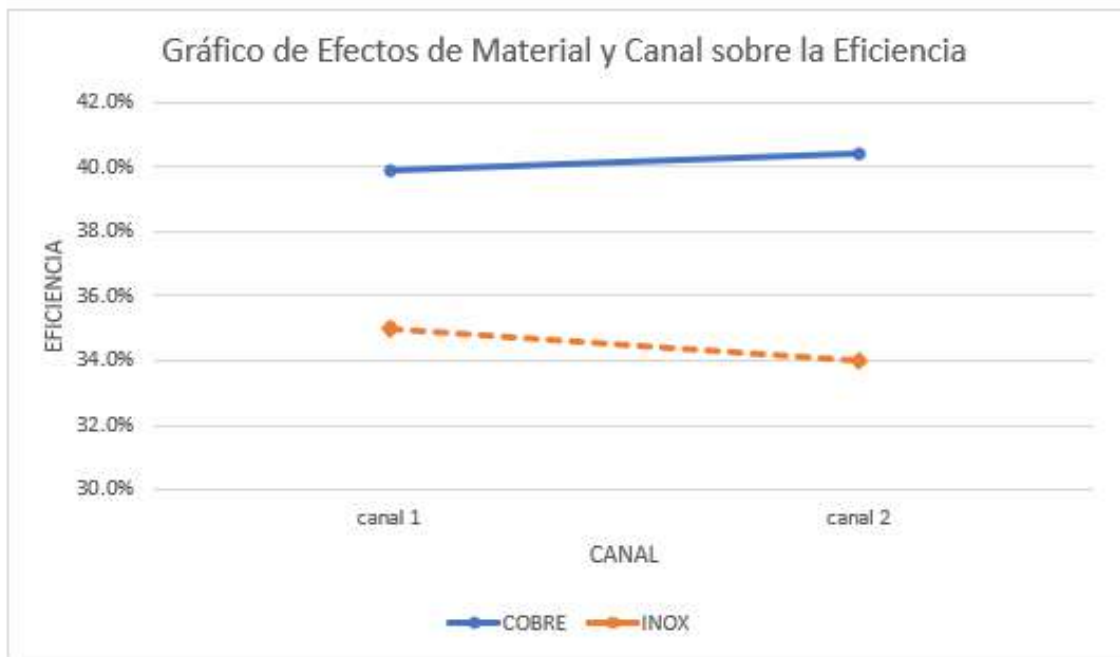
residuos no siguen una distribución normal, apoyando así la validez de las suposiciones necesarias para el ANOVA.

#### 5.2.4. Efectos sobre la eficiencia

Se muestran los efectos en el siguiente gráfico de efectos:

**Figura 14**

*Efectos principales para la eficiencia*



*Nota.* Elaboración propia

**Interpretación:** La gráfica de efectos principales muestra cómo los factores "Material" y "Canal" afectan la eficiencia. En el gráfico de la izquierda, se observa que el material Cobre tiene una mayor eficiencia media en comparación con el material INOX. Esto indica que, en promedio, el uso de Cobre mejora la eficiencia. En el gráfico de la derecha, se nota que el Canal 2 produce una mayor eficiencia media que el Canal 1, sugiriendo que el diseño del Canal 2 es más efectivo. La interacción entre ambos factores se puede inferir observando las pendientes de las líneas: la eficiencia del material INOX aumenta considerablemente de Canal 1 a Canal 2, mientras que la eficiencia del material

Cobre se mantiene relativamente constante. Esto indica que el impacto del canal es más significativo para el material INOX que para el Cobre.

### **5.3. Contrastación de Hipótesis**

#### **Hipótesis específica 1**

H0: El material de la tubería no influye significativamente en la eficiencia energética de los colectores solares.

H1: El material de la tubería influye significativamente en la eficiencia energética de los colectores solares.

Regla decisión:

Si:  $p \leq 0.05$ , entonces se acepta H1 y se rechaza H0

Si:  $p > 0.05$ , entonces se acepta H0 y se rechaza H1

**Interpretación:** De acuerdo con lo presentado en la tabla 11, el material de la tubería del colector solar (Factor 1) tiene efecto sobre la Eficiencia. El valor de la significancia es 0.001 y es menor a 0.005 lo que indica que se rechaza la hipótesis nula (H0) y se acepta la hipótesis alterna (H1), demostrando que el material de los colectores solares si influyen significativamente en la eficiencia energética de los colectores solares. Considerando que los materiales fueron el cobre y el acero inoxidable en ambos casos afectaron a la eficiencia de cada colector solar.

#### **Hipótesis específica 2**

H0: Los canales de espejos no influyen significativamente en la eficiencia energética de los colectores solares.

H1: Los canales de espejos influyen significativamente en la eficiencia energética de los colectores solares.

Regla decisión:

Si:  $p \leq 0.05$ , entonces se acepta H1 y se rechaza H0

Si:  $p > 0.05$ , entonces se acepta  $H_0$  y se rechaza  $H_1$

**Interpretación:** De acuerdo con lo presentado en la tabla 11, los canales de espejos (Factor 2) tienen efecto sobre la Eficiencia de los colectores solares. El valor de la significancia es 0.000 y es menor a 0.005 lo que indica que se rechaza la hipótesis nula ( $H_0$ ) y se acepta la hipótesis alterna ( $H_1$ ), demostrando que los canales de espejos si influyen significativamente en la eficiencia energética de los colectores solares. Considerando que los canales de espejos fueron de un vértice y de tres vértices inoxidable en ambos casos afectaron a la eficiencia de cada colector solar.

#### **5.4. Discusiones**

Con respecto al objetivo general, se determinó la influencia del material de la tubería y los canales de vidrio en la eficiencia energética del colector solar. Con un valor de significancia de 0.001, menor a 0.005, se rechaza la hipótesis nula ( $H_0$ ) y se acepta la hipótesis alterna ( $H_1$ ), el material de los colectores solares y los canales de espejos, si influyen significativamente la eficiencia energética de los colectores solares. Los datos revelan que el colector solar de cobre tiene un rendimiento ligeramente superior, con eficiencias promedio del 39.9% y 40.4% en los Canales 1 y 2, respectivamente. En contraste, el colector solar de acero inoxidable muestra eficiencias promedio significativamente menores, con un 35% en el Canal 1 y un 34% en el Canal 2.

Al comparar con los resultados de García (2010) que se dedicó al diseño de un colector solar en forma de V destinado a comunidades rurales, con el objetivo de abordar la contaminación del aire generada por combustibles fósiles y, al mismo tiempo, contribuir a mejorar la eficiencia energética. En sus hallazgos, los canales de espejos son la elección más adecuada. Esto se debe a su capacidad para mantener elevadas temperaturas y a su facilidad de manejo en comparación con el papel aluminio.

Además, concuerda con los resultados de Campos (2018) quien implementó con éxito un sistema solar térmico experimental en una clínica de fisioterapia, satisfaciendo la demanda de agua caliente necesaria para terapias. La instalación incluyó colectores solares con tuberías de PVC de  $\frac{1}{2}$  pulgada para el

transporte de agua desde la red hasta el tanque, complementado con un filtro de sedimentos. Para el traslado de agua caliente, se emplearon tuberías CPVC de ½ pulgada, incorporando aislante para minimizar las pérdidas de temperatura. Este enfoque integral garantiza un suministro eficiente de agua caliente, contribuyendo al éxito del sistema. Además, comparando nuestros resultados con los de Gonzales y Calad (2021), ellos evalúan la eficiencia de colectores solares en un hotel, destacando la importancia de un interacumulador vitrificado de gran capacidad con un intercambiador en forma de serpentín, que cuenta con dimensiones notables: una altura de 2280 mm y un diámetro de 1360 mm. Este interacumulador se distingue por su aislamiento de 50 mm de espesor con poliuretano de alta densidad, libre de CFC, y su protección contra corrosión mediante un ánodo de magnesio. Además, se resalta el revestimiento externo con forro de PVC, subrayando la atención meticulosa a los materiales empleados en el sistema solar térmico del hotel.

En resumen, el material de los colectores solares y los canales de espejos ejercen una influencia significativa en la eficiencia energética de los colectores solares. Al analizar específicamente el desempeño de colectores de cobre y acero inoxidable, se observa que el primero presenta una eficiencia promedio ligeramente superior. Esto se respalda en diversas investigaciones anteriores, que incluyen análisis del diseño de sistemas solares en contextos rurales, estudios sobre la implementación de sistemas solares térmicos en aplicaciones terapéuticas, y evaluaciones de la eficiencia de estos sistemas en el ámbito hotelero, destacando su factibilidad y ventajas económicas.

En relación con el primer objetivo específico, se determinó la influencia del material de las tuberías en la eficiencia de los colectores solares para el calentamiento de agua. Se empleó una prueba de hipótesis y con un valor de significancia de 0.001, que es inferior al umbral establecido de 0.005, se rechazó la hipótesis nula ( $H_0$ ) y se aceptó la hipótesis alternativa ( $H_1$ ), confirmando que el material de las tuberías tiene una influencia notable en la eficiencia energética de los colectores solares en esta región para el año 2023. De igual modo concuerda con los resultados de Hashim et al. (2018) quienes destacan la influencia significativa del material en la eficiencia de colectores solares. Debido a que sus hallazgos demuestran que el agua, con un caudal de 5.3 L/min, logra

una mayor temperatura en comparación con un caudal de 6.51 L/min, lo que resulta en una eficiencia y efectividad superiores del colector, evidenciado por temperaturas máximas de 51.4 °C y 49 °C a caudales de 5.3 L/min y 6.51 L/min.

También concuerda con los resultados de Otavalo & Olmedo (2018) el rendimiento del colector solar de cobre de placa plana con cubierta de vidrio destaca significativamente. Durante un período de 30 minutos, logró una temperatura promedio de 58.9°C, superando al colector solar termodinámico. En condiciones de radiación solar máxima en un día despejado, alcanzó un impresionante valor de 803.3 W/m<sup>2</sup>, mientras que en un día lluvioso mantuvo una temperatura considerable de 57.9°C. Ambos estudios respaldan la importancia del material en la eficiencia de los colectores solares, proporcionando valiosa información para el diseño y la implementación de sistemas de energía solar.

Además, la tesis de Fernández y Tuesta (2014) aporta una valiosa perspectiva al examinar el rendimiento de una terma solar equipada con un colector de cobre en Chachapoyas, Amazonas. Destaca la eficiencia y capacidad de este sistema en la generación de agua caliente, compuesto por un colector solar, un tanque de almacenamiento de agua y un sistema de tuberías encargado de transportar el agua fría o caliente a través de los elementos que integran la terma solar. En resumen, se encontró que el material tiene un impacto significativo en la eficiencia energética de los colectores solares, respaldando hallazgos similares en estudios previos. Estos resultados ofrecen información valiosa para el diseño e implementación de sistemas de energía solar.

Por último, con respecto al segundo objetivo específico se determinó la influencia de los canales de espejos en la eficiencia de los colectores solares para calentar agua. Se presento los resultados de la prueba de hipótesis y con un valor de significancia de 0.001, claramente inferior al umbral de 0.005, se confirmó la hipótesis alternativa (H1), estableciendo así la relevancia de los canales de espejos en la optimización energética de los colectores solares en esta región para el año 2023. Concuerda con los resultados de Capcha (2014) quien observa que los canales desempeñan un papel clave en diversos aspectos del sistema, incluyendo el flujo de calor radiante recibido por la placa absorbente, el flujo de

calor radiante efectiva, el flujo de calor transmitido al agua por las aletas y la temperatura de la superficie de contacto  $T_b$ .

Discrepando con los resultados de Travezaño (2002), quien, enfocado en una terma solar de 50 litros para uso doméstico, se evidencia que, en este caso particular, la eficiencia del calentador es consistentemente inferior a la del colector debido a diversas pérdidas lo que sugiere que los canales de espejos no tenían un impacto tan significativo en este contexto particular. La eficiencia promedio diaria de la Terma Solar se establece en 0.48, y se destaca un incremento de temperatura significativo de  $33^{\circ}\text{C}$ , registrado desde las 9:00 am hasta las 4:00 pm. En comparación con los hallazgos de García (2010), se observa una similitud con nuestro estudio. García, en su diseño de un colector solar en forma de V orientado a comunidades rurales, también concluyó que los canales de espejos representan la opción más adecuada. Esta coincidencia refuerza la idea de que los canales de espejos son una elección eficiente en diferentes contextos y diseños de colectores solares.

En resumen, se determinó que los canales de espejos mejoran significativamente la eficiencia de los colectores solares para calentar agua. Aunque hubo diferencias con ciertos estudios previos, los resultados en general coinciden con investigaciones anteriores que destacan la eficacia de los canales de espejos en diversos entornos de colectores solares.

## CONCLUSIONES

1. Se determinó que el material de las tuberías y los canales de espejos influyen significativamente en la eficiencia energética de los colectores solares, con un valor de significancia de 0.001. El valor de  $F$  calculado para el material de los colectores ( $F_A = 77.917$ ) y para los canales de espejos ( $F_B = 18.507$ ) es considerablemente mayor que el valor crítico ( $F_{crit} = 4.494$ ), lo que confirma la influencia significativa de ambos factores. Los colectores de cobre mostraron mayor eficiencia, con un promedio de 39.9% y 40.4% en los Canales 1 y 2 respectivamente, mientras que los de acero inoxidable registraron una eficiencia menor, con 35% y 34% en los mismos canales.
2. Se determinó que el material de las tuberías influye significativamente en la eficiencia energética de los colectores solares, con un valor de significancia de 0.001. El valor de  $F$  obtenido ( $F_A = 77.917$ ) es sustancialmente mayor que el valor crítico ( $F_{crit} = 4.494$ ), lo que subraya la importancia de seleccionar cuidadosamente el material para optimizar el rendimiento energético.
3. Se determinó que los canales de espejos influyen significativamente en la eficiencia de los colectores solares para calentar agua, con un valor de significancia de 0.001. El valor de  $F$  calculado ( $F_B = 18.507$ ) es considerablemente mayor que el valor crítico ( $F_{crit} = 4.494$ ), lo que resalta la importancia de diseñar y optimizar cuidadosamente los canales de espejos para maximizar la eficiencia de los colectores solares.

## RECOMENDACIONES

1. Considerar el uso de colectores solares de cobre en proyectos futuros de calentamiento de agua en la región, debido a que este material exhibe un mejor rendimiento térmico que otros analizados ya que el cobre es una opción viable y conveniente para optimizar la generación de agua caliente mediante sistemas solares térmicos.
2. Se recomienda poner especial énfasis en la selección adecuada del material de fabricación de los colectores solares, ya que este factor emerge como determinante en la eficiencia energética de este tipo de sistemas. se alienta la continua investigación sobre nuevos materiales y aleaciones que pudiesen superar los estándares actuales. Esto permitiría llevar las ventajas de la tecnología solar al siguiente nivel, maximizando el aprovechamiento energético de los recursos disponibles en forma sostenible.
3. Se sugiere la realización de pruebas comparativas que permitan evaluar distintas configuraciones de canales y seleccionar aquella que arroje mayores niveles térmicos bajo las condiciones específicas de cada localización. Esto posibilitará optimizar el desempeño de los colectores, maximizando la cobertura energética que estos pueden brindar de manera sustentable. Se enfatiza por lo tanto en otorgar especial atención al diseño de los canales de espejos como factor clave para la eficiencia de este tipo de sistemas.

## REFERENCIA BIBLIOGRÁFICAS

- Andersen, L., Suxo, A., & Verner, D. (2009). Social impacts of climate change in Peru: a district level analysis of the effects of recent and future climate change on human development and inequality. *World Bank Policy Research Working Paper*, 5091. [https://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract\\_id=1494829](https://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract_id=1494829)
- Atlas de Energía Solar Del Perú, Ministerio de Energía y Minas (2003). [file:///C:/Users/User/Downloads/Atlas-de-energ%C3%ADa-solar-Peru\\_2003.pdf](file:///C:/Users/User/Downloads/Atlas-de-energ%C3%ADa-solar-Peru_2003.pdf)
- Balaji, K., Iniyan, S., & Goic, R. (2018). Thermal performance of solar water heater using velocity enhancer. *Renewable Energy*, 115, 887–895. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2017.09.014>
- Campos, L. (2018). *Diseño, construcción y validación de un sistema solar térmico para producción de agua caliente sanitaria en una clínica de fisioterapia* [Tesis para optar al título de ingeniero mecánico, Universidad De El Salvador ]. <https://ri.ues.edu.sv/id/eprint/18499/>
- Capcha, L. (2014). *Colector solar de placas paralelas, como una alternativa eficiente para calentamiento de agua mediante termosifón en el Valle del Mantaro* [Tesis para optar el título profesional de ingeniero mecánico, Universidad Nacional Del Centro Del Peru ]. <https://repositorio.uncp.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12894/2232/Capcha%20Ramos.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Carrasco, S. (2006). *Metodología de la investigación científica* (1° Edicion). EDITORIAL SAN MARCOS E I R LTDA.

- Espinoza, C. (2014). *Metodología de investigación tecnológica Pensando en sistemas* (C. Espinoza, Ed.; 2nd ed., Vol. 1). Universidad Nacional del Centro del Perú.  
<https://repositorio.uncp.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12894/1148/mit2.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Fernández, K., & Tuesta, G. (2014). *Eficiencia y capacidad de una terma solar con un colector de 1 m<sup>2</sup> de tubos verticales de cobre en Chachapoyas, Amazonas-2014*. [Tesis para obtener el título profesional de: ingeniero agroindustrial , Universidad Nacional Toribio Rodríguez De Mendoza De Amazonas ].  
[https://repositorio.untrm.edu.pe/bitstream/handle/20.500.14077/769/FIA\\_166.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://repositorio.untrm.edu.pe/bitstream/handle/20.500.14077/769/FIA_166.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- García, G. (2010). *Diseño y construcción de un colector solar en V para la aplicación en el calentamiento de agua residencial: Propuesta Técnica y Económica para comunidades rurales* [Tesis de licenciatura]. Universidad de las Américas Puebla.
- González, R., & Calad, A. (2021). *Evaluación termo económica de colectores solares de placa plana para producción de agua caliente sanitaria en hotel de la ciudad de Montería-Córdoba* [Tesis para optar al título de ingeniero mecánico, Universidad De Córdoba].  
<https://repositorio.unicordoba.edu.co/bitstream/handle/ucordoba/4580/gonzalez-perezroberth-caladuribeandres.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Guevara, S. (2003). Teoría para el diseño de calentadores solares de agua. *Blume Ediciones, Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias Del Ambiente Área de Desarrollo Sostenible y Salud Ambiental, Lima, 1*.  
<http://www.ingenieroambiental.com/4014/xx.pdf>
- Gutiérrez, H., & De la Vara, R. (2008). *Análisis y diseño de experimentos* (P. Vázquez & L. Campa, Eds.; McGraw-Hill, Vol. 2). McGraw-Hill Companies, Inc.
- Hashim, W., Shomran, A., Jurmut, H., Gaaz, T., Kadhum, A., & Al-Amiery, A. (2018). Case study on solar water heating for flat plate collector. *Case Studies in Thermal*

*Engineering*, 12, 666–671.  
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2214157X18301771>

Hernández, S., Fernández, C., & Baptista, L. (2014). *Metodología de la Investigación Científica* (S. A. de C. V. McGraw-Hill / Interamericana Editores, Ed.; 6th ed.).  
<https://www.uca.ac.cr/wp-content/uploads/2017/10/Investigacion.pdf>

Holman, J., & Valenzuela, R. (1998). *Transferencia de calor* (Concepción Fernández, Ed.; 8th ed., Issue 660.28427 H65 1986.). McGraw-Hill Madrid, España.  
<https://biblici.files.wordpress.com/2013/07/holman-j-p-8ed1998-transferencia-de-calor.pdf>

Incropera, F., & DeWitt, D. (1999). *Fundamentos de transferencia de calor* (4th ed.). Pearson Prentice Hall.  
[https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=QqfJw4tpljcC&oi=fnd&pg=PA25&dq=incropera+\(1999\)&ots=p3LSqt4vUy&sig=-9jtgQe\\_t9gay9zsG9nYQAvY6\\_s](https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=QqfJw4tpljcC&oi=fnd&pg=PA25&dq=incropera+(1999)&ots=p3LSqt4vUy&sig=-9jtgQe_t9gay9zsG9nYQAvY6_s)

Koulibaly, A., & González, J. (2015). Modelación de un colector solar para calentamiento de aire. *Ingeniería Energética*, 36(3), 292–302.  
[http://scielo.sld.cu/scielo.php?pid=S1815-59012015000300007&script=sci\\_arttext&tlng=en](http://scielo.sld.cu/scielo.php?pid=S1815-59012015000300007&script=sci_arttext&tlng=en)

Montgomery, D.C. (2002). *Diseño y Análisis de Experimentos*. Segunda Edición. Limusa Wiley. D.F, México. Mood, A.M. Graybill, F.A. (1972).

Otavallo, T., & Olmedo, L. (2018). *Análisis comparativo de la eficiencia de colectores solares térmicos y colectores solares termodinámicos utilizados en bombas de calor asistidas por energía solar para la generación de agua caliente en el sector residencial* [Tesis de pregrado, Universidad Politécnica Salesiana].  
<https://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/15219>

Rozis, J., & Guinebault, A. (1997). Calefacción solar para regiones frías. *Guía Tecnológica Para La Aplicación de La Vivienda y Agricultura En Países En Desarrollo*. Perú: Geres.  
[https://books.google.com.pe/books/about/Calefacci%C3%B3n\\_solar\\_para\\_regiones\\_fr%C3%ADas.html?id=gGbFU6RSkxAC&redir\\_esc=y](https://books.google.com.pe/books/about/Calefacci%C3%B3n_solar_para_regiones_fr%C3%ADas.html?id=gGbFU6RSkxAC&redir_esc=y)

Schallenberg, J., Piernavieja, G., Hernández, C., & Unamunzaga, P. (2008). *Energías renovables y eficiencia energética* (1st ed.). Instituto Tecnológico de Canarias. <https://datos.bne.es/resource/a4382074>

Travezaño, D. (2002). *Diseño, construcción y evaluación de una terma solar de 50 litros para uso doméstico* [ Universidad Nacional de Ingeniería]. <https://es.scribd.com/doc/294786913/Diseno-Construccion-y-Evaluacion-de-Una-Terma-Solar-de-50-Litros-Para-Uso-Domestico#>

## **ANEXOS**

## Anexo 1. Matriz de consistencia

TÍTULO: “Colector solar plano con canales de espejos para producir agua caliente”					
PROBLEMA	OBJETIVOS	HIPÓTESIS	VARIABLES	NIVELES	METODOLOGÍA
<p><b>GENERAL</b></p> <p>¿Cómo influyen el material de las tuberías y los canales de espejos en la eficiencia energética de los colectores solares?</p>	<p><b>GENERAL</b></p> <p>Determinar la influencia del material de la tubería y los canales de vidrio en la eficiencia energética de los colectores solar.</p>	<p><b>GENERAL</b></p> <p>El material de los colectores solares y los canales de espejos, influyen significativamente la eficiencia energética de los colectores solares</p>	<p><b>Variable independiente:</b></p> <p>X1: Material de tuberías</p> <p>X2: Canales de espejos</p>	<p>-Tubería de cobre</p> <p>-Tubería de acero inoxidable</p> <p>-De dos ángulo</p> <p>-De tres ángulos</p>	<p><b>TIPO:</b></p> <p>Aplicada</p> <p><b>NIVEL:</b></p> <p>Explicativo</p> <p><b>MÉTODO:</b></p> <p>Método científico inductivo</p> <p><b>DISEÑO:</b></p> <p>Diseño experimental / transversal</p>

<p><b>ESPECÍFICOS</b></p> <p>1.1. ¿Cómo influye el material de la tubería en la eficiencia de los colectores solares para calentar agua?</p> <p>1.2. ¿Cómo influyen los canales de espejos en la eficiencia de los colectores solares para calentar agua?</p>	<p><b>ESPECÍFICOS</b></p> <p>1.1. Determinar la influencia del material de la tubería en la eficiencia de los colectores solares para calentar agua.</p> <p>1.2. Determinar la influencia de los canales de espejos en la eficiencia de los colectores solares para calentar agua.</p>	<p><b>ESPECÍFICOS</b></p> <p>1.1. El material influye significativamente en la eficiencia energética de los colectores solares.</p> <p>1.2. Los canales de espejos influyen significativamente en la eficiencia energética de los colectores solares.</p>	<p><b>Variable dependiente:</b></p> <p>Y1: Eficiencia del colector solar</p>		<p><b>ENFOQUE:</b></p> <p>Cuantitativo</p> <p><b>TÉCNICA:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Transferencia de calor</li> </ul> <p><b>INSTRUMENTOS:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Termómetro digital</li> <li>• Flexómetro</li> </ul> <p><b>MUESTRA:</b></p> <p>20 experimentos en el sistema del colector solar</p>
---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	------------------------------------------------------------------------------	--	------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

## Anexo 2. Promedio de radiación solar del Valle del Mantaro

<b>Promedio de radiación solar del Valle del Mantaro</b>		
<b>Meses</b>		<b>Radiación solar Kwh/m<sup>2</sup></b>
1	Enero	5.63
2	Febrero	5.33
3	Marzo	5.14
4	Abril	5.06
5	Mayo	4.83
6	Junio	4.67
7	Julio	4.85
8	Agosto	5.35
9	Septiembre	5.70
10	Octubre	5.89
11	Noviembre	6.03
12	Diciembre	5.66
<b>Promedios</b>		<b>Radiación solar Kwh/m<sup>2</sup></b>
1	Promedio anual	5.35
2	Promedio anual máximo	6.03
3	Promedio anual mínimo	4.67

### Anexo 3. Temperaturas tomadas por día

Temperatura del agua al ingreso Ti y de salida Tf					
	HORA	Ti(°C)	Ti(°F)	Tf(°C)	Tf(°F)
1	08:00	16.1	60.98	16.1	60.98
2	09:00	16.1	60.98	20.3	68.54
3	10:00	16.1	60.98	24.7	76.46
4	11:00	16.1	60.98	27.6	81.68
5	12:00	16.1	60.98	33.4	92.12
6	13:00	16.1	60.98	36.8	98.24
7	14:00	16.1	60.98	43.7	110.66
8	15:00	16.1	60.98	47.9	118.22
9	16:00	16.1	60.98	45.8	114.44
10	17:00	16.1	60.98	44.2	111.56

*Dia 1-Canal 1 con cobre*

Temperatura del agua al ingreso Ti y de salida Tf					
	HORA	Ti(°C)	Ti(°F)	Tf(°C)	Tf(°F)
1	08:00	16.7	62.06	16.7	62.06
2	09:00	16.7	62.06	20.4	68.72
3	10:00	16.7	62.06	25.8	78.44
4	11:00	16.7	62.06	28	82.4
5	12:00	16.7	62.06	34.6	94.28
6	13:00	16.7	62.06	37	98.6
7	14:00	16.7	62.06	44.8	112.64
8	15:00	16.7	62.06	48.6	119.48
9	16:00	16.7	62.06	46.1	114.98
10	17:00	16.7	62.06	44.7	112.46

*Dia 1-Canal 2 con cobre*

Temperatura del agua al ingreso Ti y de salida Tf					
	HORA	Ti(°C)	Ti(°F)	Tf(°C)	Tf(°F)
1	08:00	12.8	55.04	12.8	55.04
2	09:00	12.8	55.04	15.4	59.72
3	10:00	12.8	55.04	17.8	64.04
4	11:00	12.8	55.04	21.5	70.7
5	12:00	12.8	55.04	25.6	78.08
6	13:00	12.8	55.04	30.9	87.62
7	14:00	12.8	55.04	35.6	96.08
8	15:00	12.8	55.04	36.9	98.42
9	16:00	12.8	55.04	35.8	96.44
10	17:00	12.8	55.04	33.2	91.76

*Dia 1-Canal 1 con acero inoxidable*

Temperatura del agua al ingreso Ti y de salida Tf					
	HORA	Ti(°C)	Ti(°F)	Tf(°C)	Tf(°F)
1	08:00	14	57.2	14	57.2
2	09:00	14	57.2	17.6	63.68
3	10:00	14	57.2	20.2	68.36
4	11:00	14	57.2	22.5	72.5
5	12:00	14	57.2	25.6	78.08
6	13:00	14	57.2	31.5	88.7
7	14:00	14	57.2	37.2	98.96
8	15:00	14	57.2	37.9	100.22
9	16:00	14	57.2	36.2	97.16
10	17:00	14	57.2	35.3	95.54

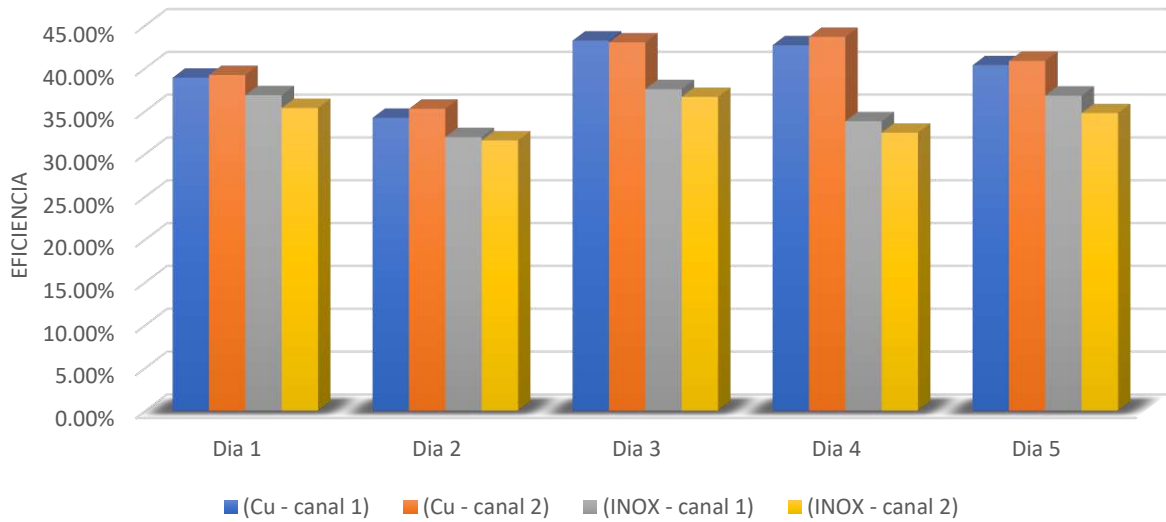
*Dia 1-Canal 2 con acero inoxidable*

#### Anexo 4. Base de datos para las pruebas de hipótesis

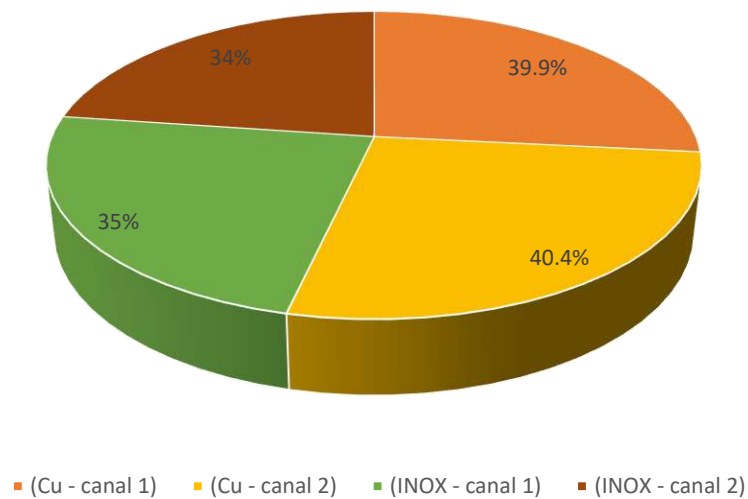
	Factor A	Factor B	Repetición	Eficiencia
Cu/C1/D1	1	1	1	38.91
Cu/C2/D1	2	1	1	39.22
INOX/C1/D1	1	2	1	36.93
INOX/C2/D1	2	2	1	35.36
Cu/C1/D2	1	1	2	34.22
Cu/C2/D2	2	1	2	35.28
INOX/C1/D2	1	2	2	32.02
INOX/C2/D2	2	2	2	31.58
Cu/C1/D3	1	1	3	43.23
Cu/C2/D3	2	1	3	43.03
INOX/C1/D3	1	2	3	37.61
INOX/C2/D3	2	2	3	36.66
Cu/C1/D4	1	1	4	42.69
Cu/C2/D4	2	1	4	43.67
INOX/C1/D4	1	2	4	33.87
INOX/C2/D4	2	2	4	32.48
Cu/C1/D5	1	1	5	40.36
Cu/C2/D5	2	1	5	40.86
INOX/C1/D5	1	2	5	36.80
INOX/C2/D5	2	2	5	34.77

## Anexo 5. Gráfico de tratamiento de Datos

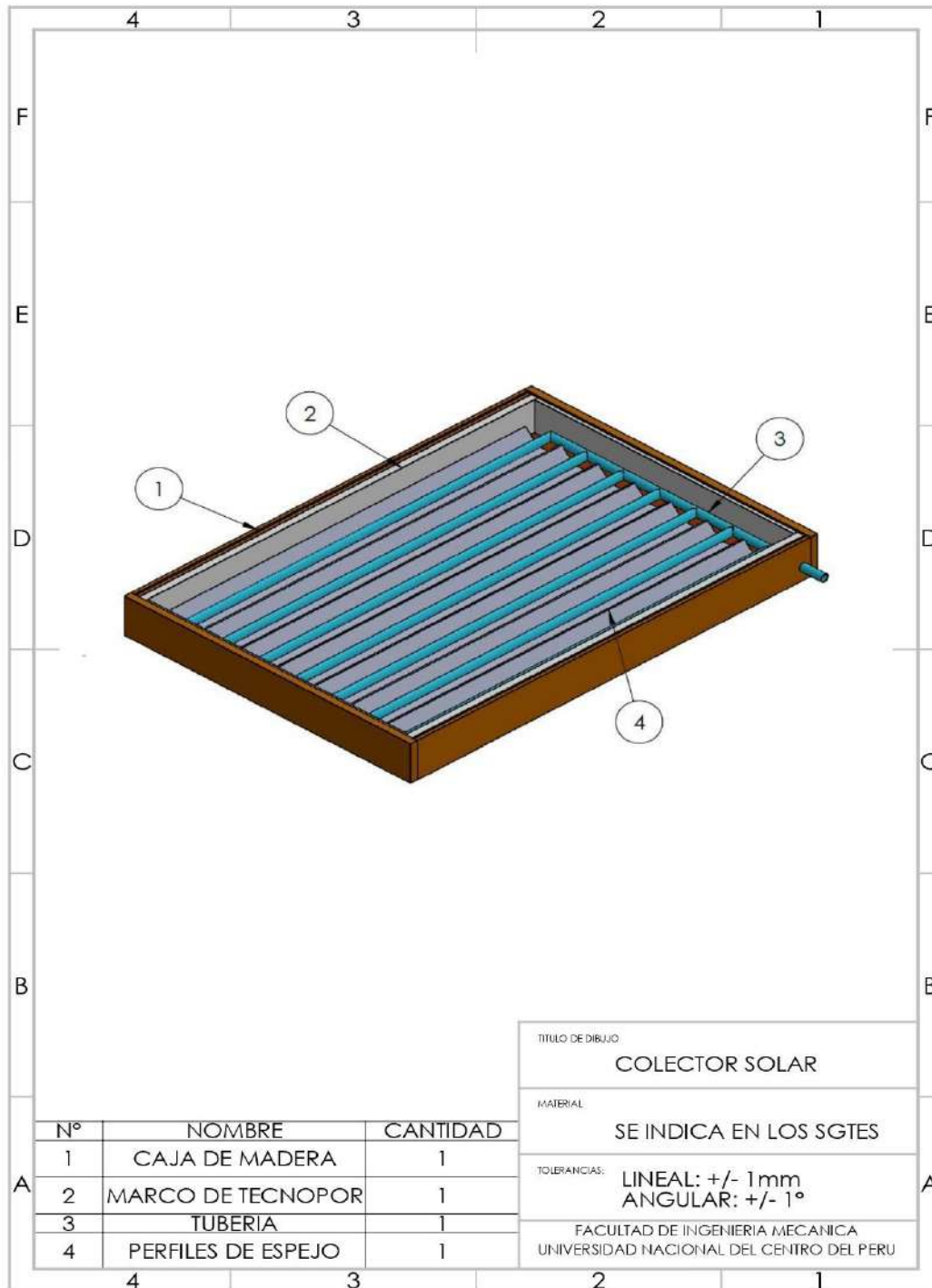
### Comparativa de los Tratamientos en Función del Rendimiento por Días

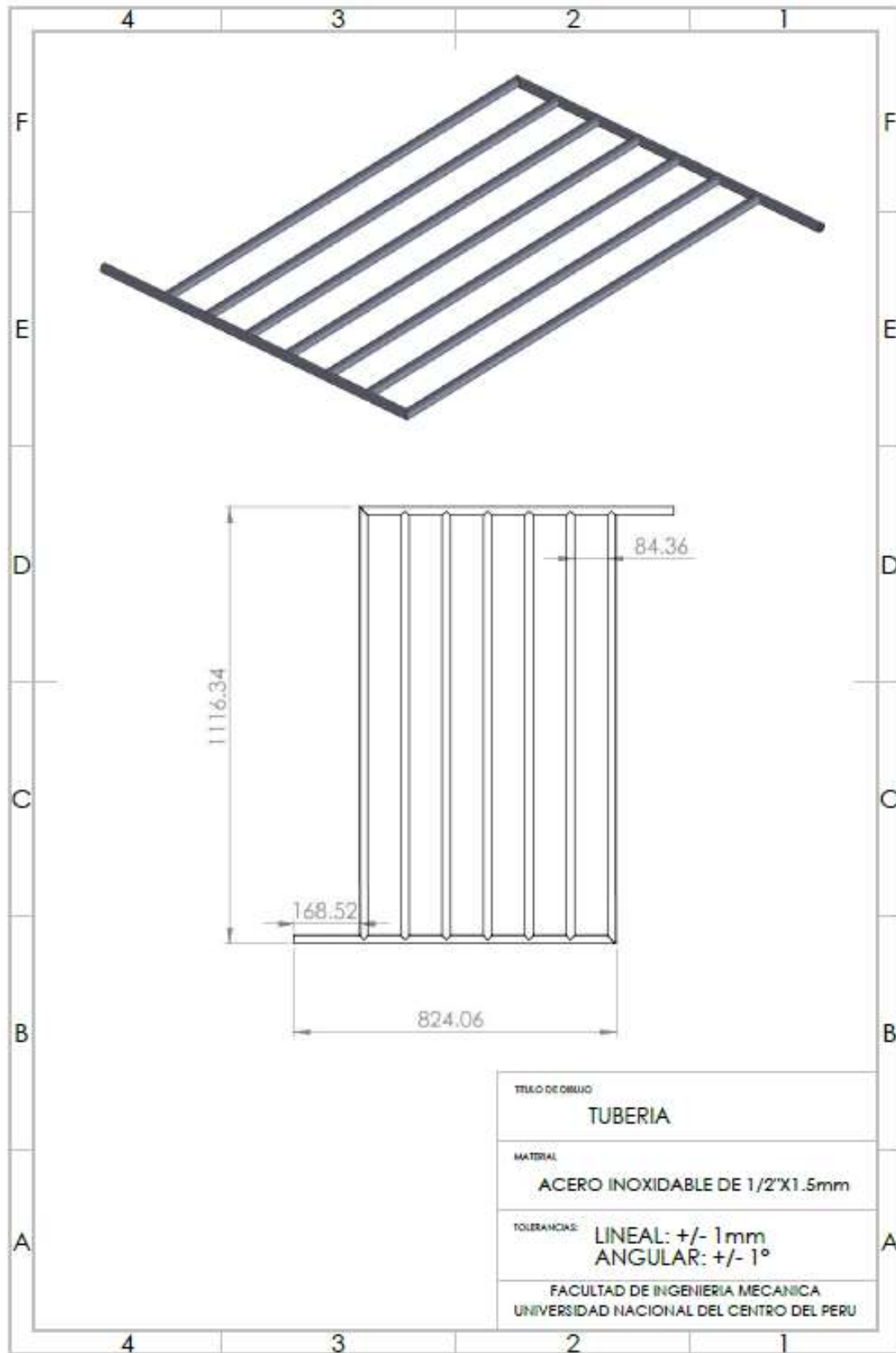


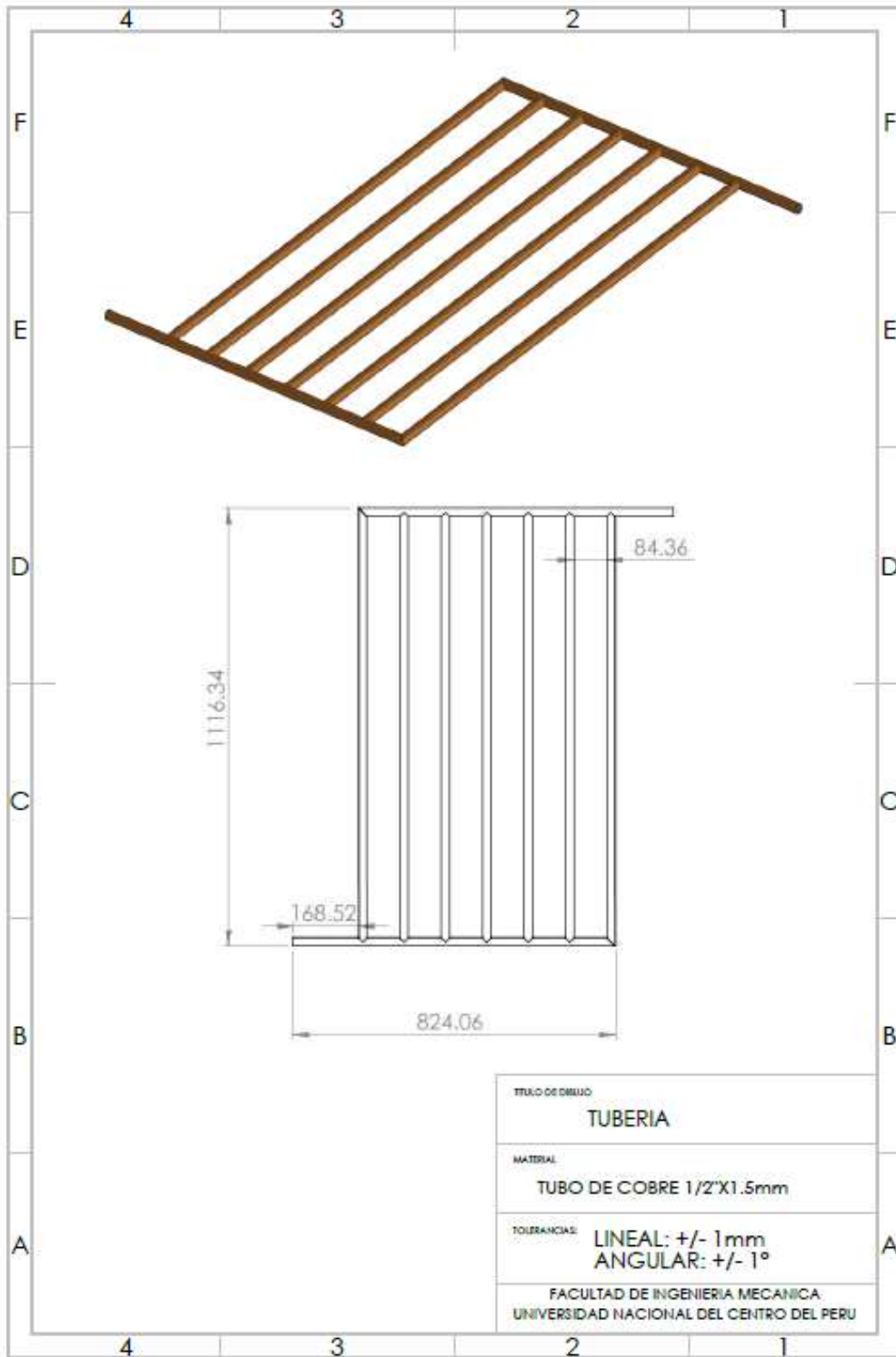
### Promedio de Eficiencias del Resultado de los Tratamientos

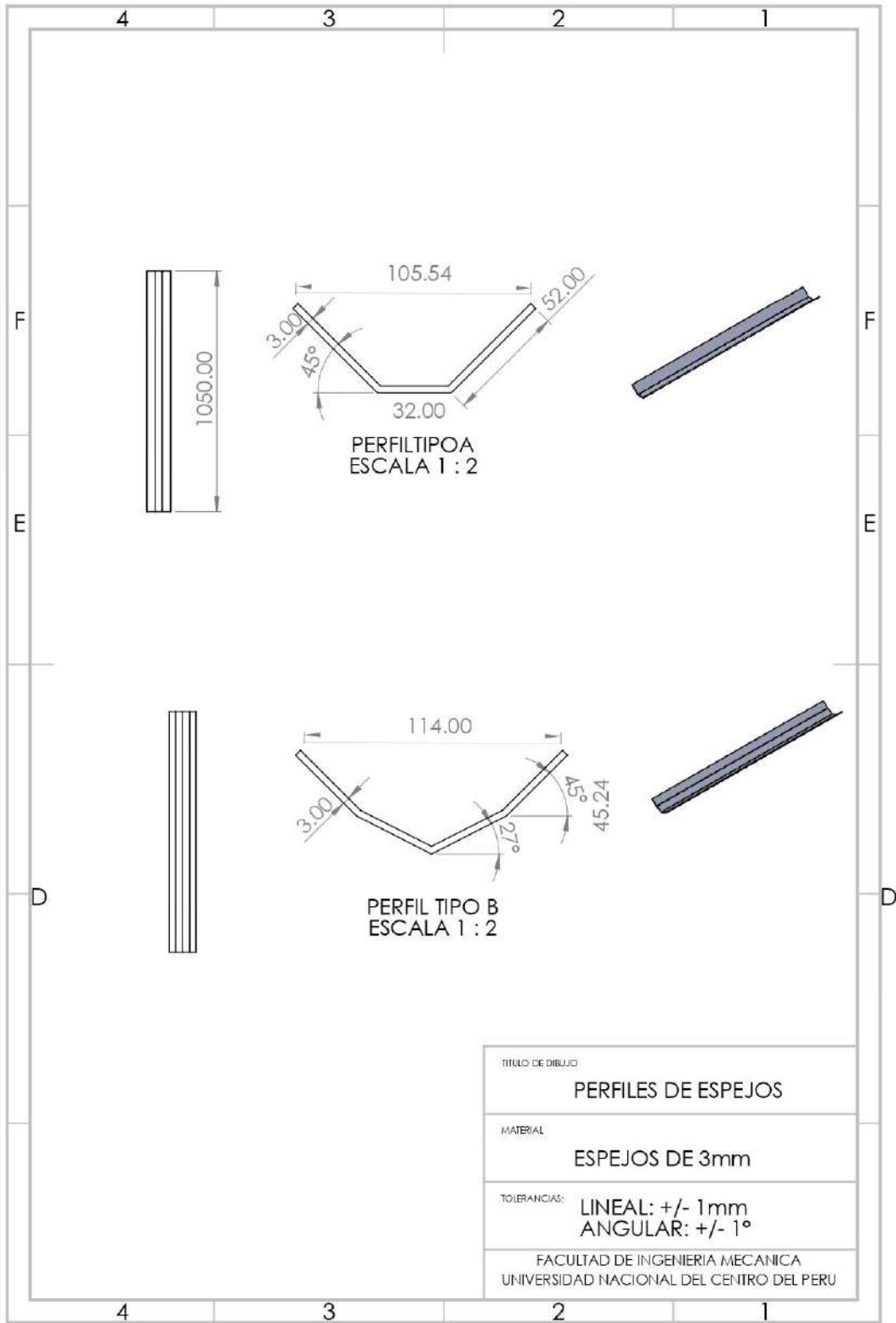


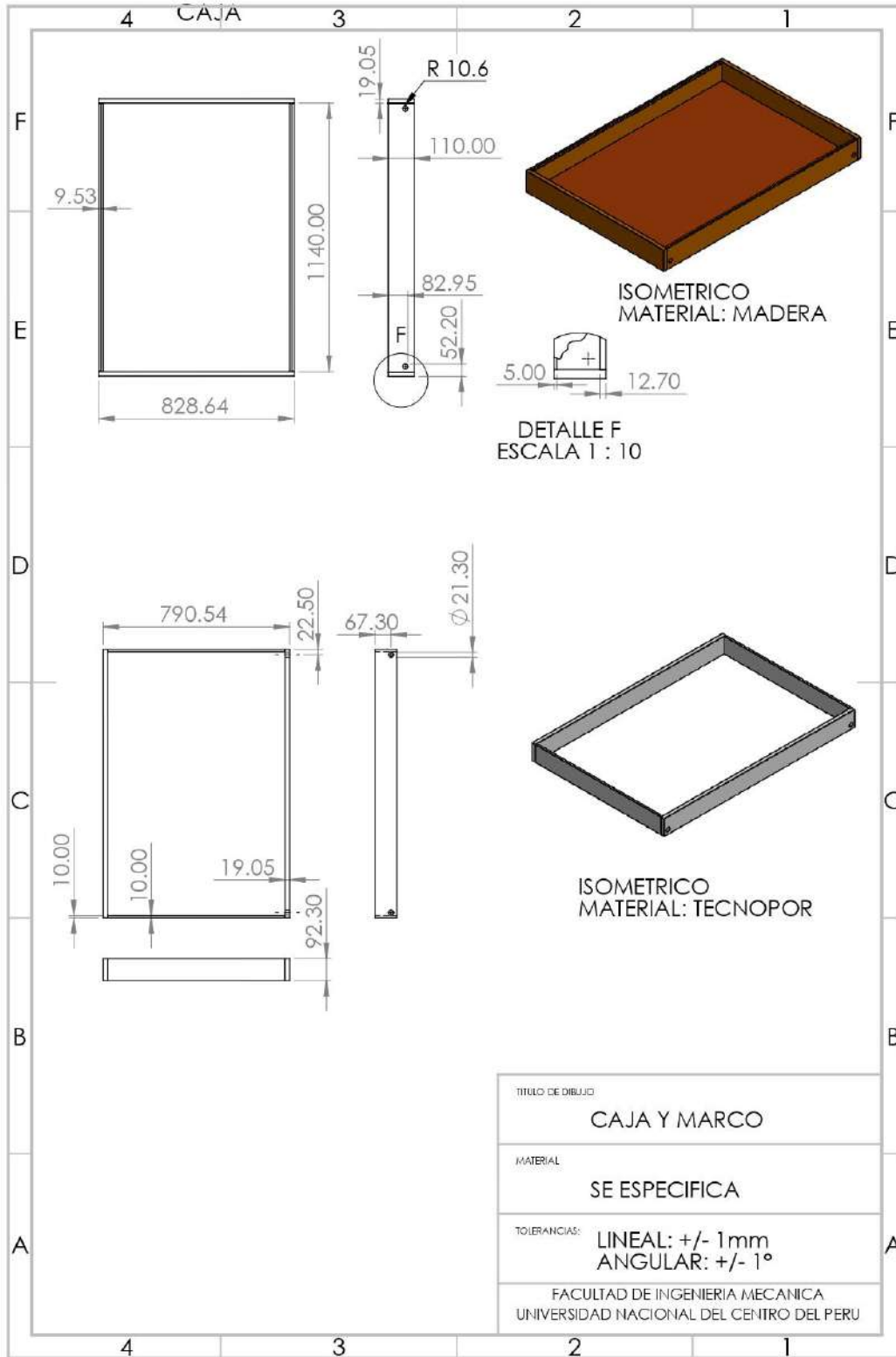
## Anexo 6. Diseño en 3D











## Anexo 7. Fotos de construcción del colector solar



*Preparación de la base del colector solar*



*Proceso de colocación de espejos*



Sellado y aseguramiento de estructuras reflectantes



Colectores solares finalizados