



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA Y APLICADAS
CARRERA DE INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA

PROPUESTA TECNOLÓGICA

“ANÁLISIS COMPARATIVO DEL RENDIMIENTO TÉRMICO DE COLECTORES SOLARES CON ADICIÓN DE ALETAS Y VARIACIÓN DE ALTURA EN LA PLACA ABSORBEDORA”

Propuesta Tecnológica presentada previo a la obtención del Título de Ingenieros Electromecánicos

Autores:

Liger Pereira Johnny Enrique

Miniguano Chanchicocha Diego Fernando

Tutores:

PhD. Ing. Enrique Torres Tamayo

Ing. Mg. Mauro Darío Albarracín Álvarez

Latacunga – Ecuador

Febrero 2023



DECLARACIÓN DE AUTORÍA

Nosotros Liger Pereira Johnny Enrique y Miniguano Chanchicocha Diego Fernando, declaramos ser autores de la presente propuesta tecnológica: “ANÁLISIS COMPARATIVO DEL RENDIMIENTO TÉRMICO DE COLECTORES SOLARES CON ADICIÓN DE ALETAS Y VARIACIÓN DE ALTURA EN LA PLACA ABSORBEDORA”, siendo el **PhD. Ing. Enrique Torres Tamayo** y el **Ing. Mg. Mauro Darío Albarracín Álvarez**, tutores del presente trabajo; y eximimos expresamente a la Universidad Técnica de Cotopaxi y a sus representantes legales de posibles reclamos o acciones legales.

Además, certificamos que las ideas, conceptos, procedimientos y resultados vertidos en el presente trabajo investigativo, son de nuestra exclusiva responsabilidad.

Latacunga, febrero 2023

Liger Pereira Johnny Enrique
C.I. 050391501-9

Miniguano Chanchicocha Diego Fernando
C.I. 172700007-5



AVAL DE LOS TUTORES DE PROYECTO DE TITULACIÓN

En calidad de Tutores de la propuesta tecnológica sobre el título: **“ANÁLISIS COMPARATIVO DEL RENDIMIENTO TÉRMICO DE COLECTORES SOLARES CON ADICIÓN DE ALETAS Y VARIACIÓN DE ALTURA EN LA PLACA ABSORBEDORA”**, por, **Liger Pereira Johnny Enrique** y **Miniguano Chanchicocha Diego Fernando**, de la carrera de **Ingeniería Electromecánica**, consideramos que dicho Informe Investigativo cumple con los requerimientos metodológicos y aportes científico-técnicos suficientes para ser sometidos a la evaluación del Tribunal de Validación de Proyecto que el consejo Directivo de la Facultad de Ciencias de la Ingeniería y Aplicadas de la Universidad Técnica de Cotopaxi designe, para su correspondiente estudio y calificación.

Latacunga, febrero 2023

PhD Ing. Enrique Torres Tamayo
C.I. 175712194-0

Ing. Mg. Mauro Darío Albarracín Álvarez
C.I. 050311373-0



APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE TITULACIÓN

En calidad de Tribunal de Lectores, aprueban el presente Informe de Investigación de acuerdo a las disposiciones reglamentarias emitidas por la Universidad Técnica de Cotopaxi, y por la Facultad de **Ciencias de Ingeniería y Aplicadas**; por cuanto, los postulantes: **Liger Pereira Johnny Enrique** y **Miniguano Chanchicocha Diego Fernando**, con el título de Proyecto de titulación: **“ANÁLISIS COMPARATIVO DEL RENDIMIENTO TÉRMICO DE COLECTORES SOLARES CON ADICIÓN DE ALETAS Y VARIACIÓN DE ALTURA EN LA PLACA ABSORBEDORA”**, han considerado las recomendaciones emitidas oportunamente y reúne los méritos suficientes para ser sometido al acto de Sustentación de Proyecto.

Por la antes expuesto, se autoriza realizar los empastados correspondientes, según la normativa institucional.

Latacunga, febrero 2023

Para constancia firman:

Lector 1 (Presidente)

Ph. D. Héctor Luis Laurencio Alfonso

C.I. 175836725-2

Lector 2

Ing. Luigi Orlando Freire Martínez, MSc.

C.I. 050252558-9

Lector 3

Ing. Cristian Gallardo Molina, MSc.

C.I. 050284769-2



AGRADECIMIENTO

Gracias a Dios por bendecirme durante el transcurso de mi vida y otorgarme una maravillosa familia quienes me apoyaron moralmente para poder alcanzar una meta más en mi formación profesional.

Gracias a mi hijo Jeremy por ser parte fundamental de este camino; el motor para sacar adelante esto es un logro en conjunto.

Johnny Liger



DEDICATORIA

El presente trabajo va dedicado a especialmente a mi padre Jonny Liger y mi madre Yesenia Pereira porque sin ellos nada de esto hubiera sido posible, y a mi hijo Jeremy para ellos va dedicado este logro; el motor de mi vida.

Johnny Liger



AGRADECIMIENTO

Gracias infinitamente a mis padres por ser los promotores de mis sueños, gracias por depositar la confianza en mí, por enseñarme desde niño a ser una persona de bien y a luchar por conseguir las cosas que se anhela, agradecerles a mis hermanas, tíos y abuelitos por los consejos compartidos con el único fin de ser una persona responsable y comprometida a servir a la sociedad.

Diego Miniguano



DEDICATORIA

El presente trabajo va dedicado a mi familia por el inmenso apoyo a lo largo de la carrera, a mi madre y padre Nilda y Antonio, a mi tía Bertha, por creer en mí y apoyarme en todos mis proyectos.



ÍNDICE GENERAL

DECLARACIÓN DE AUTORÍA	i
AVAL DE LOS TUTORES DE PROYECTO DE TITULACIÓN	ii
APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE TITULACIÓN.....	iii
AGRADECIMIENTO	iv
DEDICATORIA	v
AGRADECIMIENTO	vi
DEDICATORIA	vii
ÍNDICE DE FIGURAS	xii
ÍNDICE DE TABLAS.....	xiv
ÍNDICE DE ANEXOS	xv
RESUMEN.....	xvii
ABSTRACT.....	xviii
AVAL DE TRADUCCIÓN.....	xix
INFORMACIÓN GENERAL	1
1. INTRODUCCIÓN:	2
1.1 EL PROBLEMA	2
1.1.1 Situación Problemática.....	2
1.1.2 Formulación del problema	3
1.2 OBJETO Y CAMPO DE ACCIÓN.....	3
1.2.1 Objeto	3
1.2.2 Campo de acción	3
1.3 BENEFICIARIOS	3
1.4 JUSTIFICACIÓN	3
1.5 HIPÓTESIS	3
1.6 OBJETIVOS	4
1.6.1 General:	4
1.6.2 Específicos:	4
1.7 SISTEMA DE TAREAS	4
2. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA.....	6
2.1 ANTECEDENTES	6
2.2 MARCO REFERENCIAL.....	7
2.1.1 Calentamiento de aire por energías renovables.....	7



2.2.1.1 Energía solar	7
2.2.1.2 Energía Eólica	7
2.2.1.3 Biomasa	8
2.2.1.4 Geotérmica.....	8
2.2.2 Calentamiento de aire por energías no renovales.....	8
2.2.3 Colectores solares.....	8
2.2.3.1 Placa absorbedora	9
2.2.3.2 Cubierta de vidrio	9
2.2.3.3 Aislamiento térmico	9
2.2.4 Transferencia de calor	9
2.2.4.1 Conducción.....	10
2.2.4.2 Convección	10
2.2.4.3 Radiación	10
2.2.5 Tipos de radiación	10
2.2.5.1 Radiación directa	10
2.2.5.2 Radiación difusa	10
2.2.5.3 Radiación terrestre.....	10
2.2.5.4 Radiación total.....	10
2.2.5.5 Radiación global.....	11
2.2.5.6 Irradiancia	11
2.2.5.7 Irradiación.....	11
2.2.6 Tipos de colectores.....	11
2.2.6.1 Colectores solares sin concentración	11
2.2.6.2 Colectores solares de concentración.....	14
2.2.7 Aplicaciones específicas de los colectores solares.....	16
2.2.8 Clasificación de los sistemas de acuerdo a la temperatura que se desee para una aplicación en específico:	16
2.2.9 Técnicas para aumentar la temperatura en un colector solar	17
2.2.10 Trayectoria del flujo de aire de colectores solares	18
2.2.11 Descripción del objeto de estudio	26
2.2.12 Componentes del colector solar de placa plana	27
2.2.12.1 Placa absorbedora	27
2.2.12.2 Cubierta transparente	27
2.2.12.3 Aislamiento térmico	27
2.2.12.4 Carcasa	28



2.2.12.5	Soplador.....	28
2.2.12.6	Soporte.....	28
2.2.13	Funcionamiento de colector de placa plana	29
3.	DESARROLLO DE LA PROPUESTA.....	31
3.1	METODOLOGIA.....	31
Variable dependiente		31
Variable independiente		31
Temperatura de salida (Rendimiento térmico)		31
Radiación solar		31
Temperatura ambiente		31
3.1.1	Diseño y construcción del colector de placa plana	31
3.1.1.1	Cubierta	31
3.1.1.2	Aislamiento térmico	32
3.1.1.3	Placa absorbedora	32
3.1.1.4	Aletas.....	33
3.1.1.5	Soplador.....	33
3.1.1.6	Carcasa	34
3.1.1.7	Soporte.....	34
3.1.2	Diseño y construcción para la adición de aletas en la placa absorbedora	35
3.1.2.1	Calor transferido por la placa absorbedora plana	35
3.1.2.2	Calor transferido por el sistema de aletas triangulares	37
3.1.2.3	Calor transferido por el sistema de aletas rectangulares.....	38
3.1.2.4	Calor transferido por el sistema de aletas cilíndricas	40
3.1.3	Técnicas de medición.....	41
3.1.3.1	Equipos auxiliares para la validación de datos.....	42
3.1.4	Ubicación geográfica.....	44
3.1.5	Variación de temperatura y análisis comparativo del rendimiento térmico.....	45
3.1.5.1	Variación de temperatura (Δt)	45
3.1.5.2	Análisis comparativo del rendimiento térmico.....	45
3.2	ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS	46
3.1.2	Resultados del colector.....	46
3.2.2	Resultado de Calor transferido por la placa absorbedora plana	47
3.2.3	Resultados de los cálculos de las superficies extendidas (aletas)	47
3.2.4	Resultados de las superficies extendidas (aletas).....	49
3.2.4.1	Aletas triangulares	49



3.2.4.2 Aletas rectangulares.....	50
3.2.4.3 Aletas cilíndricas	50
3.2.5 Resultados de las mediciones experimentales en colectores solares de placa plana sin aletas.....	52
3.2.6 Resultados comparativos de los parámetros de trabajo del colector con vidrio polarizado y el colector patrón con vidrio claro.....	53
3.2.7 Resultados comparativos de los parámetros de trabajo de los colectores solares con adición de aletas y variación de altura.	57
3.2.8 Resultados del rendimiento térmico de los colectores solares con adición de aletas y variación de altura.	61
3.3 EVALUACIÓN TÉCNICO, SOCIAL AMBIENTAL, ECONÓMICA.....	66
3.3.1 Evaluación ambiental	66
3.3.2 Evaluación técnica.....	66
3.3.3 Evaluación social.....	66
3.3.4 Evaluación económica.....	66
4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	68
4.1 CONCLUSIONES	68
4.2 RECOMENDACIONES.....	69
BIBLIOGRAFÍA	70
ANEXOS	a



ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1: Diagrama de Ishikawa (Causa-Efecto)	2
Figura 2.1: Colector de placa plana [10].	12
Figura 2.2: Colector solar plano de vacío [11].	13
Figura 2.3: Colector con tubos de calor [12].	13
Figura 2.4: Instalación experimental del Centro CIEMAT de Tabernas [13].	14
Figura 2.5: Concentrador de calor paraboloide para alimentar un motor de calor Stirling [13].	15
Figura 2.6: Distintos tipos de colectores [14].	15
Figura 2.7: Eficiencia de distintos tipos de colectores [14].	16
Figura 2.8: Formas de barreras anticonvectivas [16].	18
Figura 2.9: Circulación del aire entre el vidrio y la placa absorbadora [16].	19
Figura 2.10: Circulación del aire entre la placa absorbadora y el aislamiento térmico [16]. ...	19
Figura 2.11: Circulación de aire de los dos lados [16].	20
Figura 2.12: Captador de aire para calentamiento de aire con cubierta y placa perforada [16].	20
Figura 2.13: Vista esquemática del calentador de aire solar [19].	21
Figura 2.14: Esquema y elementos constituyentes del colector solar [20].	22
Figura 2.15: Esquema del colector de doble paso en contra corriente [21].	23
Figura 2.16: Montaje experimental del colector [22].	23
Figura 2.17: Colector solar de calefacción de aire instalado [23].	25
Figura 2.18: Sección transversal del colector [25].	26
Figura 2.19: Elementos que constituyen un colector de placa plana [28].	30
Figura 3.1: Vidrio transparente	31
Figura 3. 2: Aislante de poliuretano	32
Figura 3.3: Placa absorbadora	32
Figura 3.4: Aleta triangular	33
Figura 3.5: Soplador	33
Figura 3.6: Carcasa del colector	34
Figura 3.7: Soporte del colector	34
Figura 3.8: Eficiencia de la aleta triangular [18].	38
Figura 3. 8: Eficiencia de la aleta rectangular [18].	40
Figura 3.9: Solar Power Meter SM 206-SOLAR	42



Figura 3.10: Anemómetro HoldPeak HP-866B.....	43
Figura 3.11: Pirómetro FLUKE.....	43
Figura 3.12: Cámara Termográfica SATIR PK-80	44
Figura 3.13: Brújula.....	44
Figura 3.14: Ubicación de los colectores solares para la investigación experimental	45
Figura 3.15: Aleta triangular	49
Figura 3.16: Distribución de las aletas triangulares	49
Figura 3.17: Aleta rectangular	50
Figura 3.18: Distribución de las aletas rectangulares	50
Figura 3.19: Aleta cilíndrica.....	51
Figura 3.20: Distribución de las aletas cilíndricas.....	51
Figura 3.21: Temperaturas de salidas de los colectores solares en igualdad de condiciones...52	
Figura 3.22: Comportamiento de la temperatura de la placa absorbadora en los módulos 1 y 4 en convección natural	53
Figura 3.23: Comportamiento de la temperatura del vidrio en los módulos 1 y 4 en convección natural	54
Figura 3.24: Comportamiento de la temperatura de salida en los módulos 1 y 4 en convección natural	54
Figura 3.25: Comportamiento de la temperatura de la placa absorbadora en los módulos 1 y 4 con flujo de 6 m/s	55
Figura 3.26: Comportamiento de la temperatura del vidrio en los módulos 1 y 4 con flujo de 6 m/s	56
Figura 3.27: Comportamiento de la temperatura de salida en los módulos 1 y 4 con flujo de 6 m/s	56
Figura 3.28: Comportamiento de la temperatura de salida en colectores solares con adición de aletas y variación de altura en convección natural	57
Figura 3.29: Comportamiento de la temperatura de salida en colectores solares con adición de aletas y variación de altura con velocidad de 6m/s	58
Figura 3.30: Comportamiento de la temperatura de salida en colectores solares con adición de aletas y variación de altura con velocidad de 7 m/s	59
Figura 3.31: Comportamiento de la temperatura de salida en colectores solares con adición de aletas y variación de altura con velocidad de 8 m/s	59
Figura 3.32: Comportamiento de la temperatura de salida en colectores solares con adición de aletas y variación de altura con velocidad de 9 m/s	60
Figura 3.33: Comportamiento del rendimiento térmico comparativo en colectores solares con adición de aletas y variación de altura en convección natural.....	61



Figura 3.34: Comportamiento del rendimiento térmico comparativo en colectores solares con adición de aletas y variación de altura con velocidad de 6m/s 62

Figura 3.35: Comportamiento del rendimiento térmico comparativo en colectores solares con adición de aletas y variación de altura con velocidad de 7 m/s 63

Figura 3.36: Comportamiento del rendimiento térmico comparativo en colectores solares con adición de aletas y variación de altura con velocidad de 8 m/s 64

Figura 3.37: Comportamiento del rendimiento térmico comparativo en colectores solares con adición de aletas y variación de altura con velocidad de 9 m/s 65



ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.1: Tareas a cumplir	4
Tabla 3.1: Variables dependientes e independientes	31
Tabla 3.2: Técnicas de medición para la adquisición de datos.....	41
Tabla 3.3: Adquisición de datos	42
Tabla 3.4: Ubicación geográfica de la investigación experimental.....	44
Tabla 3.5: Parámetros de colector	46
Tabla 3.6: Características del soplador.....	46
Tabla 3.7: Calor transferido por la placa absorbadora plana.....	47
Tabla 3.8: Cálculo de aletas triangulares.....	47
Tabla 3.9: Cálculo de aletas rectangulares	48
Tabla 3.10: Cálculo de aletas cilíndricas	48
Tabla 3.11: Parámetros de las aletas triangulares.....	49
Tabla 3.12: Parámetros de las aletas rectangulares	50
Tabla 3.13: Parámetros de las aletas cilíndricas.....	50
Tabla 3.14: Configuraciones de los colectores solares.....	51
Tabla 3.15: Variación de temperatura de los colectores solares con respecto al patrón en iguales condiciones	53
Tabla 3.16: Elementos Mecánicos.....	66
Tabla 3.17: Elementos electrónicos.....	67
Tabla 3.18: Descripción económica total	68



ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1	a
Anexo 2	c
Anexo 3	d
Anexo 4	e
Anexo 5	f
Anexo 6	g
Anexo 7	h
Anexo 8	i
Anexo 9	j
Anexo 10	k
Anexo 11	l



TITULO: Análisis comparativo del rendimiento térmico de colectores solares con adición de aletas y variación de altura en la placa absorbadora.

Autores: Liger Pereira Johnny Enrique Miniguano
Chanchicocha Diego Fernando

RESUMEN

En la siguiente propuesta tecnológica se trata sobre los colectores solares de placa plana que absorben radiación solar en la placa absorbente y la convierten en energía térmica que transfieren al fluido que circula por la cámara colectora, las aplicaciones son muy amplias como por ejemplo para la calefacción de hogares u hospitales, secado de madera, sistemas de refrigeración, entre los factores que inciden en mejorar el rendimiento del sistema se tiene el incremento del área total de la placa colectora mediante la adhesión de diferentes formas geométricas, en este caso de aletas rectangulares, triangulares, cilíndricas, y variación de altura; los parámetros de las aletas se desarrollaron mediante el cálculo de la efectividad como dice la literatura; se estudió la transferencia de calor por convección natural o libre y forzada (6m/s; 7m/s; 8m/s; 9m/s); donde logró comprobar dos puntos importantes que en el estudio de convección natural o libre se obtuvo los mejores rendimientos térmicos con respecto al patrón; entre los tres tipos de aletas; las aletas cilíndricas fue donde se obtuvo mayor rendimiento térmico hasta un 46 %; las aletas triangulares hasta un 29% con valores de radiación de 280.3 W/m²; las aletas rectangulares hasta un 26 %; la variación de altura fue el que menos rendimiento térmico comparativo al obtener hasta un 24 % con valores de radiación de 380.1 W/m²; y el otro punto importante que entre mayor sea la velocidad del soplador disminuye el rendimiento térmico de los diferentes colectores solares.

Palabras claves: rendimiento, radiación, convección, aletas.



TITLE: Comparative analysis of the thermal performance of solar collectors with the addition of fins and height variation in the absorber plate.

Authors: Liger Pereira Johnny Enrique
Miniguano Chanchicocha Diego Fernando

ABSTRACT

The following technological proposal deals with flat plate solar collectors that absorb solar radiation in the absorber plate and convert it into thermal energy that is transferred to the fluid that circulates through the collecting chamber; the applications are extensive, such as for heating. Of homes or hospitals, wood drying, refrigeration systems, among the factors that have an impact on improving the performance of the system is the increase in the total area of the collector plate through the adhesion of different geometric shapes, in this case rectangular fins, triangular, cylindrical, and height variation; the parameters of the fins were developed by calculating the effectiveness as the literature says; heat transfer by natural or free and forced convection (6m/s; 7m/s; 8m/s; 9m/s) was studied; where he managed to verify two essential points that in the study of natural or free convection the best thermal performance was obtained with respect to the pattern; between the three types of fins; the cylindrical fins were where the highest thermal performance was obtained up to 46%; triangular fins up to 29% with radiation values of 280.3 W/m²; rectangular fins up to 26%; the height variation was the one with the most minor comparative thermal performance, obtaining up to 24% with radiation values of 380.1 W/m²; and the other important point that the higher the speed of the blower decreases the thermal performance of the different solar collectors.

Keywords: performance, radiation, convection, fins.



UNIVERSIDAD
TÉCNICA DE
COTOPAXI



CENTRO
DE IDIOMAS

AVAL DE TRADUCCIÓN

En calidad de Docente del Idioma Inglés del Centro de Idiomas de la Universidad Técnica de Cotopaxi; en forma legal **CERTIFICO** que:

La traducción del resumen al idioma Inglés del proyecto de investigación cuyo título versa: **“ANÁLISIS COMPARATIVO DEL RENDIMIENTO TÉRMICO DE COLECTORES SOLARES CON ADICIÓN DE ALETAS Y VARIACIÓN DE ALTURA EN LA PLACA ABSORBEDORA,”** presentado por: **Liger Pereira Johnny Enrique** y **Miniguano Chanchicocha Diego Fernando**, egresados de la Carrera de: **Ingeniería Electromecánica**, perteneciente a la **Facultad de Ciencias de la Ingeniería y Aplicadas**, lo realizaron bajo mi supervisión y cumple con una correcta estructura gramatical del Idioma.

Es todo cuanto puedo certificar en honor a la verdad y autorizo a los peticionarios hacer uso del presente aval para los fines académicos legales.

Latacunga, Febrero del 2023

Atentamente,



Identificado digitalmente con:
MAYRA CLEMENCIA
NOROÑA HEREDIA



CENTRO
DE IDIOMAS

Lic. Mayra Clemencia Noroña Heredia, Mg.
DOCENTE CENTRO DE IDIOMAS-UTC
CI:0501955470

INFORMACIÓN GENERAL

Título: Análisis comparativo del rendimiento térmico de colectores solares con adición de aletas y variación de altura en la placa absorbadora.

Fecha de inicio: Octubre 2022

Fecha de finalización: Febrero 2023

Lugar de ejecución: Universidad Técnica de Cotopaxi, Provincia de Cotopaxi, Cantón Latacunga

Facultad que auspicia: Ciencias de la Ingeniería y Aplicadas

Proyecto de la investigación vinculado: Análisis de eficiencia en el proceso de secado solar de cacao mediante diferentes formas geométricas en el sistema de captación.

Equipo de trabajo: Liger Pereira Johnny Enrique

Miniguano Chanchicocha Diego Fernando

PhD. Ing. Enrique Torres Tamayo

Ing. Mg. Mauro Darío Albarracín Álvarez

Área de conocimiento:

07 Ingeniería, Industria y Construcción / 071 Ingeniería y Profesiones Afines / 073 Electricidad y Energía.

Línea de investigación:

Energías alternativas y renovables, eficiencia energética y protección ambiental.

Sublíneas de investigación de la Carrera:

Eficiencia energética en sistemas electromecánicos y uso de fuentes de energía renovables.

1. INTRODUCCIÓN:

1.1 EL PROBLEMA

1.1.1 Situación Problemática

Las energías renovables tales como la energía solar son un recurso ilimitado que se dispone en el mundo, el aprovechamiento de estas energías permite reducir la contaminación ambiental producida por los combustibles fósiles tales como el GLP que se usa para sistemas de calentamiento de aire, otra desventaja del uso de combustibles fósiles es el recurso económico ya que el combustible tiene un precio alto convirtiéndose en una limitante para los pequeños productores, el bajo rendimiento en los colectores solares se debe al deficiente aprovechamiento de las energías renovables como la radiación solar.

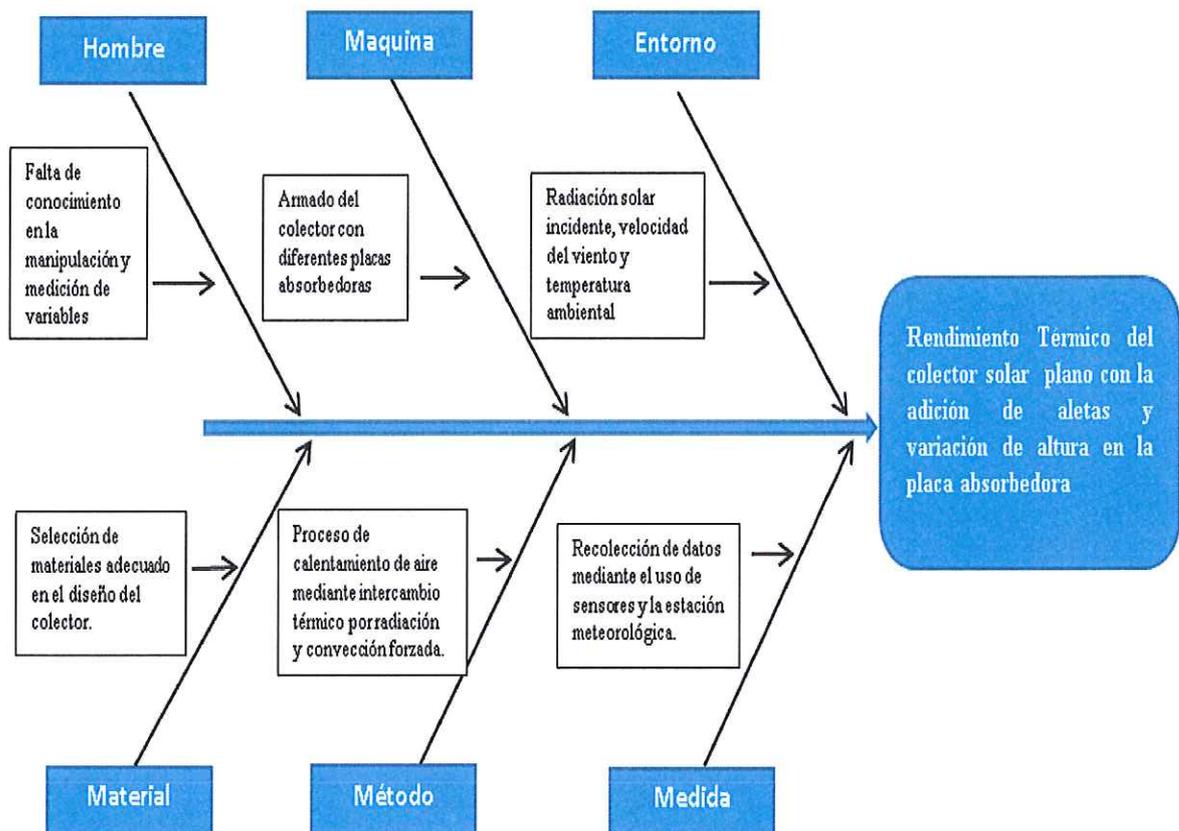


Figura 1.1: Diagrama de Ishikawa (Causa-Efecto)

1.1.2 Formulación del problema

El bajo rendimiento de los colectores solares de placas planas para el calentamiento de aire en régimen de convección natural y forzado, provoca el insuficiente aprovechamiento de la energía solar en procesos de secado de cacao.

1.2 OBJETO Y CAMPO DE ACCIÓN

1.2.1 Objeto

Proceso de calentamiento de aire en colectores solares.

1.2.2 Campo de acción

Rendimiento térmico de colectores solares.

1.3 BENEFICIARIOS

- **Directos:** El proyecto de investigación: Análisis de eficiencia en el proceso de secado solar de cacao mediante diferentes formas geométricas en el sistema de captación, y la comunidad universitaria.
- **Indirectos:** Los pequeños productores de secado de cacao.

1.4 JUSTIFICACIÓN

Se analiza la transformación de radiación solar en energía calorífica mediante el uso de colectores solares con diferentes modelos de placas absorbedoras (adición de aletas y variación de altura), con la recolección de datos se obtiene una visión clara sobre el rendimiento térmico de cada uno, y a la vez poder sacar una conclusión de cuál es la mejor manera de obtener energía calorífica mediante colectores solares.

1.5 HIPÓTESIS

Es posible el incremento del rendimiento térmico en colectores solares mediante la adición de aletas en la placa absorbedora, la variación de altura y el análisis de los parámetros de trabajo del colector.

1.6 OBJETIVOS

1.6.1 General:

Determinar el rendimiento térmico de colectores solares mediante la adición de aletas en la placa absorbadora, la variación de altura y el análisis de los parámetros de trabajo del colector.

1.6.2 Específicos:

- Analizar los fundamentos teóricos relacionados con los colectores solares para el calentamiento de aire.
- Establecer los parámetros de diseño y construcción para la adición de aletas en la placa absorbadora y la variación de altura en los colectores solares.
- Determinar el rendimiento térmico mediante pruebas experimentales y los parámetros de trabajo en los colectores solares.

1.7 SISTEMA DE TAREAS

Tabla 1.1: Tareas a cumplir

Objetivos específicos	Actividades (tareas)	Resultado de la actividad	Técnicas, Medios e Instrumentos
Analizar los fundamentos teóricos relacionados con los colectores solares para el calentamiento de aire.	<ol style="list-style-type: none">1. Recopilación de información sobre los diferentes tipos de colectores solares.2. Investigar los factores que influyen en el rendimiento de un colector según estudios	<ol style="list-style-type: none">1. Obtener una idea clara de cómo influye variar las condiciones de la placa absorbadora en el rendimiento térmico.	Uso de fuentes bibliográficas y artículos científicos.

	anteriores.		
Establecer los parámetros de diseño y construcción para la adición de aletas en la placa absorbadora y la variación de altura en los colectores solares.	<ol style="list-style-type: none"> 1. Descripción de los procedimientos de cálculos para el diseño y construcción de aletas que cumplan con los parámetros establecidos dentro de los fundamentos teóricos. 2. Dimensionamiento de aletas. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Conocer si con la adición de aletas la efectividad es superior a 2 con relación a la placa absorbadora plana convencional. 2. Construcción de las aletas que cumplan con los parámetros establecidos. 	Softwares de diseño y cálculo.
Determinar el rendimiento térmico mediante pruebas experimentales y los parámetros de trabajo en los colectores solares.	<ol style="list-style-type: none"> 1. Recolección de datos mediante el uso de sensores electrónicos. 2. Análisis del rendimiento térmico para determinar y establecer las 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Obtener datos climatológicos reales. 2. Conocer el modelo de colector solar que mejor rendimiento 	Softwares de diseño y cálculo, estación meteorológica, Anemómetro, Piranómetro, estación

	diferentes características de los colectores solares.	térmico obtenga.	meteorológica
--	---	------------------	---------------

2. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

2.1 ANTECEDENTES

La energía solar fue aprovechada durante muchos años atrás, siendo la cultura griega hace 2500 años la que diseñaba sus hogares para captar la radiación solar durante los inviernos [1].

La energía renovable en la actualidad juega un papel importante como energía alternativa ya que los combustibles fósiles están en agotamiento progresivo, con el uso de energía solar que procede del aprovechamiento de la radiación electromagnética que emite el sol, se puede utilizar en diferentes aplicaciones tales como la energía eléctrica o térmica mediante el uso de celdas fotovoltaicas o colectores térmicos [2].

Los combustibles fósiles para producir energía deben hacer combustión, de esta manera liberan gases tales como el dióxido de carbono, el óxido de azufre, el óxido de nitrógeno entre otros, al propagarse estos gases al ambiente contribuyen al efecto invernadero, lluvias acidas [2].

El uso de colectores solares para calentamiento de aire no es del todo nuevo. El primer caso se planteó en la década de 1880, cuando el famoso botánico y etnógrafo Edward Morse utilizó una caja caliente con el fin de calentar el aire. Morse percibió que al deslizar las cortinas oscuras detrás de las ventanas cuando hace sol, estos lugares se calientan mucho, creando corrientes de aire caliente entre ellas y los cristales, ¿por qué no aplicar el mismo principio para calentar una habitación o una casa? Como prototipo de su teoría, Morse construyó el primer dispositivo: solo una caja caliente adjunto a la pared sur, del edificio, con una ranura que permiten que circule el aire exterior y el aire caliente se distribuya para los dormitorios. A principios de 1882, el primer calentador de aire solar Morse está en el Museo

Peabody en Salem. Scientific American lo llama "perspicaz Aparatos que utilizan el calor de la luz solar para calentar nuestros hogares... Pero es tan sencillo e independiente que uno se pregunta por qué no se usó constantemente". A pesar de eso Publicidad y éxito práctico, sus ideas fueron olvidadas durante medio siglo [1].

2.2 MARCO REFERENCIAL

En la actualidad son necesarios los procesos de calentamiento de aire como el uso de calefacción para un sinnúmero de aplicaciones en la industria y la vida diaria, ya sea para el funcionamiento de un mecanismo, calentamiento de hogares, secado de granos, endurecimiento de algún material, fundición, reducción entre otros.

2.1.1 Calentamiento de aire por energías renovables

Para el calentamiento de aire por energías renovables en la actualidad existen diferentes tipos, es decir que las energías renovables son diversas como su manera de aprovecharlas siendo las siguientes: energía solar, fotovoltaica, eólica, biomasa entre otras.

2.2.1.1 Energía solar

Es aquella que utiliza toda la radiación directa, esto se refiere a la concentración de los haces de luz donde tiene una dirección precisa. La radiación solar depende mucho de las condiciones climáticas, si existe mucha nubosidad o partículas que pueden distorsionar no habrá suficiente radiación [3].

- La energía solar térmica puede ser usada para calentar el aire y formar un sistema de calefacción para las instalaciones, también obteniendo el calentamiento de agua para diferentes usos, para el secado de granos, para la preparación de alimentos.
- Energía fotovoltaica se usa para la generación de energía eléctrica.

2.2.1.2 Energía Eólica

Esta energía renovable para la calefacción es baja o deficiente, estas energías se instalan en lugares aislados y ventosos o corrientosos de aire.

Esta energía alternativa para la calefacción es de potencia mínima a 10kw, también para la generación de energía eléctrica con mini generadores o generadores eólicos. Un ejemplo en el Ecuador es la central eólica Villonaco.

2.2.1.3 Biomasa

La biomasa es la energía solar acumulada en diversos modelos, es decir, componentes vegetales y animales. Ya que su rendimiento es un medio de las calderas eléctricas, es utilizado en unión con otros sistemas, este sistema es usado en la calefacción a través de la combustión generando una llama que aumenta la temperatura del fluido, No es recomendable para calentar un espacio con rapidez o con bajas temperaturas [4].

2.2.1.4 Geotérmica

Este tipo de energía se consigue de la variación de la temperatura del interior de la tierra con el exterior, de esta manera sería la energía que esta almacenada en forma de calor en los suelos. Para el sistema de calentamiento con biomasa se ara por medio de una bomba geotérmica, que perciba el calor del interior del suelo para luego trasportarlo al interior de la cámara o lugar donde queremos calentar, mediante un sistema de radiadores [5].

2.2.2 Calentamiento de aire por energías no renovables

El calentamiento de aire mediante energías no renovables se basa en el uso de combustibles fósiles (gasolina, diésel, GLP), por medio del proceso de combustión, ejemplo bombas de calor, calefones, calderas entre otros.

Una de las grandes desventajas de estos calentadores de aire es la emisión de gases contaminantes al medio ambiente, por esta razón la mejor manera de contribuir con el medio ambiente es el uso de energías renovables.

2.2.3 Colectores solares

El colector solar es un instrumento diseñado para captar la energía emitida por el sol, posterior a ello es transformada en energía térmica.

Según J. Duffie y W. Beckman definen al colector como un sistema que sirve de intercambiador de calor para trasformar la energía producida por el sol en energía térmica [6].

La función térmica de los colectores solares depende de distintas variables estas pueden ser: climáticas, térmicas, ópticas y operáticas, a ello se suma el lugar y el momento en el que se utiliza el mecanismo [7].

Con el fin de entender el funcionamiento de los colectores solares térmicos, es indispensable conocer sus componentes, que principalmente constan de una placa absorbadora, una caja de aislamiento térmico y una cubierta de vidrio para producir el efecto invernadero. A continuación, se detalla sus componentes.

2.2.3.1 Placa absorbadora

La placa absorbadora está destinada a absorber la mayor cantidad de radiación solar y convertirla en calor y ceder el calor al fluido de trabajo. El material más utilizado para la construcción de este componente es la tubería de acero, tubos de plástico, cobre, aluminio. Toda el área de captación de ser de color negro mate y expuesto de manera directa al sol para emplear la radiación incidente.

2.2.3.2 Cubierta de vidrio

Por lo general, se usa un forro de vidrio o plástico para tapar la placa absorbadora de esa manera crear el efecto invernadero por dentro del colector. Esto permite que la radiación solar entre libremente, pero no se devuelva, manteniendo así la temperatura elevada en el interior.

2.2.3.3 Aislamiento térmico

La caja aisladora ayuda a reducir las pérdidas de calor a un valor diminuto. Estas bordean a la superficie de captación y están formadas de material aislante que tiene fajo coeficiente de conducción de calor estos pueden ser espumas, poliestireno expandido y lana de vidrio [3].

2.2.4 Transferencia de calor

La transferencia de calor busca llegar al equilibrio térmico transfiriendo energía calorífica de un cuerpo a otro. Existen tres formas por las que se puede transferir el calor estas pueden ser conducción, convección y radiación.

2.2.4.1 Conducción

Es un fenómeno que implica la difusión de calor entre dos cuerpos o partes del mismo cuerpo a diferente temperatura debido a la fluctuación térmica de las moléculas, esto no implica un desplazamiento real de las moléculas.

2.2.4.2 Convección

La convección es una forma de transferencia de calor entre una superficie sólida y el líquido o gas cercano que se encuentra en movimiento y combina los efectos de la conducción y el movimiento de fluidos.

2.2.4.3 Radiación

La radiación es una forma de transferencia de calor en forma de ondas electromagnéticas como resultado de la alteración en las configuraciones electrónicas de los átomos o moléculas [8].

2.2.5 Tipos de radiación

2.2.5.1 Radiación directa

Este tipo de radiación procede directamente del sol, atravesando la atmosfera sin cambiar su dirección. Este tipo de radiación se caracteriza por disparar una sombra específica de los objetos opacos que se cruzan.

2.2.5.2 Radiación difusa

La radiación recibida del sol habiendo cambios en su dirección por dispersión atmosférica, la que atraviesa las nubes del cielo de no existir esta radiación el cielo sería transparente.

2.2.5.3 Radiación terrestre

Es la radiación que se encuentra por elementos terrestres es decir la que se refleja como en el mar, paredes suelos.

2.2.5.4 Radiación total

Es la adición de la radiación directa, difusa y terrestre que está en la superficie.

2.2.5.5 Radiación global

Es la radiación incidente total que está sobre la superficie horizontal, que es igual a la adición de la radiación directa y la difusa.

2.2.5.6 Irradiancia

La emisión depende del sol y de la dirección e inclinación de la superficie donde inciden los rayos. Un panel solar es un ejemplo de superficie plana donde inciden los rayos y para que tengan suficiente energía deben estar orientados e inclinados correctamente.

2.2.5.7 Irradiación

Radiación incidente durante un período de tiempo en una superficie específica, la unidad es Wh/m² [9].

2.2.6 Tipos de colectores

Los colectores solares se dividen en dos grandes grupos:

- **Colectores solares sin concentración**
- **Colectores solares con concentración**

2.2.6.1 Colectores solares sin concentración

Son aquellos colectores que llegan a los 70 ° C, por esta razón son aplicados en sistemas de energía solar térmica de baja temperatura. Son aplicados en la instalación de agua caliente sanitaria como en el de secadores de granos. Estos se dividen en los siguientes colectores.

a) Colectores de placa plana

Los colectores planos consisten en una placa absorbente que está revestida y protegida por un vidrio solar que absorbe la radiación solar. Hay aislamiento en la parte delantera y trasera de la carcasa plana del colector para reducir la pérdida de calor como se aprecia en la figura 2.1 [10].

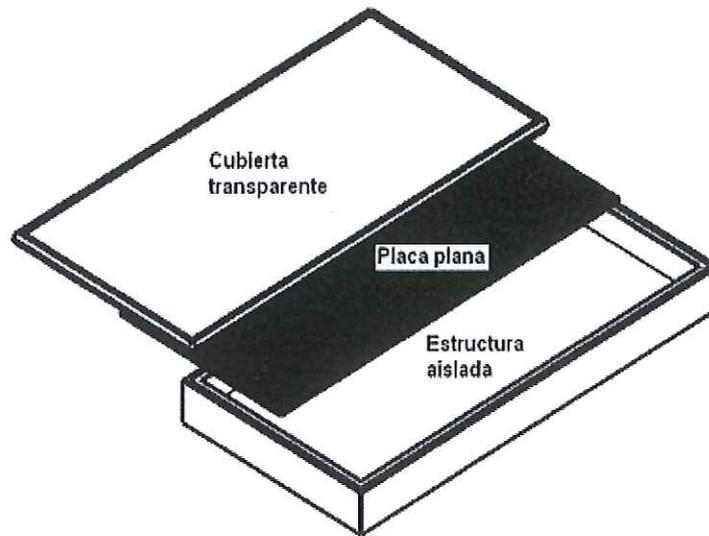


Figura 2.1: Colector de placa plana [10].

b) Colectores de aire

En su aspecto más sencillo está formado de una lámina de vidrio o de un material transparente en la parte superior una placa absorbente que actúa como cuerpo negro para atraer el calor y una estructura de soporte de los elementos aislados térmicamente. El efecto de la energía solar pasa por el vidrio y queda atrapada entre el espacio entre la placa y la tapa. Una de sus aplicaciones es para la calefacción de aire para secado de productos agrícolas.

c) Colectores de vacío

Los captadores de vacío tienen sus principales aplicaciones en regímenes de temperatura media y en lugares fríos donde existe una gran diferencia entre la temperatura del captador y la temperatura ambiente, donde se produce una mejora significativa en la eficiencia del captador, pudiendo compensar el sistema el aumento de costes derivado de su usar. Estos dispositivos tienen una doble envolvente que se encuentran cerrados herméticamente, sobre esta cubierta se produce el vacío, de esta manera se puede minimizar las diferentes pérdidas por convección como se muestra en la figura 2.2 [11].

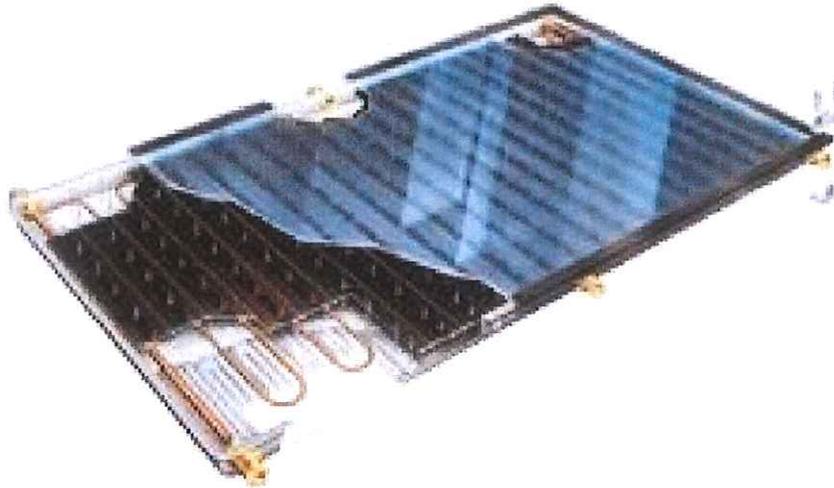


Figura 2.2: Colector solar plano de vacío [11].

d) Tubos de calor

Este mecanismo está formado por dos tubos concéntricos, el tubo que se encuentra en la parte interior debe ir con un tipo de pintura especial para captar de mejor manera los rayos del sol, que el tubo que se encuentra en la parte exterior como se aprecia en la figura 2.3 [12].

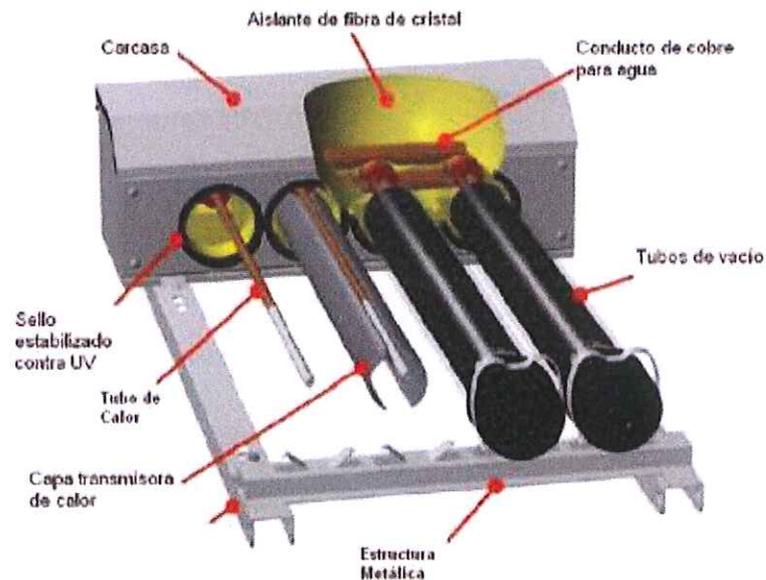


Figura 2.3: Colector con tubos de calor [12].

e) Captadores cónicos o esféricos

Está formado por dos partes principales que son la unidad de captación y la unidad de almacenamiento.

2.2.6.2 Colectores solares de concentración

Funcionan a partir de la captación de calor por medio de espejos y diferentes superficies geométricas que son desarrolladas a través de planchas pulidas, de esta manera permiten aprovechar los rayos del sol en todo momento y se concentran en un punto específico, posterior a ello se consigue elevar las temperaturas del fluido ocupado.

Se dividen en los siguientes tipos:

a) Concentradores cilíndricos

El área reflectora de los rayos emitidos por el sol es la mitad de un cilindro [13].



Figura 2.4: Instalación experimental del Centro CIEMAT de Tabernas [13].

b) Concentradores paraboloides

Estos concentradores poseen la superficie reflectora con la forma de un paraboloide de revolución. Su uso principal es para la captación de calor para la alimentación de un motor Sterling posterior a ello permite el movimiento de un generador.



Figura 2.5: Concentrador de calor paraboloides para alimentar un motor de calor Stirling [13].

c) Concentradores de torre

Este mecanismo funciona a través de una torre donde se encuentra instalada una placa receptora especial (helióstatos), que colecta el calor del sol, de esta manera pueden transferir el calor al fluido utilizado como se puede visualizar en las figuras 2.6,2.7 [13].



Figura 2.6: Distintos tipos de colectores [14].

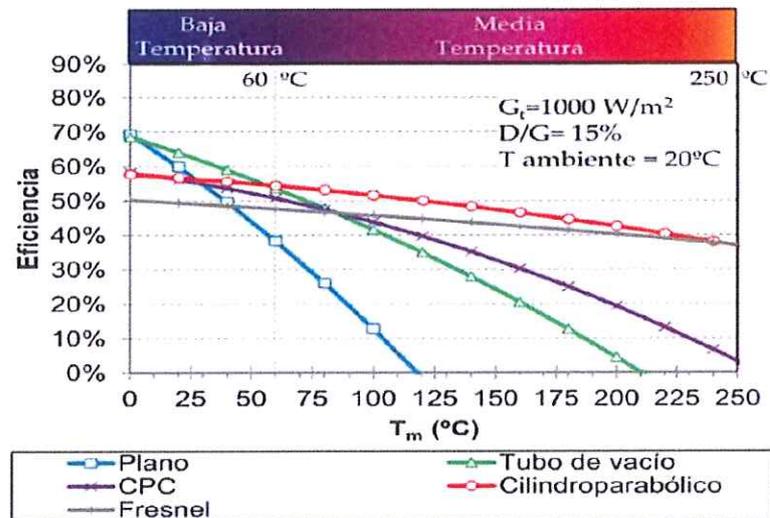


Figura 2.7: Eficiencia de distintos tipos de colectores [14].

2.2.7 Aplicaciones específicas de los colectores solares

Estos dispositivos pueden ser ocupados de la siguiente manera:

- Calefacción de agua para el consumo domestico
- Calefacción de agua sanitaria
- Calefacción de aire para confort humano
- Refrigeración
- Producción de energía mecánica, posterior a ello obtención de energía eléctrica a través de la misma.

2.2.8 Clasificación de los sistemas de acuerdo a la temperatura que se desee para una aplicación en específico:

- **Alta temperatura:** Son aquellos sistemas que generan temperaturas superiores a los 0 y 250 °C, son aplicados en plantas industriales de generación de vapor.
- **Media temperatura:** Estos dispositivos tienen como finalidad calentar un fluido entre 80 y 250 °C para instalaciones en sistemas industriales.
- **Baja temperatura:** Estos dispositivos no alcanzan temperaturas superiores a 80 °C y son empleados en instalaciones residenciales y hoteleras, para calefacción de agua sanitaria y climatización de piscinas [15].

2.2.9 Técnicas para aumentar la temperatura en un colector solar

Uno de los grandes inconvenientes en la temperatura que circula por dentro de los colectores solares son las pérdidas térmicas, una de las más importantes es las producidas por la convección que se da por el aire, a continuación, se detalla unas tecnicas para aumentar la temperatura en los colectores solares:

a) Barreras anticonvectivas

Si las máscaras se colocan de forma paralela a la superficie, la radiación reflejada que emerge de la superficie es absorbida a través de la cubierta exterior; Mientras que, si se coloca verticalmente, la radiación se dirige hacia la placa absorbedora y no existe perdida. Por otro lado, dado que las secciones se pueden hacer muy delgadas, esto se puede evitar absorción por tramos con resultado neto la transferencia de energía solar se convierte en el aislante térmico muy alto. Tomando en cuenta que las particiones verticales están debidamente diseñadas, para suprimir o minimizar las corrientes de aire de convección natural. Si son transparentes se debe usar una superficie selectiva en la placa absorbedora, y las secciones verticales simplemente evitarán o reducirán la convección. Formas de barreras anticonvectivas, las cubiertas transparente horizontales (a) y los correspondientes verticales (b) [16]. En la figura 2.8 se puede apreciar formas de barreras anticonvectivas.

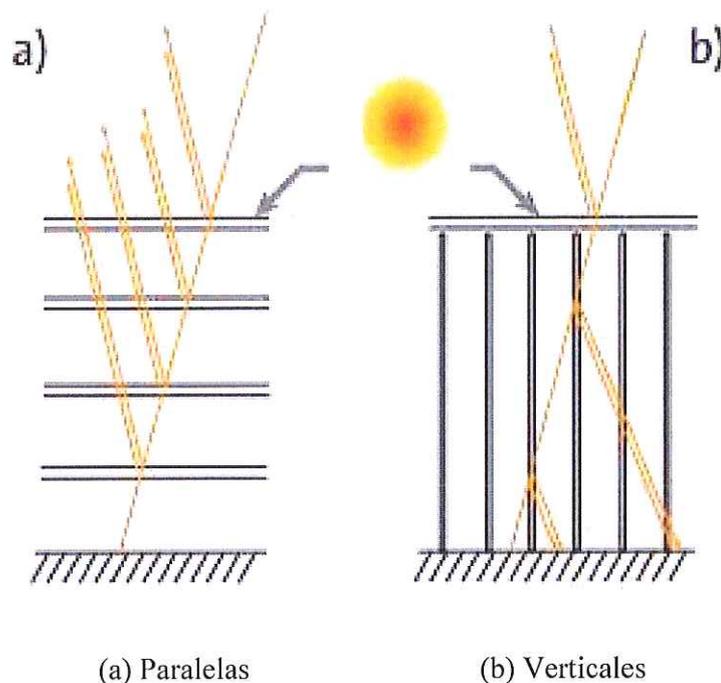


Figura 2.8: Formas de barreras anticonvectivas [16].

b) Disminución del contenido del aire interior

Otra alternativa para reducir las pérdidas por convección del aire, se basa en disminuir el contenido de aire en las inmediaciones del colector solar. Este tipo de mecanismo es conocido como captador tubular de vacío [17].

c) Superficies extendidas (Aletas)

Una opción es incrementar el área superficial de la placa absorbadora, al añadir superficies extendidas también conocidas como aletas, son fabricadas de material de gran conductividad térmica como el aluminio, cobre entre otros. De esta manera se aumenta la transferencia de calor desde cualquier superficie al poner un área mayor a la convección o la radiación [18].

2.2.10 Trayectoria del flujo de aire de colectores solares

El aire puede fluir a lo largo de superficies planas y onduladas cuadrado, rectángulo, triángulo, trapecio, ondulado, aleta, entre otros, con uno o más escalones, cruz estructura superpuesta, chapa o material perforado con una matriz porosa, como fibras naturales o minerales. El ventilador controla la dirección del flujo de aire y aumenta la transferencia de calor, y el ventilador tendrá energía suficiente para superar y lograr varias caídas de presión distribuido uniformemente en todo el sistema de calefacción solar.

Hay diferentes formas de trayectoria del flujo de aire los más comunes son:

El aire circula entre el vidrio y la placa absorbadora. De esta manera la eficiencia es baja, producto de la elevada transferencia de calor a la cubierta o vidrio. Pero tiene la ventaja de que la construcción es fácil y no tiene elevados costos sus materiales. Cuando se tiene una única superficie de transferencia, las pérdidas térmicas son altas debido a la elevada diferencia de temperatura entre la placa absorbadora y el aire. Con el empleo de las dobles cubiertas se puede reducir estas pérdidas, pero a la par baja la porción de radiación incidente. En la siguiente ilustración podemos apreciar el paso del aire entre la cubierta y la placa absorbadora en el colector en la figura 2.9 se muestra el diagrama de la circulación del aire entre el vidrio y la placa absorbadora [16].

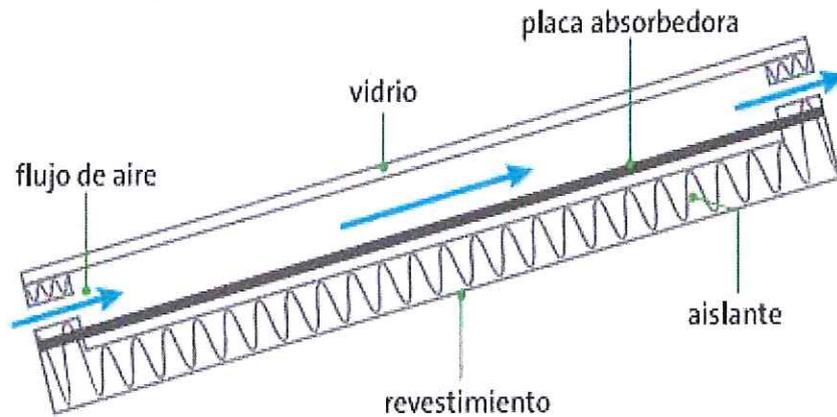


Figura 2.9: Circulación del aire entre el vidrio y la placa absorbedora [16].

La circulación del aire va por debajo de la placa absorbedora y entre el aislamiento térmico. La capa de aire formada entre la placa absorbedora y el aislante suministra un aislamiento que posibilita que aumente el área superficial al flujo de aire. Una superficie se utiliza como zona efectiva de transferencia de calor. Este modelo de flujo es probablemente la solución más popular y a menudo se aplica a diversos tipos de placa absorbedora. En la siguiente figura se ilustra la circulación del aire entre el aislamiento térmico y la placa absorbedora, como se aprecia en la figura 2.10 [16].

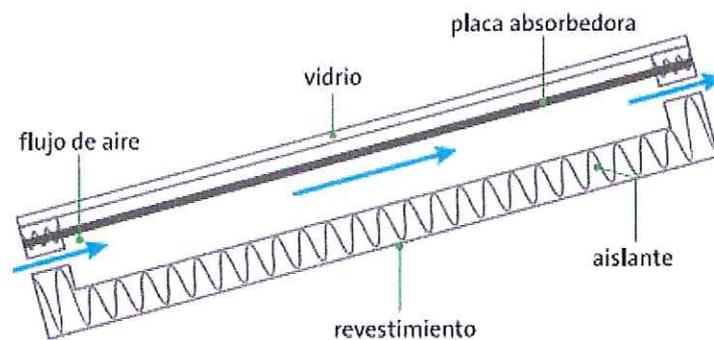


Figura 2.10: Circulación del aire entre la placa absorbedora y el aislamiento térmico [16].

El aire fluye en ambos lados del absorbedor, Estos modelos es aplicable a sistemas donde se puede aplicar el precalentamiento del aire exterior. En este caso, la eficiencia es menos cuando es mayor la diferencia entre la temperatura de la placa absorbedora y el entorno. En la siguiente figura se muestra la corriente de aire dentro del colector solar en los dos lados de la placa absorbedora en (a) en flujo paralelo y (b) en un doble paso, tal como está detallada en la figura 2.11 [16].

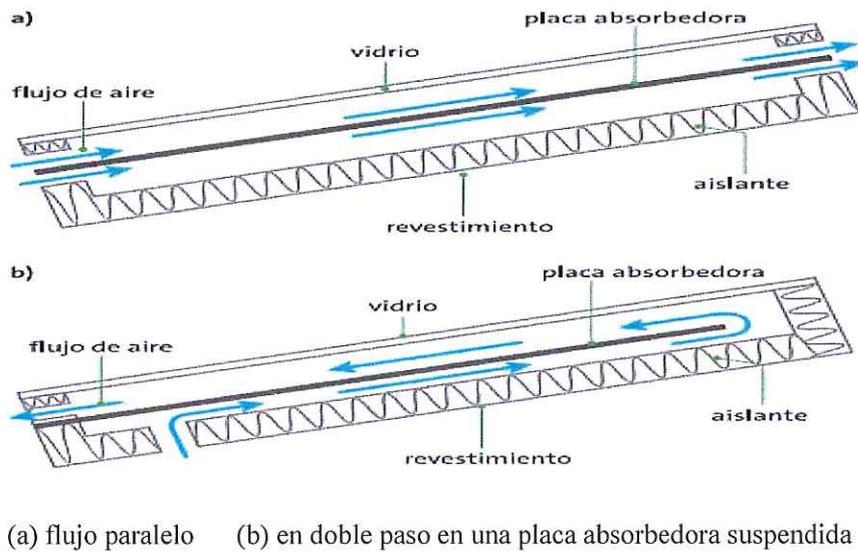


Figura 2.11: Circulación de aire de los dos lados [16].

El aire pasa a por un absorbente poroso o perforado. Por lo general, están hechos de un material absorbente muy poroso, como una gasa negra o viruta de madera. Por consecuencia de su porosidad, se produce un aumento de superficie transferencia de calor entre el aire y la placa absorbente. En este caso, se produce una fuerte disminución de la presión y depende de las condiciones del aire ambiente (polvo o contaminación), el absorbedor puede obstruirse. En la siguiente figura se muestra la circulación del aire a través de una placa porosa o perforada, así se aprecia en la figura 2.12 [16].

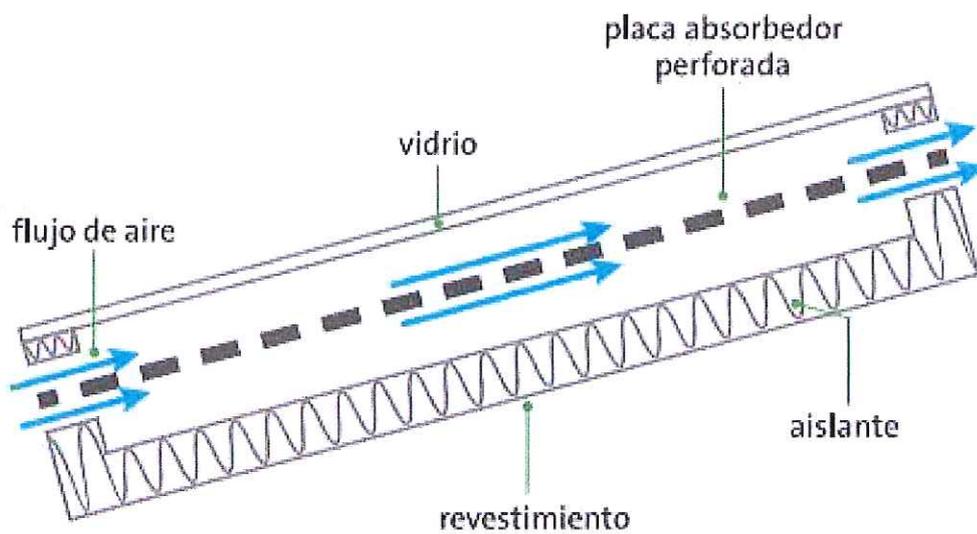


Figura 2.12: Captador de aire para calentamiento de aire con cubierta y placa perforada [16].

La siguiente investigación presenta un modelo de colector de placa plana con diversas características como una placa colectora de aluminio de 1 mm de espesor, sus dimensiones son 1200 mm *500 mm, recubrimiento de pintura negra opaca; utiliza una cubierta de vidrio de ventana normal y espesor de 4 mm. El material de aislamiento está conformado de planchas de madera, el aislamiento trasero es de 30 mm y el lateral de 15 mm los cuales servirán para evitar las pérdidas posteriores y laterales, las superficies extendidas o aletas (20) están constituidas de aluminio, con dimensiones de 100 mm de longitud, 50mm de diámetro exterior y 48 mm de diámetro interior; de esa manera obtiene un mayor rendimiento el colector de placa plana con aletas cilíndricas, a diferencia del colector de placa plana convencional, como se aprecia en el esquema de la figura 2.13 [19].

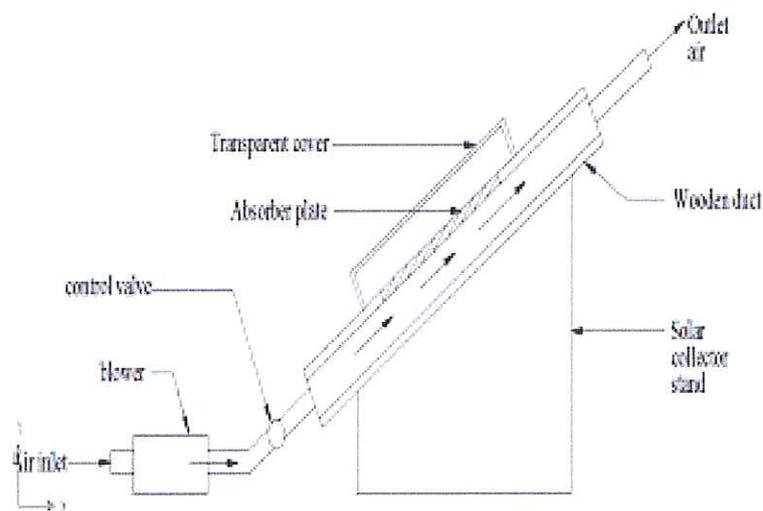


Figura 2.13: Vista esquemática del calentador de aire solar [19].

El estudio realizado presenta el proyecto presenta el diseño y el análisis de un captador solar de paso solar simple con placa absorbadora porosa. Esta constituido de la siguiente manera: el colector posee una carcasa de plancha galvanizada con dimensiones de 2.4m * 0.4, 0.1m de alto; El aislante está conformado de lana de vidrio con 25 mm 25 mm de espesor, una cubierta de policarbonato alveolar de 4 mm de espesor ,la placa absorbadora está formada de una malla metálica pintada de negro mate con dimensiones de 0.7 m * 0.98 m; Obtuvo una eficiencia térmica máxima del 64%, caudal óptimo de flujo de 0.0641 kg/s a medio día, una variación de temperatura (entrada-salida) de 25 °C; así se aprecia en la figura 2.14 [20].

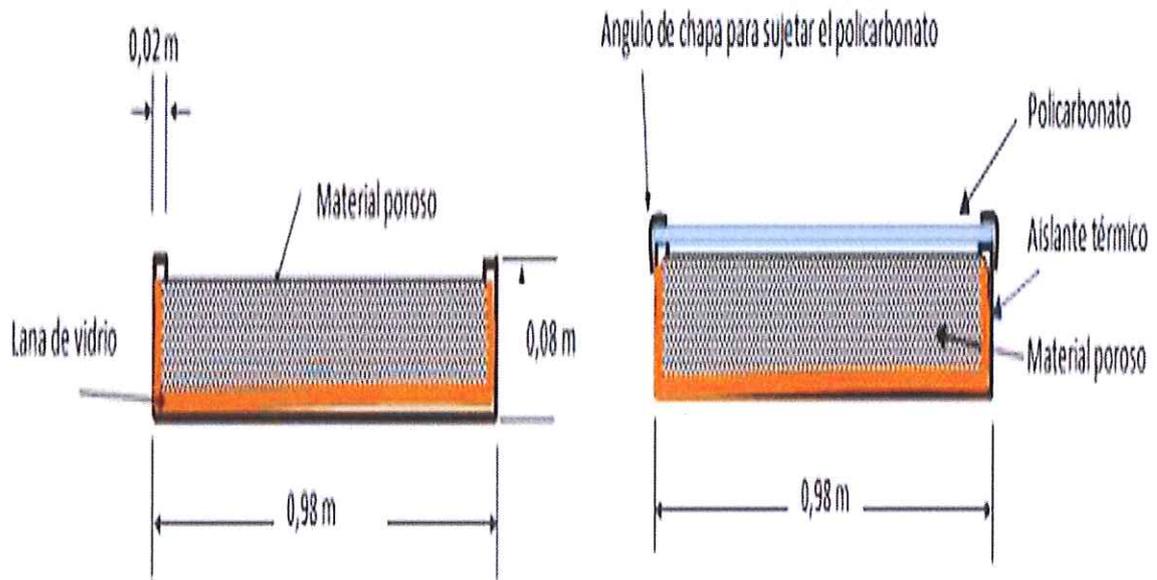


Figura 2.14: Esquema y elementos constituyentes del colector solar [20].

La publicación propuso un prototipo, con dimensiones 2.51 m * 0.95 m con una área de 2.16 m² de apertura solar, Posee las siguientes partes: Caja de soporte que está fabricada de plancha galvanizada y con material de aislamiento de lana de vidrio de 5 cm de espesor en la parte posterior y 2cm en cada parte lateral del colector , una placa absorbadora pintada de negro mate y de material galvanizado con rugosidad, Aplicaron una cubierta de policarbonato alveolar transparente de 6mm de grosor teniendo en cuenta sus excelentes propiedades ópticas , como también su resistencia. Cuando el aire se mueve la placa absorbente finalmente eleva su temperatura hasta llegar al extremo opuesto donde hay una curva, se redirige para que fluya en sentido contrario (aguas arriba) por el fondo de la placa, continuando ascendiendo su temperatura El aire de entrada y salida se realiza a través de conductos de sección circular perpendiculares a la placa absorbadora, como se aprecia en la figura del esquema, para simplificar la interconexión entre los colectores y la edificación a partir de las paredes que se orientan al norte. Como los dos agujeros están en el mismo extremo del colector, se reduce la longitud de los tubos y la pérdida de calor a través de ellos, como se detalla en la figura 2.15 [21].

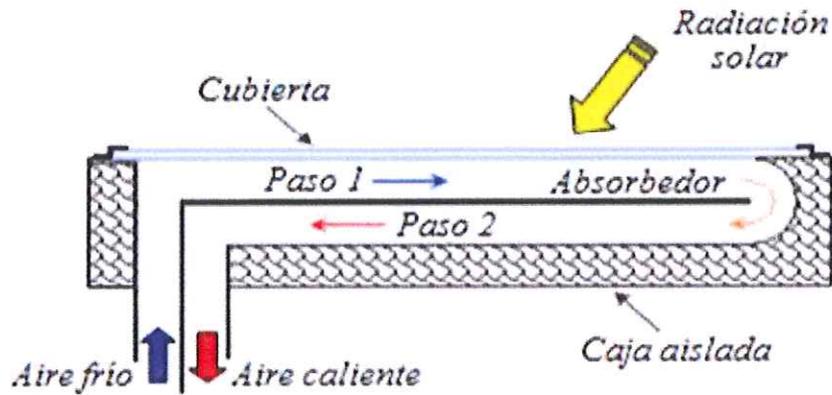


Figura 2.15: Esquema del colector de doble paso en contra corriente [21].

En el siguiente estudio, realizaron un prototipo experimental, que se trata de un colector solar de aire, con un ventilador y conductos de aire, las dimensiones del prototipo son una inclinación de 45 grados del colector solar de aire, Esta diseñado de una caja rectangular de $L=2000\text{mm}$ de altura, $l= 1000\text{ mm}$ de ancho y 100 mm de espesor. Tiene un ducto de respaldo por la placa absorbidora por donde fluye el aire, utilizaron una placa negra de 0.5 mm de grosor como placa absorbidora, eficiencia de la placa del 0.95 . Una placa plana galvanizada de 0.6 mm y una placa aislante de poliestireno de 2000 mm de altura, 1000 de ancho y 40 mm de espesor que posee una conductividad térmica de 0.37 W/(m.k) . La distancia entre aletas a cada lado y la altura es de 120 y 300 mm respectivamente de las aletas y 6 mm de grosor con una longitud de 1880 mm , como se aprecia en la figura 2.16 [22].

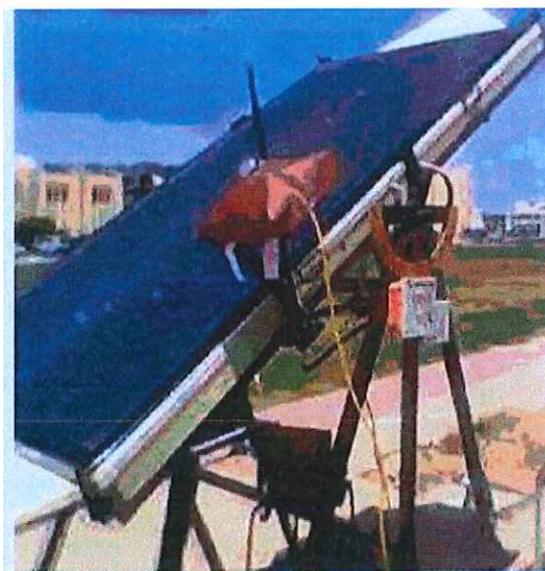


Figura 2.16: Montaje experimental del colector [22].

El siguiente colector está constituido de una manera donde el aire ingresa y se separa por medio de diferentes canales para recorrer la trayectoria del colector al llegar al final por una configuración de campana el fluido se vuelve a concentrar. El colector tiene una placa absorbidora corrugada en forma de v para la radiación posee un vértice de 90° , cuando se corruga la placa absorbente se aumenta el área de contacto y eso le hace más eficiente que una placa plana.

Para la construcción del colector se utilizó los materiales de costos más accesibles en toda la región. Para la estructura se usó madera de pino, en la parte interior se colocó una lámina reflejante de aluminio de 0.2mm de espesor, para la placa absorbidora usaron acero inoxidable galvanizado de 0.8 mm de espesor a su vez pintado los dos lados con pintura negra mate resistentes a altas temperaturas con una absorción de 0.90. La cubierta transparente está constituida de policarbonato alveolar de 6 mm de espesor, usan un aislante de poliestireno de 5 mm de espesor. El colector tiene la entrada en forma de boquilla de poliestireno de área transversal de 2 cm x 65 cm. Se acopló un tubo PVC de 80 mm de diámetro que está recubierto de aluminio de 0.2 mm para la salida del aire. En la carcasa está fabricada de plancha galvanizada de 3mm.

La intensidad solar varía en todo el día siendo a mediodía cuando alcanza su punto más alto, se debe tomar en cuenta que los cambios en la variación incidente tienen estricta relación con los demás parámetros. Se contempla que la placa absorbente y la salida al inicio y al final del periodo de medición tienen a aproximarse mucho en cuestión de temperatura, mientras que al medio día la diferencia entre estas dos aumenta 7.6°C . Por motivo de los vientos que circulan a un promedio de 3m/s por las tardes la temperatura ambiente y la temperatura de entrada del aire presentan una aberturas, en la figura 2.1 se muestra un colector solar de calefacción de aire instalado [23].



Figura 2.17: Colector solar de calefacción de aire instalado [23].

En el siguiente artículo se presenta un colector solar que es de flujo de paso simple con medio poroso y un absorbedor y cubierta de policarbonato alveolar en la parte superior.

Este prototipo tiene unas dimensiones de 0.95 m de ancho, 2.10 m de largo y 0.1 m de alto. Mediante viruta de acero de color obscura reciclada se formó el material poroso. Con el objetivo de mitigar las pérdidas de calor radiactiva que se da por la cubierta transparente, decidieron no añadirle pintura negra en la matriz porosa con el fin de captar su baja emitancia infrarroja que es conveniente en una superficie selectiva caliente. El prototipo está formado en gran parte por acero al carbón AISI 1045, de color azul oscuro. Con un bajo porcentaje de cromo molibdeno AISI 4140, de color plateado. El absorbedor posee una longitud de 1.65 m aproximadamente y su alto 3 cm. Una parte interna del cuerpo colector va pintada de negro. La longitud sumada entre el material poroso más pequeño con la longitud pintada de negro, da 1.98 m. El área total de colección es de 1.8 m^2 .

Tiene un aislante térmico formado por lana de vidrio y la cubierta es de policarbonato alveolar tiene un espesor de 6 mm.

El aumento de temperatura en condiciones habituales a lo largo del colector fue de 15 y 21 °C. Se llegó a la medición de 59 °C como temperatura máxima cuando la temperatura de entrada fue de 36 °C. Los valores de energía útil recopilados en promedio fueron de 23 MJ; 20.2 MJ y 19 MJ Para tanto el flujo mayor como los dos menores flujos que se ensayaron correspondientemente. Los valores son altos debido al excelente contacto térmico que existe entre el aire circulante y el medio absorbedor formado por la matriz porosa, que es caracterizada

como una superficie extendida selectiva caliente. Se llega a unos valores de eficiencia térmica diaria de 54% y 60% del prototipo desarrollado de esta manera se puede operar con un flujo másico superior a los 0.05 Kg/s [24].

En la siguiente investigación se presenta un colector solar de aire que es usado para un sistema de secado, que fue diseñado con su cámara de secado uniformemente. La placa absorbidora está formado de una placa de zinc, que fue pintada de negro mate y con una cubierta de vidrio transparente de 5 mm de espesor. Entre estas superficies pasa un canal de flujo de aire, que tiene su sección transversal de 0.90m de ancho y 0.15 m de altura.

La carcaza del colector esta armada de placas de galvanizado, con un aislamiento térmico en los laterales con poliestireno expandido, mientras que en la base es un aislamiento combinado de poliestireno expandido de alta densidad y aire estanco.

El rendimiento térmico logrado se considera muy satisfactorio. El buen comportamiento se debe a la importancia de la estanqueidad y aislamiento para el que está diseñado.

Con el aumento del número de Reynolds beneficia le eficiencia, pero para el propósito de secado, tenemos que encontrar una solución. Por su efecto en la disminución de la temperatura del aire a la salida del sensor, en la figura 2.18 se aprecia lo antes mencionado [25].



Figura 2.18: Sección transversal del colector [25].

2.2.11 Descripción del objeto de estudio

Una vez que se ha identificado de una manera detallada las características y funcionalidad de los colectores solares, se ha escogido el colector de placa plana, el mismo que servirá de objeto de estudio para la investigación experimental que se va a detallar posteriormente.

Se escogió el colector solar de placa plana ya que es un mecanismo que aprovecha la energía solar y la trasmite a un fluido en este caso el aire. Este colector tiene la ventaja de ser sencillo de fabricar, tener larga vida útil y tener un costo accesible, trabaja con radiación directa y difusa [26].

2.2.12 Componentes del colector solar de placa plana

En los colectores solares de placa plana se pueden detallar los siguientes elementos.

2.2.12.1 Placa absorbadora

Es el elemento fundamental del colector encargada de convertir la radiación solar incidente en calor, para de esta manera calienta el aire.

Los metales como el cobre, aluminio y el hierro son usados gracias a sus buenas propiedades térmicas, por eso se escogen estos metales para la fabricación de la placa absorbadora.

2.2.12.2 Cubierta transparente

Está cubierta puede ser de diferentes materiales, que sean transparentes es una de las características principales, va instalada en la cubierta al frente de la placa absorbadora, es en este elemento que actúa la radiación solar. Esta cubierta se encarga de producir el efecto invernadero mientras minimiza las pérdidas por convección.

Una cubierta transparente adecuada por su durabilidad y por su costo relativo es el vidrio, normal o templado. También se utiliza plásticos entre ellos el policarbonato en placa, o el acrílico solo que este se deteriora con el tiempo, por lo que puede agrietarse por algún impacto o por la expansión de altas temperaturas. Los materiales plásticos tienen una desventaja que se dañan por la radiación ultravioleta o por las altas variaciones de temperatura por lo que debe protegerse de la contaminación del medio ambiente, la condensación y la humedad relativa.

2.2.12.3 Aislamiento térmico

Su objetivo principal es evitar las pérdidas de energía que es captada por el colector. Este aislamiento se coloca entre la carcasa y la placa absorbadora en las partes laterales y posteriores del colector, estos aislantes deben tener alta resistencia al calor a la humedad.

Los elementos más usados para aislantes por sus propiedades son, lana de vidrio, poliestireno, espumas plásticas, poliuretano se deben proteger de la exposición directa a la radiación ultravioleta, en algunos casos de temperaturas altas ya que se puede fusionar y provocar fuga de gases.

2.2.12.4 Carcasa

Para las carcasas se pueden usar diversos materiales ya sea madera, metal, o fibra de vidrio. La carcasa va a estar expuesta a la intemperie por largo tiempo, y se deben dar los mantenimientos adecuados para aumentar la vida útil. A las carcasas de acero, se les cubre para evitar la corrosión y a la madera se debe pintar con pinturas de exteriores [27].

2.2.12.5 Soplador

Es el encargado de distribuir el fluido hacia la salida del colector para sus diversas aplicaciones como secado de granos, calefacción de aire entre otras; a una cierta velocidad para poder conservar el fluido caliente, caso contrario a una alta velocidad lo que provocaría sería enfriar ese fluido.

2.2.12.6 Soporte

Se trata de una estructura metálica diseñada para sostener los colectores, estos soportes permiten graduar el grado de inclinación y la orientación a los que van a estar sometidos los colectores solares, para el mejor aprovechamiento de la energía solar.

Por lo tanto, sostener los colectores solares realiza una doble tarea. Por un lado, es mecánico, con adecuado acoplamiento y estabilización, por otro lado, tiene una tendencia ideal para aprovechar al máximo la radiación solar.

Estos soportes deberán ser diseñados de acuerdo a las condiciones del entorno donde vayan a ser instalados los colectores solares. Ejemplo:

- En lugares con fuertes vientos, será necesario aumentar la cantidad de tornillos y fortalecer la estructura.
- La estructura de soporte tendrá que soportar este aumento de carga. Similar al caso del viento, existe un efecto provocado por la nieve, que aumenta la sobrecarga de la estructura, y el peso que debe soportar la estructura es mayor.

- En este caso, se suele introducir una pendiente mayor para evitar su acumulación. El ambiente salino (cerca de la costa, por ejemplo) afectará el tipo de materiales utilizados en su construcción.

Los soportes son fabricados de diferentes materiales entre los más utilizados son:

1. **Aluminio.** Es fácil de trabajar, duradero y liviano. Debe ser aluminio anodizado, ya que es más resistente a la corrosión, y se ve mejor que el acabado rugoso estándar.
2. **Hierro.** Vienen en muchos tamaños, formas y grosores diferentes. Debe someterse a un proceso de galvanización para darle propiedades resistentes a la corrosión. La superficie de este tanque esmaltado debe tener al menos 100 micras de espesor para brindar una protección óptima.
3. **Acero inoxidable.** Es ampliamente utilizado en ambientes salinos. Si se utiliza la construcción de este material, se debe tener en cuenta que, si el marco del módulo solar es de aluminio, se debe evitar el contacto directo entre los dos materiales aislantes, ya que estos dos materiales generan una gran cantidad de corrosión, especialmente en ambientes salinos.

2.2.13 Funcionamiento de colector de placa plana

Una vez que se ha identificado los componentes de los colectores de placa plana, se puede describir sus operaciones de una manera más sofisticada; y a la vez las características del prototipo a construir. Funciona en base a la transferencia de calor ya que transforma la radiación solar en energía térmica, se puede resumir de la siguiente manera:

- La radiación solar entra en contacto directo con la cubierta, la que se ha dicho es transparente y da paso a la radiación de onda corta en su totalidad, la irradiación atraviesa el vidrio hasta llegar a la placa de captación para actuar en el flujo que se utiliza en la cámara del colector.
- La radiación solar cae sobre la placa absorbadora que se calienta, la energía se transfiere por conducción al fluido que circula dentro de la habitación, y el fluido de transferencia de calor puede ser aire, agua, mezcla, compuesto líquido, refrigerante según sea necesario.
- Para lograr el efecto conservatorio, se crea una cavidad de circulación de aire entre la lámina de vidrio o plástico transparente y la placa absorbadora, la distribución de aire y

a la vez para conservar ese aire caliente a la salida del colector se lo realiza mediante un soplador a una cierta velocidad.

- Para disminuir las pérdidas locales se introduce un aislamiento térmico que puede ser de diferentes tipos como lana de vidrio, poliuretano, en las partes laterales y posterior del colector, por otra parte, en las uniones en donde se sella el colector se fija con sellos herméticos para evitar la pérdida de convección entre la cámara interior y el aire circundante, como se detalla en la figura 2.19 [28].

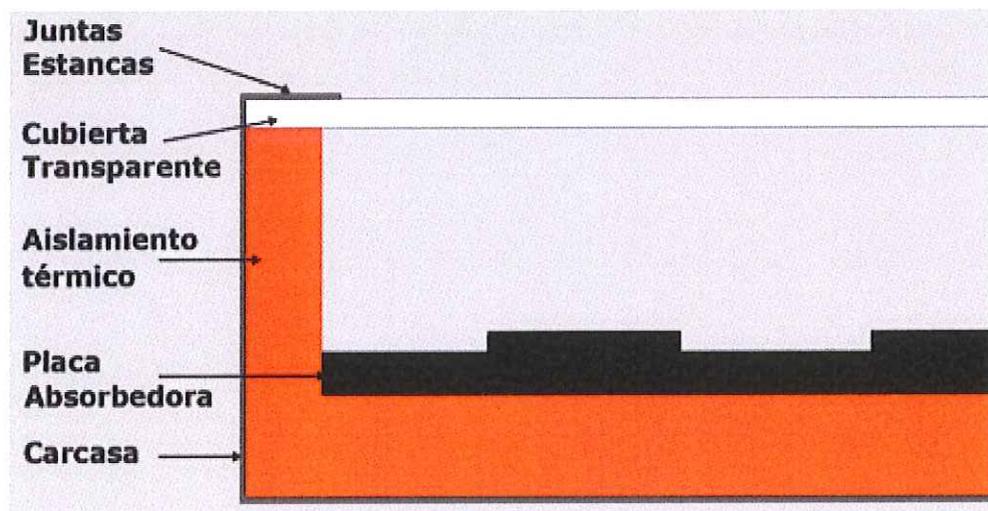


Figura 2.19: Elementos que constituyen un colector de placa plana [29].

3. DESARROLLO DE LA PROPUESTA

3.1 METODOLOGIA

Tabla 3.1: Variables dependientes e independientes

Variable dependiente	Variable independiente
Temperatura de salida (Rendimiento térmico)	Radiación solar Temperatura ambiente

3.1.1 Diseño y construcción del colector de placa plana

Para la construcción del colector de placa plana se tiene en cuenta diversos aspectos como la rentabilidad, aspecto económico y viabilidad.

3.1.1.1 Cubierta

La cubierta del colector está compuesta de vidrio transparente, para el espesor se tomó en cuenta de las investigaciones realizadas que ocupaban entre 3 - 6 mm.

En la figura 3.1 se puede observar el vidrio transparente.

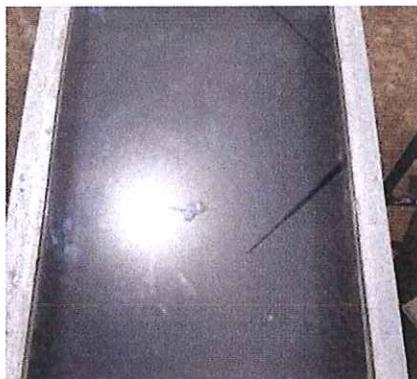


Figura 3.1: Vidrio transparente

3.1.1.2 Aislamiento térmico

Se seleccionó como material para aislante de poliuretano debido a sus diferentes características, entre ellas una de las más importantes su baja conductividad térmica a (0,036 W/m. K), el encargado de disminuir las pérdidas locales.

En la figura 3.2 se aprecia el aislante de poliuretano.



Figura 3. 2: Aislante de poliuretano

3.1.1.3 Placa absorbadora

Para la elección del material para la investigación experimental, se basó en dos aspectos muy importantes, primeramente, que sea de material inoxidable y segundo que posea una buena conductividad térmica; de color negra con pintura electrostática para una mejor captación de los rayos solares y no se haga burbuja la pintura (mate).

En la figura 3.3 se puede observar la placa absorbadora.



Figura 3.3: Placa absorbadora

3.1.1.4 Aletas

Para la construcción de aletas para la placa absorbadora se realizó del mismo material de la placa absorbadora, de aluminio con diferentes dimensiones las mismas que serán detalladas posteriormente.

En la figura 3.4 se puede observar el modelo de aletas triangulares.

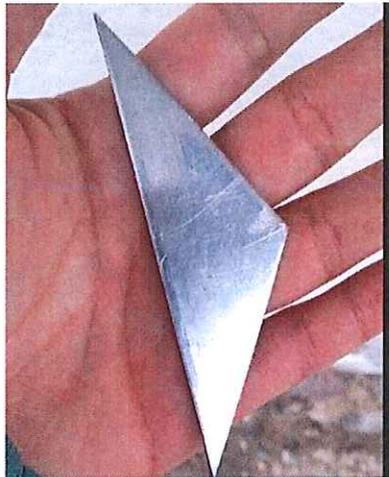


Figura 3.4: Aleta triangular

3.1.1.5 Soplador

Para la selección del soplador se basa en dos aspectos importantes, en primer lugar, se debe tener en cuenta que se necesita la presencia de aire seco con ninguna presencia de humedad relativa, y otro aspecto es por la razón de la manera de poder manipular la velocidad del aire, para en el análisis posterior poder ir variando hasta poder encontrar la velocidad óptima para conservar el aire caliente.

En la figura 3.5 se observa el soplador utilizado.

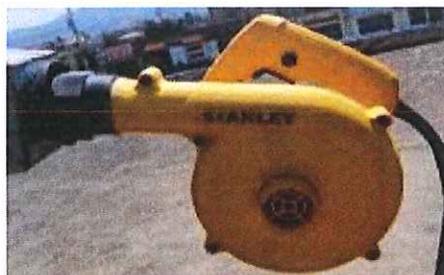


Figura 3.5: Soplador

3.1.1.6 Carcasa

La estructura de la cual está formado el colector está compuesta de material galvanizado, con un espesor de 0.9 mm como se aprecia en la figura 3.6.



Figura 3.6: Carcasa del colector

3.1.1.7 Soporte

El soporte en donde estará recostado el colector, permite regular la inclinación del colector a diferentes ángulos de inclinación (0-10-20-30) para diferentes análisis como se aprecia en la figura 3.7.



Figura 3.7: Soporte del colector

3.1.2 Diseño y construcción para la adición de aletas en la placa absorbedora

Una de las maneras de incrementar el rendimiento térmico de colectores solares de placas planas es incrementando el área de la placa absorbedora por medio de la adición de aletas.

En el presente proyecto investigativo se realizó la adición de 3 diferentes tipos de aletas en la placa absorbedora (rectangulares, triangulares y cilíndricas); para saber si la adición es rentable o no se realizó mediante el cálculo de la efectividad.

Dicho cálculo consiste en relacionar el calor transferido que circula por la placa absorbedora plana con el calor transferido por la placa absorbedora con la adición de aletas.

El calor transferido por la placa absorbedora plana será el mismo para la relación, los que cambian son los calores que son transferidos por la placa absorbedora con los diferentes tipos de figuras geométricas (aletas).

La efectividad debe ser igual o superior a 2 para que sea rentable la adición de aletas en la placa absorbedora plana según la teoría.

3.1.2.1 Calor transferido por la placa absorbedora plana

Primeramente, se debe conocer el área de la placa absorbedora a través de la siguiente ecuación:

$$A = w \cdot L \quad (3.1)$$

Donde:

$w =$ Ancho de la placa absorbedora (m)

$L =$ Longitud de la placa absorbedora (m)

A continuación, se debe conocer el perímetro de la placa absorbedora mediante la siguiente ecuación:

$$p = 2w + 2L \quad (3.2)$$

Donde:

A continuación, se procede a calcular el área de la sección transversal de la placa absorbedora mediante la siguiente ecuación:

$$A_c = w \cdot A \quad (3.3)$$

A continuación, se procede a calcular el diámetro hidráulico o equivalente de la cámara colectora, como se muestra en la siguiente ecuación:

$$D_h = \frac{4A_c}{p} \quad (3.4)$$

Posterior a ello se procede al cálculo de la velocidad promedio a través de la siguiente ecuación:

$$v = \frac{\eta}{\rho \cdot A_c} \quad (3.5)$$

Donde:

$$\eta = \text{Flujo másico, } \left(\frac{kg}{s}\right)$$

$$\rho = \text{Viscosidad cinemática, } \left(\frac{m^2}{s}\right)$$

A continuación, se procede al cálculo del número de Reynolds a través de la siguiente ecuación:

$$Re = \frac{V_{prom} D_h}{\nu} \quad (3.6)$$

Donde:

$$V_{prom} = \text{Velocidad promedio, (m/s)}$$

$$\nu = \text{Viscosidad cinemática, (m}^2/\text{s)}$$

A continuación, se procede con el cálculo del número de Nusselt a través de la siguiente ecuación:

$$Nu = 0.023 Re^{0.8} Pr^{1/3} \quad (3.7)$$

Donde:

$$Pr = \text{Número de Prandtl}$$

Posterior a ello se procede a calcular el coeficiente de calor por convección mediante la siguiente ecuación:

$$h = \frac{Nu \cdot k_{aire}}{D_h} \quad (3.8)$$

Donde:

k_{aire} = Conductividad térmica del aire, ($\frac{W}{m \cdot K}$)

Por último, se procede a calcular el calor transferido por la placa absorbidora plana mediante la siguiente ecuación:

$$q_0 = hA(T_{pla} - T_{amb}) \quad (3.9)$$

Donde:

T_{pla} = Temperatura de la placa absorbidora, ($^{\circ}K$)

T_{amb} = Temperatura ambiente, ($^{\circ}K$)

3.1.2.2 Calor transferido por el sistema de aletas triangulares

Primeramente, se procede a calcular el Θ_b a través de la siguiente ecuación:

$$\Theta_b = (T_{pla} - T_{amb}) \quad (3.10)$$

A continuación, se procede a calcular el área superficial de la aleta triangular, mediante la siguiente ecuación:

$$A_f = 2w[(L^2 + \frac{t^2}{2})^{\frac{1}{2}}] \quad (3.11)$$

Donde:

L = Altura de la aleta triangular, (m)

t = espesor de la aleta triangular, (m)

Posterior a ello se procede a calcular el área total de las aletas triangulares a través de la siguiente ecuación:

$$A_t = NA_f + [w(L_{pla}Nt)] \quad (3.12)$$

L_{pla} = Longitud de la placa absorbidora, (m)

N = Número de aletas

A continuación, se procede a calcular la eficiencia de las aletas triangulares mediante la siguiente ecuación:

$$\xi = L_c^3 \left(\frac{h}{kA_p}\right)^{\frac{1}{2}} \quad (3.13)$$

$L_c = L =$ Altura de la aleta triangular, (m)

$A_p =$ Área de perfil de la aleta triangular

$$A_p = \frac{L \cdot t}{2} \quad (3.14)$$

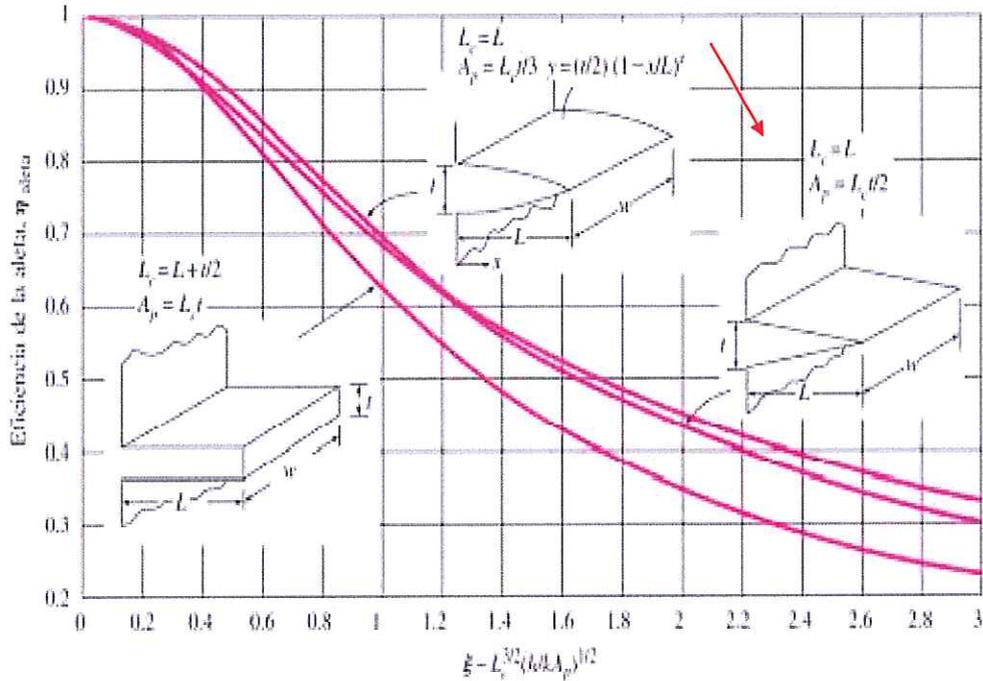


Figura 3.8: Eficiencia de la aleta triangular [18].

Se procede a calcular el calor transferido por el sistema de aletas triangulares mediante la siguiente ecuación:

$$q_t = hA_t \left[1 - \frac{NA_f}{A_t} (1 - \eta f) \right] \Theta_b \quad (3.15)$$

Por último, se procede a calcular la efectividad mediante la siguiente ecuación:

$$E_f = \frac{q_t}{q_0} \quad (3.16)$$

3.1.2.3 Calor transferido por el sistema de aletas rectangulares

Primeramente, se procede a calcular la longitud de la aleta rectangular mediante la siguiente ecuación:

$$L_c = L + \frac{t}{2} \quad (3.17)$$

Donde:

$L =$ *Altura de la aleta rectangular, (m)*

$t =$ *Espesor de la aleta rectangular, (m)*

A continuación, se procede a calcular el área superficial de la aleta rectangular mediante la siguiente ecuación:

$$A_f = 2wL_c \quad (3.18)$$

Donde:

$w =$ *Profundidad de la aleta, (m)*

Posterior a ello se procede a calcular el área total de las aletas rectangulares a través de la siguiente ecuación:

$$A_t = NA_f + [w(L_{pla}Nt)] \quad (3.12)$$

Donde:

$N =$ *Número de aletas*

$L_{pla} =$ *Longitud de la placa absorbedora, (m)*

A continuación, se procede a calcular la eficiencia de las aletas rectangulares mediante la siguiente ecuación:

$$\xi = L_{c2}^3 \left(\frac{h}{kA_p} \right)^{\frac{1}{2}} \quad (3.13)$$

$A_p =$ *Area de perfil de la aleta rectangular, (m)*

$$A_p = Lc \cdot t \quad (3.19)$$

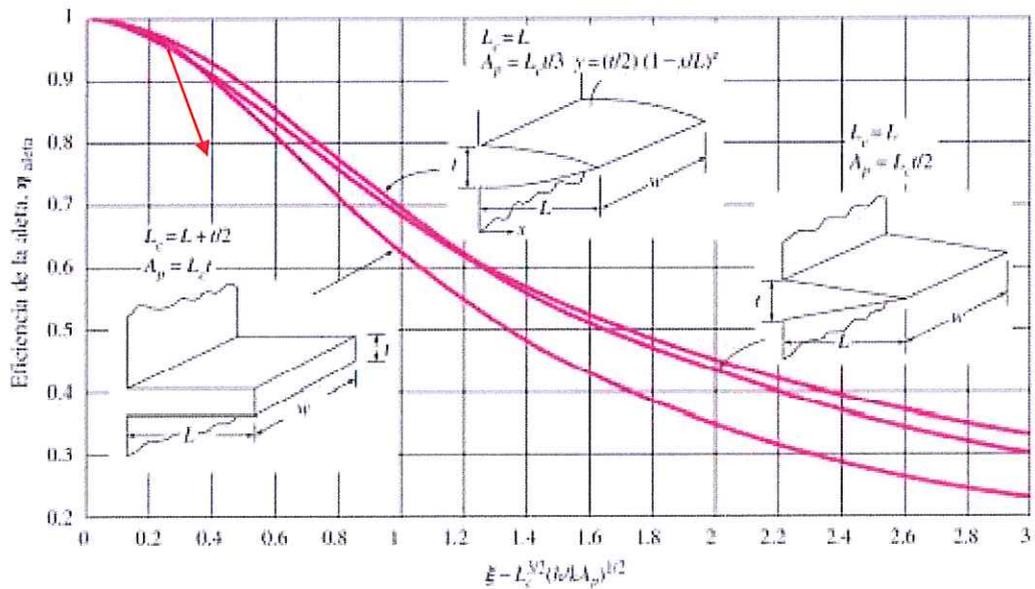


Figura 3. 8: Eficiencia de la aleta rectangular [18].

Se procede a calcular el calor transferido por el sistema de aletas rectangulares mediante la siguiente ecuación:

$$q_t = hA_t \left[1 - \frac{NA_f}{A_t} (1 - \eta f) \right] \Theta_b \quad (3.15)$$

Por último, se procede a calcular la efectividad mediante la siguiente ecuación:

$$E_f = \frac{q_t}{q_o} \quad (3.16)$$

3.1.2.4 Calor transferido por el sistema de aletas cilíndricas

Primeramente, se procede a calcular la longitud de la aleta cilíndrica mediante la siguiente ecuación:

$$L_c = L + \left(\frac{D}{4}\right) \quad (3.20)$$

Donde:

L = Altura de la aleta cilíndrica, (m)

D = Diámetro de la aleta cilíndrica, (m)

A continuación, se procede a calcular el área superficial de la aleta cilíndrica mediante la siguiente ecuación:

$$A_f = \pi \cdot D \cdot L_c \quad (3.21)$$

Posterior a ello se procede a calcular el área total de las aletas cilíndricas a través de la siguiente ecuación:

$$A_t = NA_f + (WL_{pla} - N \frac{\pi \cdot D^2}{4}) \quad (3.22)$$

Donde:

N = Número de aletas

W = Ancho de la placa absorbadora, (m)

L_{pla} = Longitud de la placa absorbadora, (m)

A continuación, procede a calcular la eficiencia de la aleta cilíndrica mediante la siguiente ecuación:

Se procede a calcular el calor transferido por el sistema de aletas rectangulares mediante la siguiente ecuación:

$$q_t = hA_t \left[1 - \frac{NA_f}{A_t} (1 - \eta f) \right] \theta_b \quad (3.15)$$

Por último, se procede a calcular la efectividad mediante la siguiente ecuación:

$$E_f = \frac{q_t}{q_o} \quad (3.16)$$

3.1.3 Técnicas de medición

Tabla 3.2: Tecnicas de medición para la adquisición de datos

Sensor	Función
Termistor NTC	Temperatura de entrada
Termistor NTC	Temperatura de la placa absorbadora
Termistor NTC	Temperatura del vidrio
Termistor NTC	Temperatura de salida
Sensor MAF	Nivel de flujo másico

Tabla 3.3: Adquisición de datos

Equipo	Función
Módulo de adquisición de datos	Registra datos de los sensores mencionados en la tabla, para almacenarlos, en memorias extraíbles SD.

3.1.3.1 Equipos auxiliares para la validación de datos

Para la comprobación y verificación de la adquisición de datos obtenidos por el sistema se empleó equipos externos; los mismos que son nombrados a continuación:

- **Solar Power Meter SM 206-SOLAR**

La estación meteorológica sirve para la toma de datos de la temperatura ambiente ($^{\circ}\text{C}$) y de la radiación solar ($\frac{\text{W}}{\text{m}^2}$).



Figura 3.9: Solar Power Meter SM 206-SOLAR

- **Anemómetro HoldPeak HP-866B**

El anemómetro sirve para ayudar a medir la velocidad del viento ($\frac{\text{m}}{\text{s}}$).



Figura 3.10: Anemómetro HoldPeak HP-866B

- **Pirómetro FLUKE**

El pirómetro sirve para la comprobación de datos de las temperaturas otorgadas por los sensores.



Figura 3.11: Pirómetro FLUKE

- **Cámara Termográfica SATIR PK-80**

La cámara termográfica sirve para medir en donde son los puntos donde se concentra más el calor en la placa absorbadora de los colectores solares.



Figura 3.12: Cámara Termográfica SATIR PK-80

- **Brújula**

La brújula sirve para calibrar la estación meteorológica en dirección al norte.



Figura 3.13: Brújula

3.1.4 Ubicación geográfica

Los 6 colectores solares que servirán de estudio para la investigación experimental se encuentran en la provincia de Cotopaxi, en el cantón Latacunga, específicamente en la terraza del bloque B de la Universidad Técnica de Cotopaxi.

Tabla 3.4: Ubicación geográfica de la investigación experimental

Latitud	Longitud	Huso Horario
- 0,9175	- 78,6328	GMT-05:00



Figura 3.14: Ubicación de los colectores solares para la investigación experimental

3.1.5 Variación de temperatura y análisis comparativo del rendimiento térmico

3.1.5.1 Variación de temperatura (Δt)

Para determinar la diferencia de temperatura (Δt) entre cada uno de los colectores con respecto al colector patrón se realiza a través de la siguiente ecuación:

$$\Delta t = |T_{sal M} - T_{sal P}| \quad (3.23)$$

3.1.5.2 Análisis comparativo del rendimiento térmico

El calor útil producido por cada colector producido por cada colector se calcula a través de la siguiente ecuación:

$$Q_u = \dot{m} C_p (T_{pla} - T_{amb}) \quad (3.24)$$

Donde:

$$\dot{m} = \text{Flujo másico} \left(\frac{kg}{s} \right)$$

$$C_p = \text{Calor específico del aire} \left(\frac{J}{Kg \cdot ^\circ C} \right)$$

T_{pla} = Temperatura de la placa absorbedora °K

T_{amb} = Temperatura ambiente °K

Para determinar el valor del calor específico del aire; se dirige a la tabla de valores a través de la literatura interpolando mediante la siguiente ecuación:

$$y = Y0 + \frac{Y1-Y0}{X1-X0} \cdot (X - X0) \quad (3.25)$$

Para determinar el incremento del rendimiento térmico entre las diferentes condiciones de cada colector se realiza a través de la siguiente ecuación:

$$\eta_{comp} = \frac{Q_u - Q_a}{Q_u} \cdot 100\% \quad (3.27)$$

3.2 ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS

3.1.2 Resultados del colector

Tabla 3.5: Parámetros de colector

Parámetro	Material	Medidas
Cubierta	Vidrio claro Vidrio con polarizado	0.98 m de largo • 0.48 m de ancho
Aislamiento térmico	Poliuretano	0.03 m partes laterales y posterior
Placa absorbedora	Aluminio, color negra pintura electrostática	1 m de largo • 0.5 m de ancho y 0.002 m de espesor
Carcasa	Tol galvanizado	0.09 de espesor
Soporte	Metálico	0.9 m de alto, 1 m de largo y 0.45 de ancho

Tabla 3.6: Características del soplador

Flujo máximo	3.5 m ³ /min
Velocidad angular máxima	1600 rpm

Potencia	600 W
Consumo en operación	0,47946 kWh

3.2.2 Resultado de Calor transferido por la placa absorbadora plana

Tabla 3.7: Calor transferido por la placa absorbadora plana

Parámetro	Resultado	# de ecuación
Área de la placa absorbadora	0,5 m ²	3.1
Perímetro de la placa absorbadora	3 m ²	3.2
Área de la sección transversal de la placa absorbadora	0.065 m ²	3.3
diámetro hidráulico o equivalente de la cámara colectora	0.086 m ²	3.4
Velocidad promedio	0.22 m/s	3.5
Número de Reynolds	1076.75	3.6
Número de Nusselt	19.37	3.7
Coefficiente de calor por convección	6.30	3.8
Calor transferido por la placa absorbadora plana	204.82 W	3.9

3.2.3 Resultados de los cálculos de las superficies extendidas (aletas)

Tabla 3.8: Cálculo de aletas triangulares

Parámetro	Resultado	# de ecuación
θ_b	65 K	3.10
Área superficial de la aleta	0.030 m ²	3.11

Área total de las aletas	1.184 m ²	3.12
Eficiencia de las aletas	97 %	3.13
Área de perfil de la aleta	4.5 * 10 ⁻⁵	3.14
Calor transferido por el sistema de aletas	485.5 W	3.15
Efectividad de la aleta	2.36	3.16

Tabla 3.9: Cálculo de aletas rectangulares

Parámetro	Resultado	# de ecuación
Longitud de la aleta	0.0315 m	3.17
Área superficial de la aleta	0.0063 m	3.18
Área de perfil de la aleta	9.45*10 ⁻⁵	3.12
Área total de las aletas	1.609 m ²	3.19
Eficiencia de la aleta	96%	3.13
Calor transferido por el sistema de aletas	466.3 W	3.15
Efectividad de la aleta	2.26	3.16

Tabla 3.10: Cálculo de aletas cilíndricas

Parámetro	Resultado	# de ecuación
Longitud de la aleta	0.119 m	3.20
Área superficial	0.028 m ²	3.21
Área total de las aletas	1.075 m ²	3.22
Calor transferido por el sistema de aletas	432.98 W	3.15
Efectividad de la aleta	2.108	3.16

3.2.4 Resultados de las superficies extendidas (aletas)

3.2.4.1 Aletas triangulares

Tabla 3.11: Parámetros de las aletas triangulares

Aletas triangulares					
Ancho (m)	Largo (m)	Espesor (m)	Número	Separación vertical (m)	Separación horizontal (m)
0.10	0.03	0.003	24	0.1	0.05

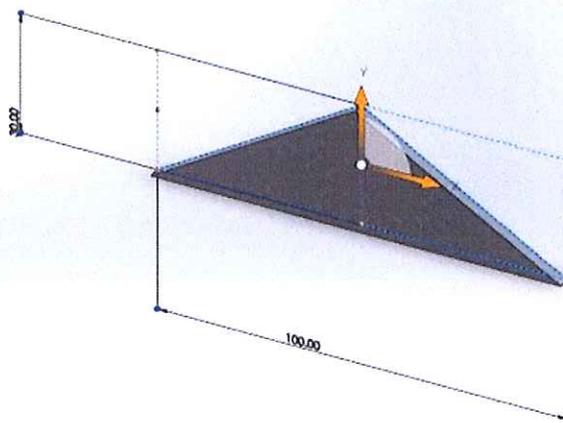


Figura 3.15: Aleta triangular

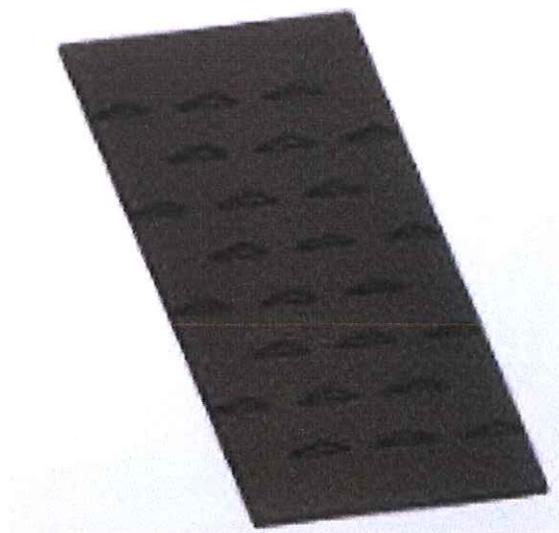


Figura 3.16: Distribución de las aletas triangulares

3.2.4.2 Aletas rectangulares

Tabla 3.12: Parámetros de las aletas rectangulares

Aletas rectangulares					
Ancho (m)	Largo (m)	Espesor (m)	Número	Separación vertical (m)	Separación horizontal (m)
0.10	0.03	0.003	24	0.1	0.05

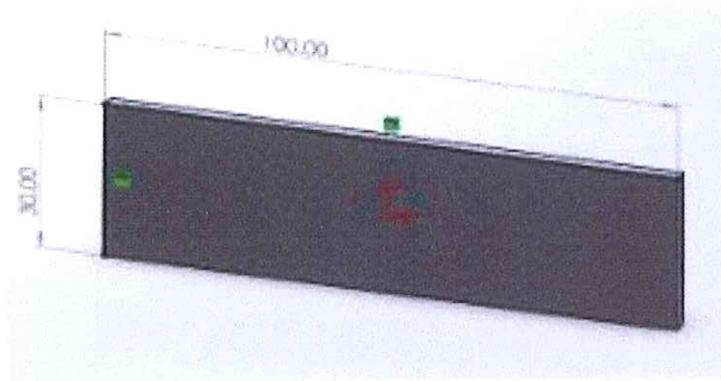


Figura 3.17: Aleta rectangular

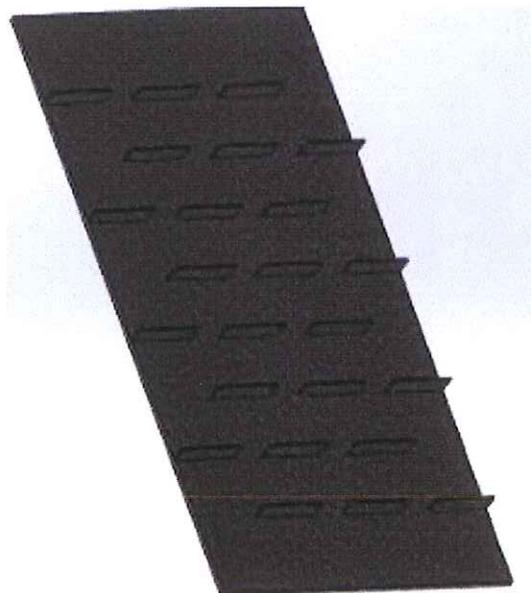


Figura 3.18: Distribución de las aletas rectangulares

3.2.4.3 Aletas cilíndricas

Tabla 3.13: Parámetros de las aletas cilíndricas

Aletas cilíndricas					
Espesor (m)	Largo (m)	Diámetro (m)	Número	Separación vertical (m)	Separación horizontal (m)
0.02	0.10	0.0762	24	0.0475	0.07

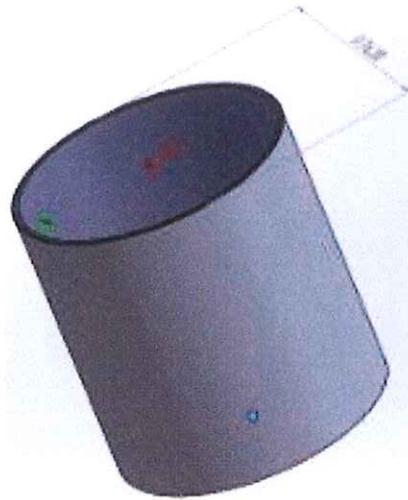


Figura 3.19: Aleta cilíndrica

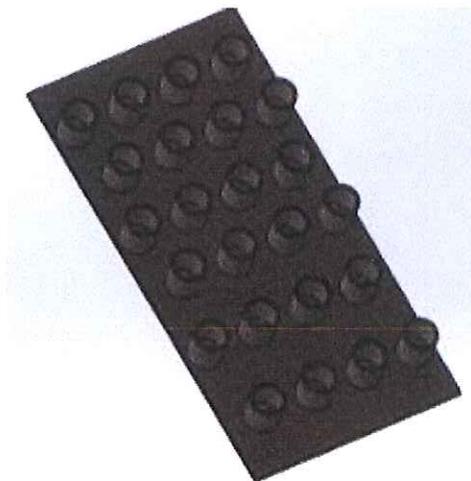


Figura 3.20: Distribución de las aletas cilíndricas

Tabla 3.14: Configuraciones de los colectores solares

Módulo	Configuración placa absorbadora
1	Patrón placa plana vidrio transparente
2	Adición de aletas cilíndricas
3	Adición de aletas rectangulares
4	Placa plana vidrio polarizado
5	Adición de aletas triangulares
6	Variación de altura (8cm de aislante)

3.2.5 Resultados de las mediciones experimentales en colectores solares de placa plana sin aletas.

En la presente investigación experimental, consiste en obtener la diferencia de temperatura (Δt), entre los 6 colectores solares con placa plana en igualdad de condiciones, esto debido a fallas de construcción, diseño, entre otras.

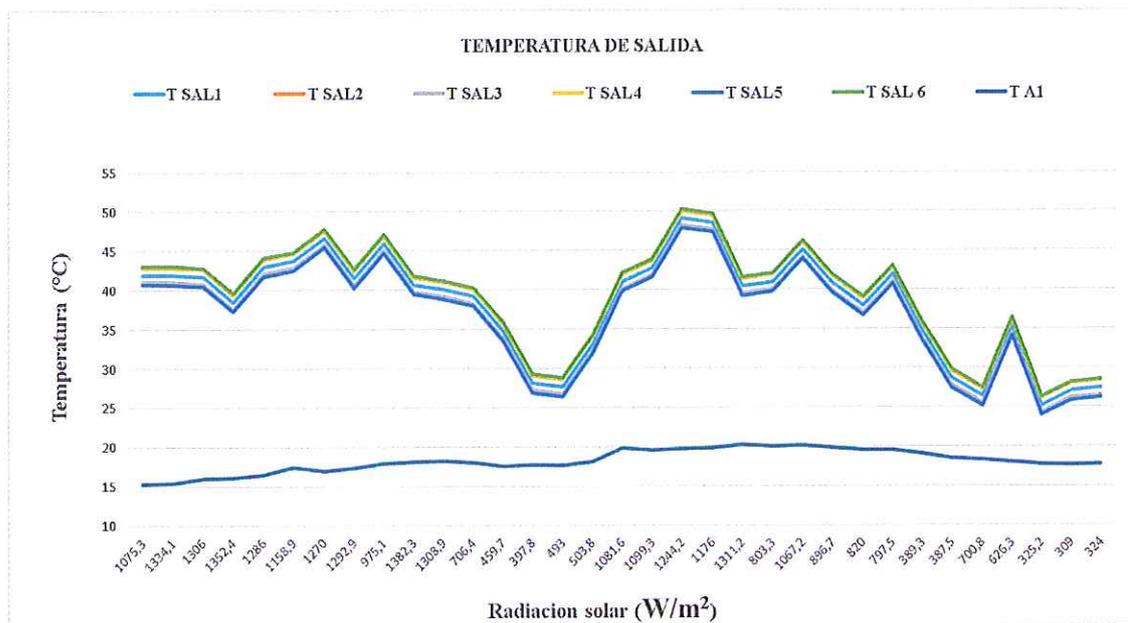


Figura 3.21: Temperaturas de salidas de los colectores solares en igualdad de condiciones

Tabla 3.15: Variación de temperatura de los colectores solares con respecto al patrón en iguales condiciones

T SAL Módulo 1 (°C)	T SAL Módulo 2 (°C)	T SAL Módulo 3(°C)	T SAL Módulo 4 (°C)	T SAL Módulo 5 (°C)	T SAL Módulo 6 (°C)
37,06	38,18	36,17	38,03	35,83	38,18
Δt (°C)	1.12	-0.89	0.97	-1.23	1.12

3.2.6 Resultados comparativos de los parámetros de trabajo del colector con vidrio polarizado y el colector patrón con vidrio claro.

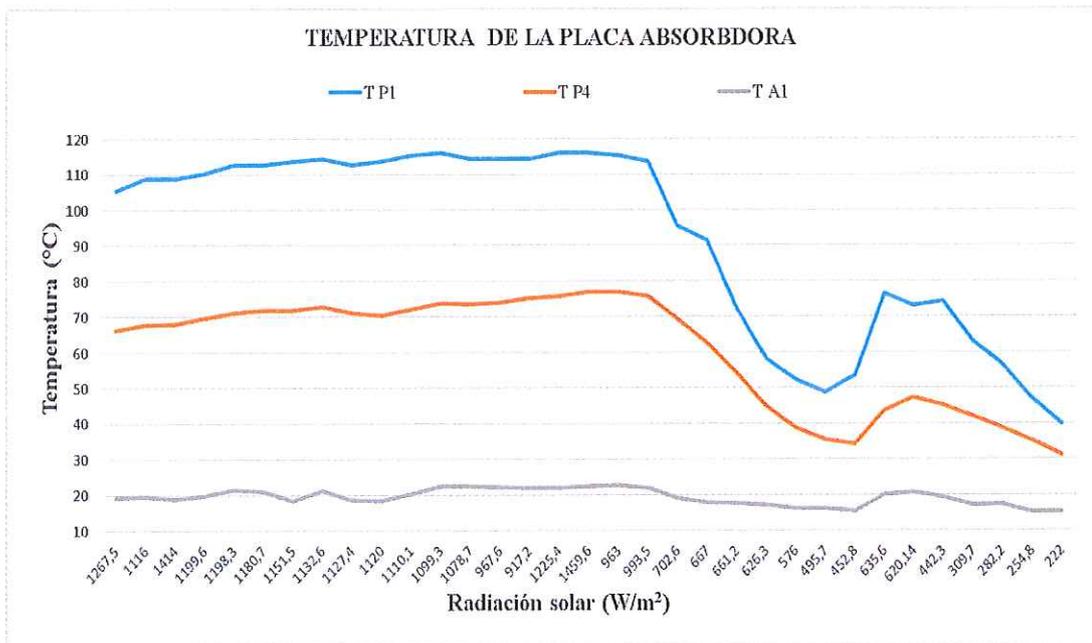


Figura 3.22: Comportamiento de la temperatura de la placa absorbidora en los módulos 1 y 4 en convección natural

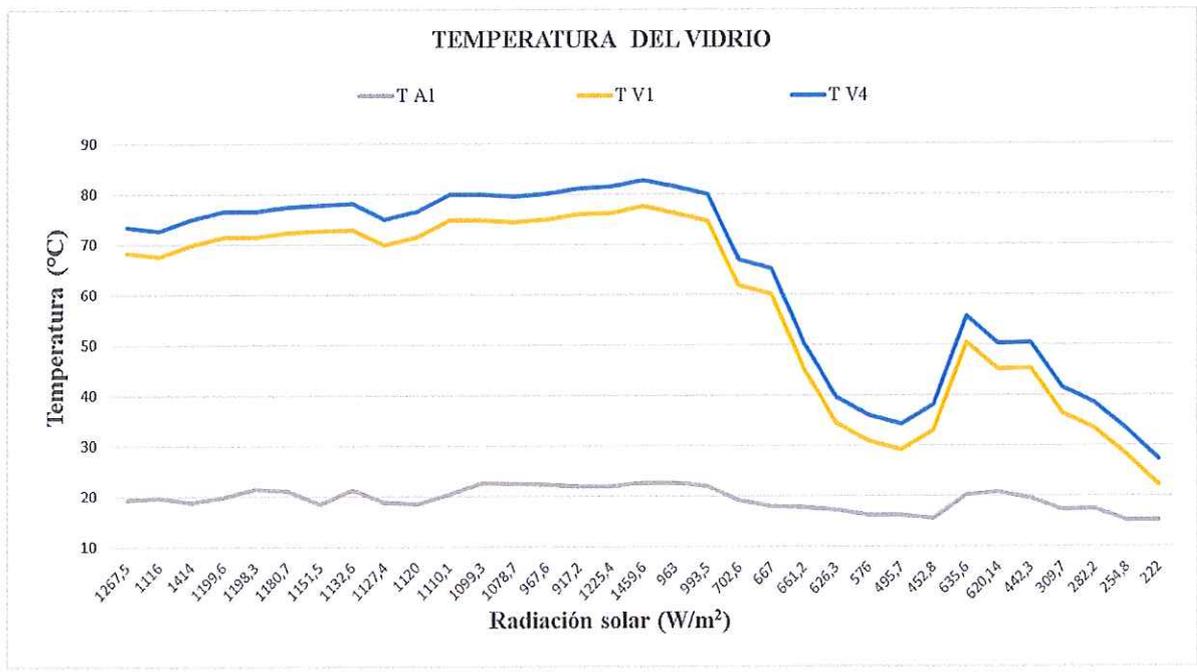


Figura 3.23: Comportamiento de la temperatura del vidrio en los módulos 1 y 4 en convección natural

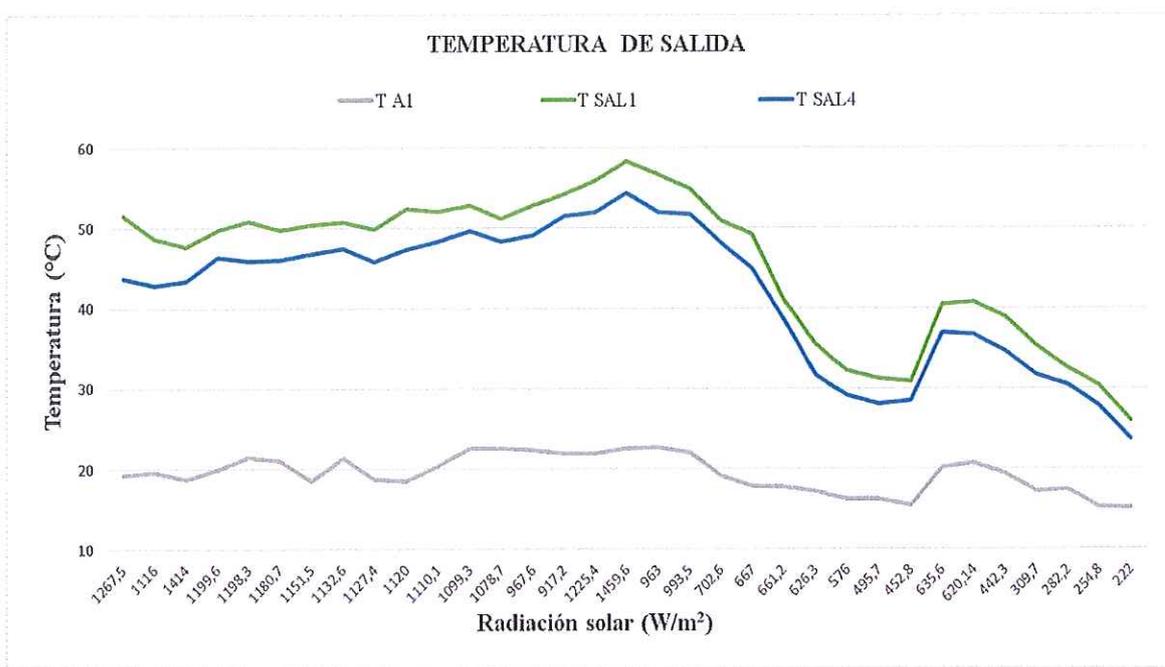


Figura 3.24: Comportamiento de la temperatura de salida en los módulos 1 y 4 en convección natural

En la figura 3.24, se puede observar el comportamiento de la temperatura en la salida del módulo 4 ($T_{sal 4}$) (vidrio polarizado) y el módulo 1 ($T_{sal 1}$) (patrón vidrio claro) y temperatura ambiente (T_{a1}) en función del tiempo; donde se puede analizar que el comportamiento térmico en la salida del módulo 1 es mayor a la del módulo 4 y este fenómeno se debe a que en el módulo 4, el vidrio es el que absorbe la mayor parte de calor con respecto al vidrio claro del módulo 1 y por lo tanto la temperatura del vidrio 4 ($T_{v 4}$) es superior a la temperatura del vidrio 1 ($T_{v 1}$) como se observa en la figura 3.23; pero el caso contrario ocurre en la placa absorbedora el módulo 1 permite el paso de la radiación solar de mejor manera por lo que en este punto la temperatura de la placa absorbedora del módulo 1 (T_{p1}) es superior a la temperatura de la placa absorbedora del módulo 4 (T_{p4}) como se observa en la figura 4.22.

Al mantener una temperatura elevada en el vidrio polarizado tanto en la parte exterior como interior del colector en los diferentes estudios da como resultado mayores pérdidas debido a que rechaza de mejor manera los rayos ultra violeta con respecto al vidrio claro, por lo tanto, reduce los procesos internos de transferencia de calor.

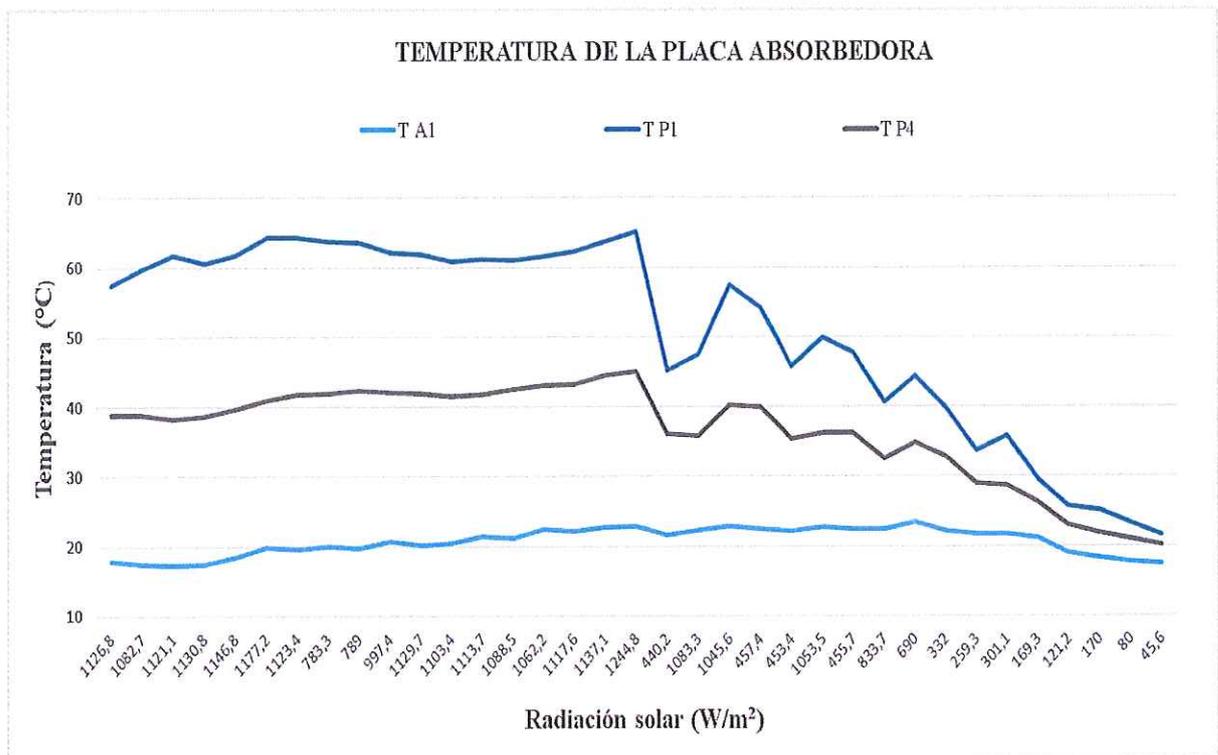


Figura 3.25: Comportamiento de la temperatura de la placa absorbedora en los módulos 1 y 4 con flujo de 6 m/s

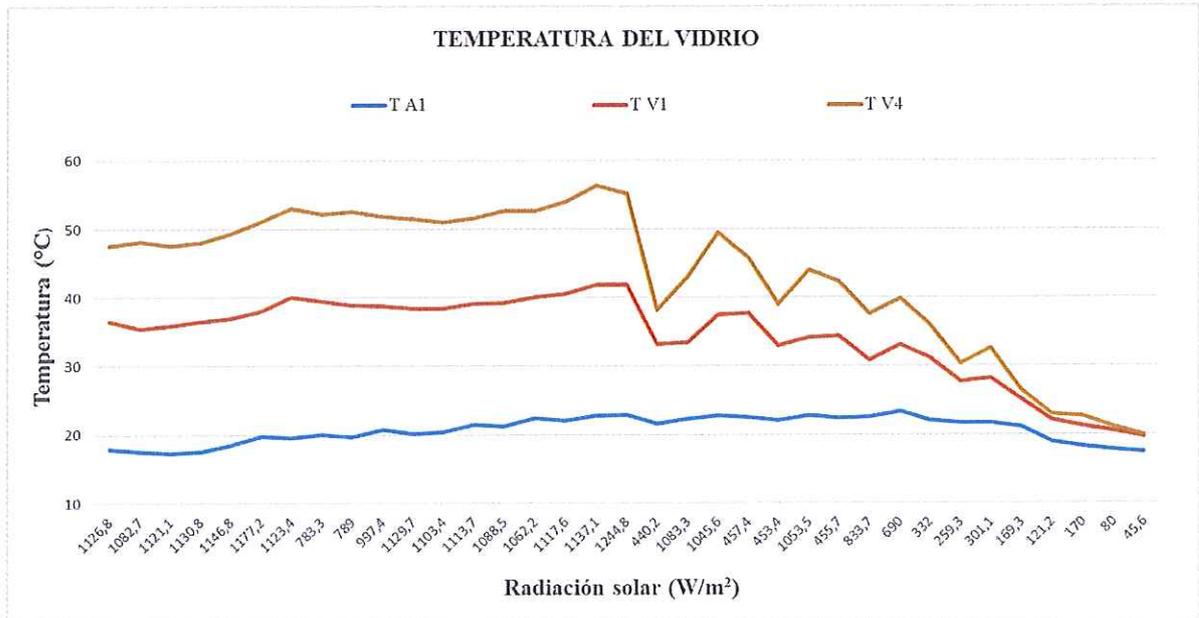


Figura 3.26: Comportamiento de la temperatura del vidrio en los módulos 1 y 4 con flujo de 6 m/s

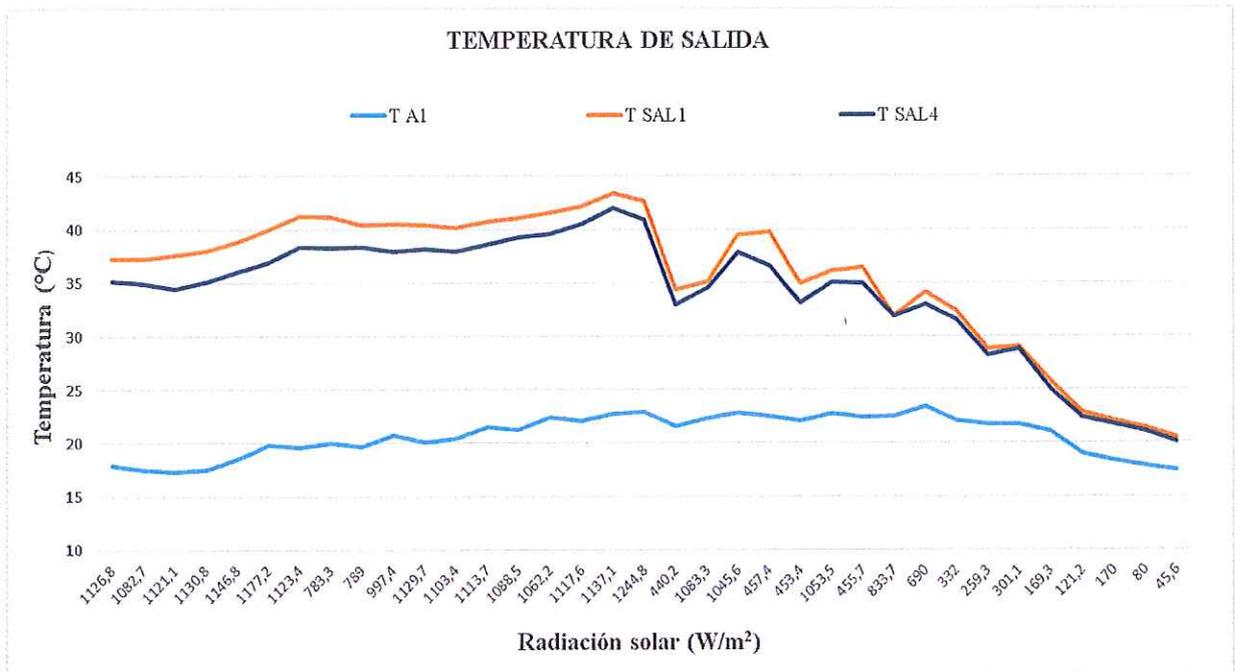


Figura 3.27: Comportamiento de la temperatura de salida en los módulos 1 y 4 con flujo de 6 m/s

En la figura 3.27 se puede observar la curva de comportamientos de las salidas en el módulo 1(T s1) y modulo 4 (T s4) con una velocidad de 6 m/s que se comporta de igual manera que las curvas de comportamiento en convección libre o natural, donde se percibe que el módulo 1 tiene un flujo de aire más caliente con respecto a la salida del módulo 4, ya que el vidrio claro permite el paso de la radiación incidente a la placa absorbedora la cual calienta de mejor manera a diferencia del vidrio polarizado que se calienta más el vidrio pero en menor cantidad en la placa absorbedora.

3.2.7 Resultados comparativos de los parámetros de trabajo de los colectores solares con adición de aletas y variación de altura.

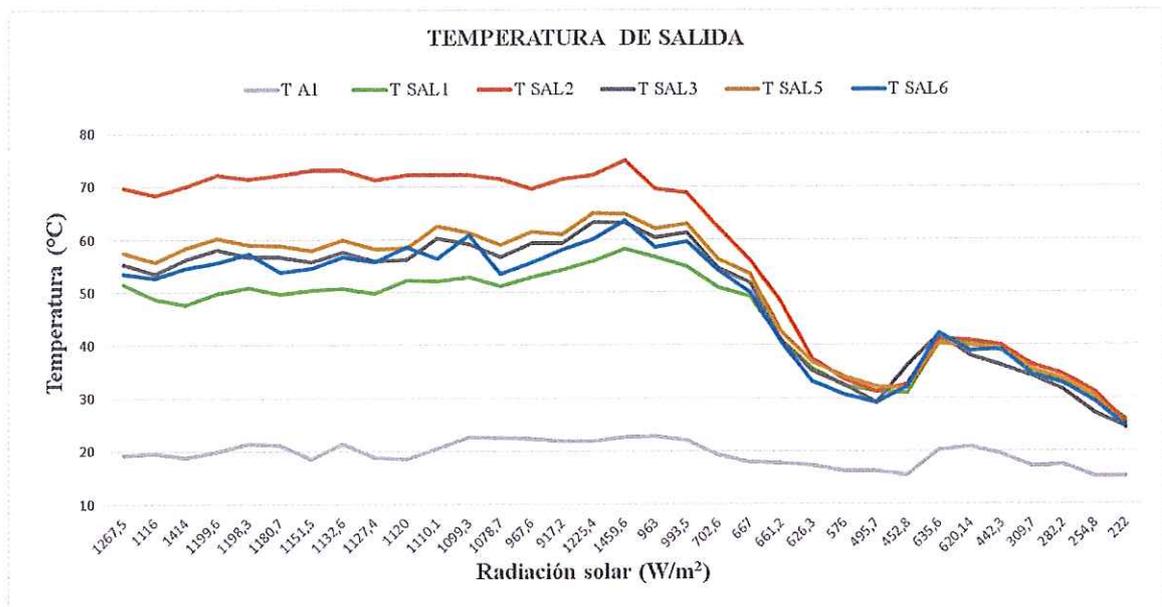


Figura 3.28: Comportamiento de la temperatura de salida en colectores solares con adición de aletas y variación de altura en convección natural

En la figura 3.28 se observa el comportamiento de las curvas de temperatura de salida del aire en los módulos con adición de aletas y variación de altura, donde la salida del módulo 2(T s2) es el que muestra una temperatura más elevada, llegando a alcanzar un valor de 73 (°C), luego le precede el módulo 5 (T s5) llegando a un valor máximo de 64 (°C), a continuación se tiene el módulo 3(T s3) que llega a alcanzar temperatura de 61 (°C), estos tres módulos descritos poseen adición de aletas la cual al tener más área de calentamiento y que estas superficies extendidas están diseñadas para facilitar la transferencia de calor por convección entre la placa absorbedora y el fluido se obtienen las salidas más altas con respecto a los demás, después sigue el módulo

6 (T s6) el cual tiene una variación de altura en la placa absorbedora hacia el vidrio el cual llega a una salida en puntos picos de unos 59 (°C) y por último se tiene al módulo 1 (T s1) que es el colector patrón el cual no tiene ninguna alteración llegando alcanzar temperaturas en la salida de unos 57 (°C) en los momentos de mejores condiciones climatológicas.

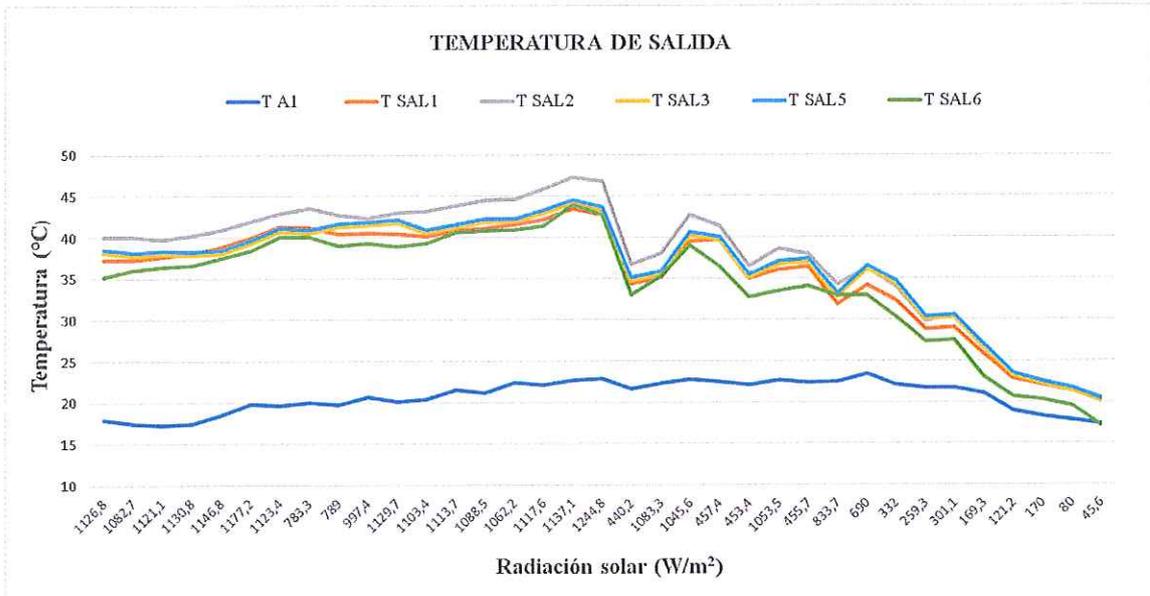


Figura 3.29: Comportamiento de la temperatura de salida en colectores solares con adición de aletas y variación de altura con velocidad de 6m/s

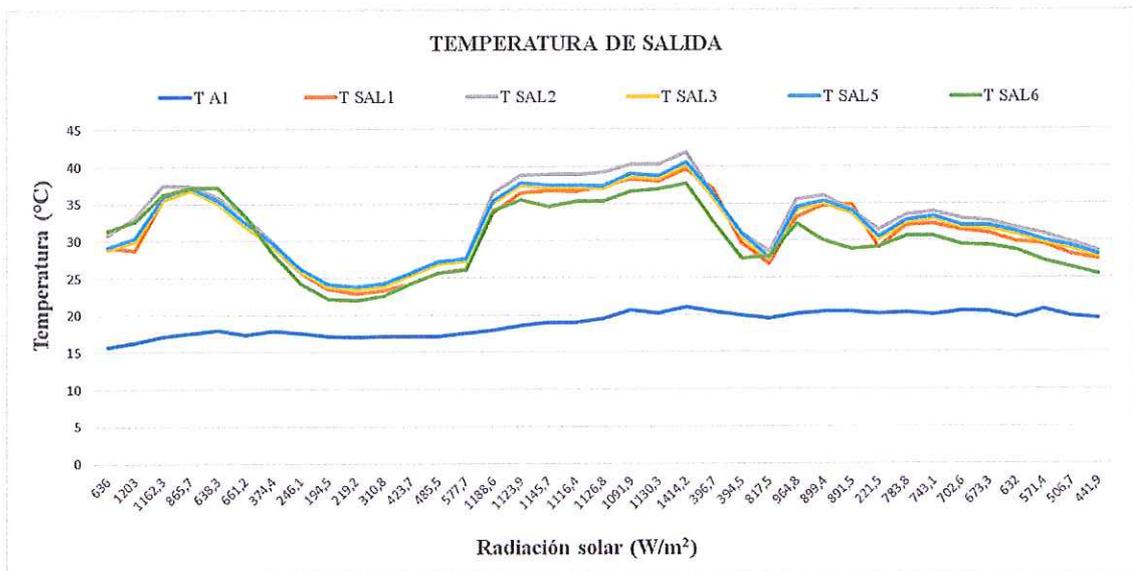


Figura 3.30: Comportamiento de la temperatura de salida en colectores solares con adición de aletas y variación de altura con velocidad de 7 m/s

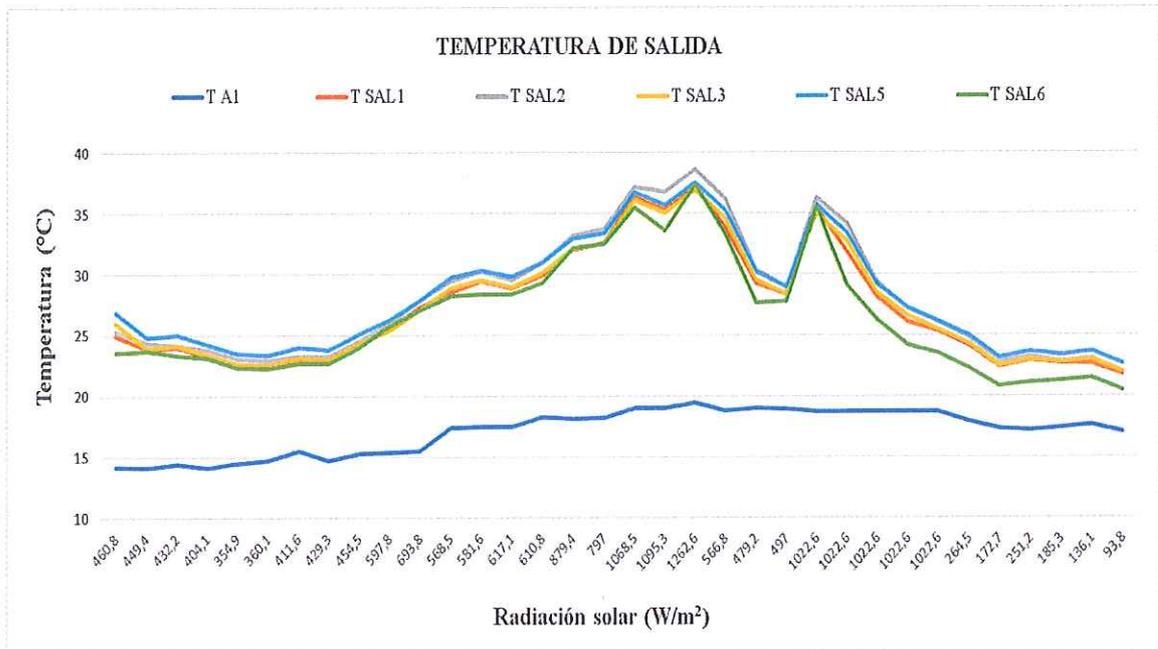


Figura 3.31: Comportamiento de la temperatura de salida en colectores solares con adición de aletas y variación de altura con velocidad de 8 m/s

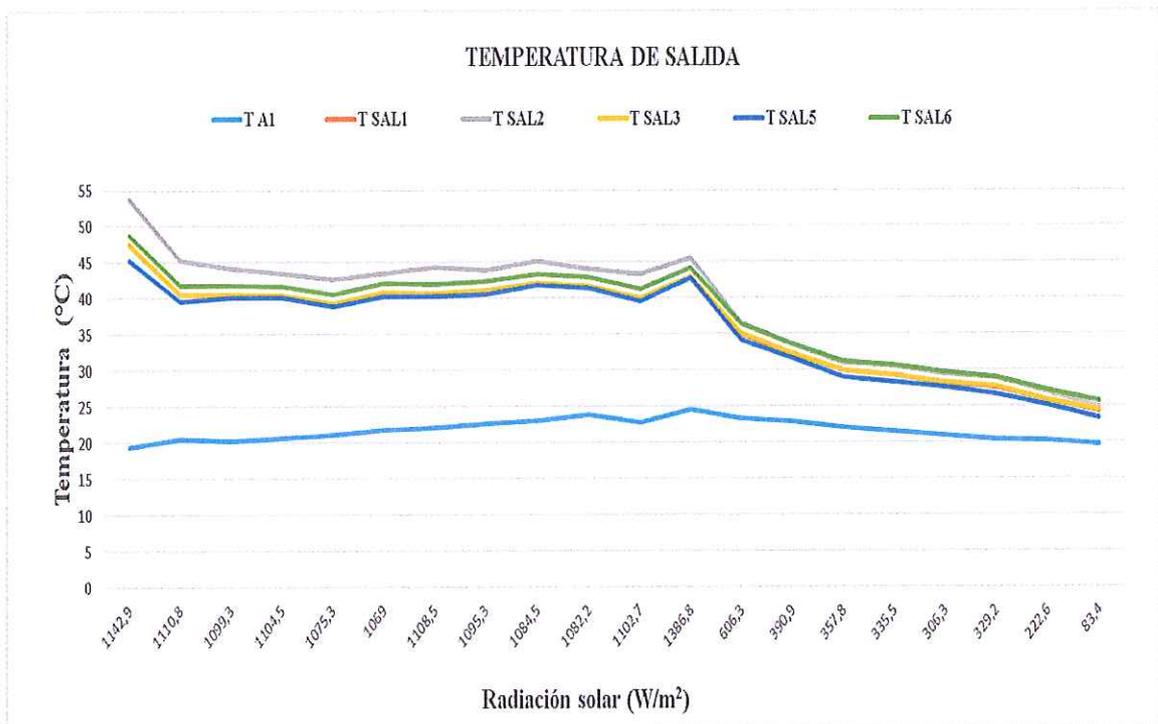


Figura 3.32: Comportamiento de la temperatura de salida en colectores solares con adición de aletas y variación de altura con velocidad de 9 m/s

En las figuras 3.29, 3.30, 3.31, 3.32 se muestra la curva de comportamientos de temperatura de salida con diferentes niveles de flujo de (0.032 kg/m^3 , 0.037 kg/m^3 , 0.042 kg/m^3 , 0.048 kg/m^3) donde se observa que mantienen la misma tendencia de convección libre, pero la diferencia es que entre más grande es el nivel de flujo, la diferencia de temperatura entre cada módulo es menos representativa, de igual manera para el funcionamiento de cada módulo depende de la radiación solar incidente, ya que con un nivel bajo de radiación solar tendrán un comportamiento parecido todos los módulos.

3.2.8 Resultados del rendimiento térmico de los colectores solares con adición de aletas y variación de altura.

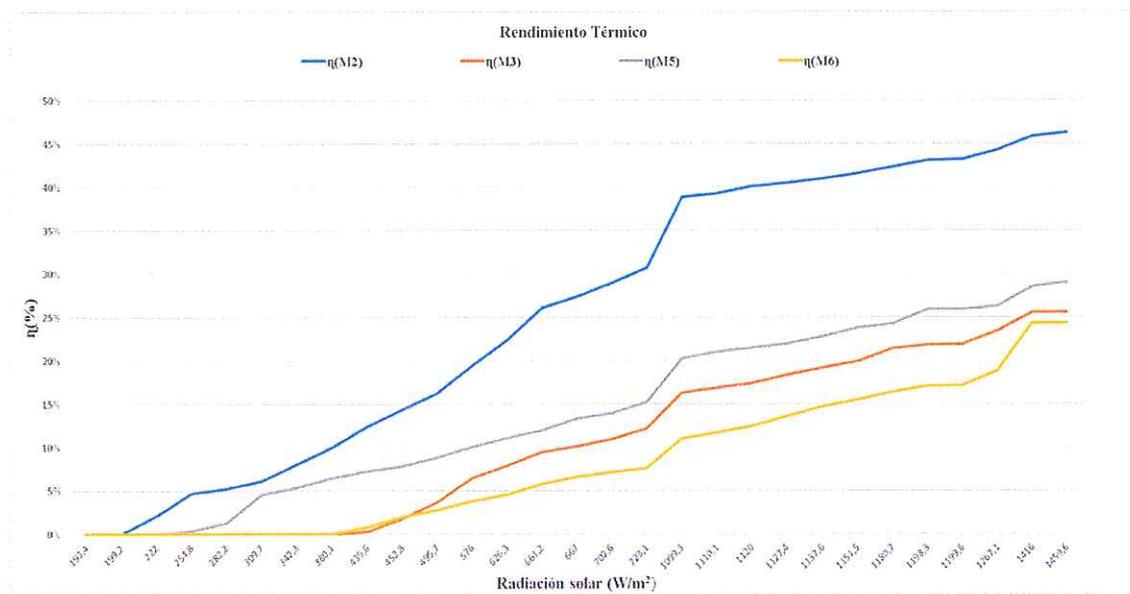


Figura 3.33: Comportamiento del rendimiento térmico comparativo en colectores solares con adición de aletas y variación de altura en convección natural

En la figura 3.33, se muestra el comportamiento del rendimiento térmico comparativo de los colectores con el uso de aletas y variación de altura, la radiación solar incidente en este día va desde $193,4$ a $1419,6 \text{ W/m}^2$ en convección natural constante durante el día de estudio en igualdad de condiciones; donde se puede observar que el módulo 2 ($\eta \text{ M2}$) llega a obtener hasta un 46% de rendimiento, en segundo lugar se observa al módulo 5 ($\eta \text{ M5}$), llegando a obtener un rendimiento térmico con un valor mínimo de radiación de 222 W/m^2 y alcanzando un pico de 29%, posterior a ello se encuentra el módulo 3 ($\eta \text{ M3}$) que obtiene un rendimiento térmico comparativo, el valor mínimo de radiación $435,6 \text{ W/m}^2$ alcanzando un 26% de rendimiento, y

por último se encuentra el módulo 6 (η M6) que alcanza un rendimiento térmico desde un valor mínimo de radiación 380.1 W/m² alcanzando el 24 % de rendimiento máximo, cabe resaltar que estos rendimientos térmicos que se muestran en la figura son comparativos con respecto al módulo 1 (patrón de placa plana) y en igualdad de condiciones, donde se puede analizar que el mejor rendimiento térmico es el módulo 2, siendo las aletas cilíndricas la mejor opción para llegar a obtener el mejor rendimiento con respecto al módulo patrón; los otros dos tipos de aletas (Triangulares, rectangulares), también permiten mejorar el rendimiento térmico con respecto al patrón pero en menor porcentaje (%); esto se debe a que las aletas permiten incrementar el área de la superficie y por lo tanto el intercambio de calor por convección entre la placa y el fluido circundante, en último lugar se tiene al módulo 6 (η M6) logrando superar al módulo patrón en las mejores condiciones climatológicas, pero no supera a los módulos de adición de aletas, esto se debe que aunque se incrementa la temperatura en la placa absorbadora esta no puede ser transmitida al fluido circundante que pasa por el colector, ya que no es directamente proporcional si existe mayor temperatura en la placa absorbadora no va a ser mayor la temperatura de salida y por lo tanto mayor rendimiento térmico.

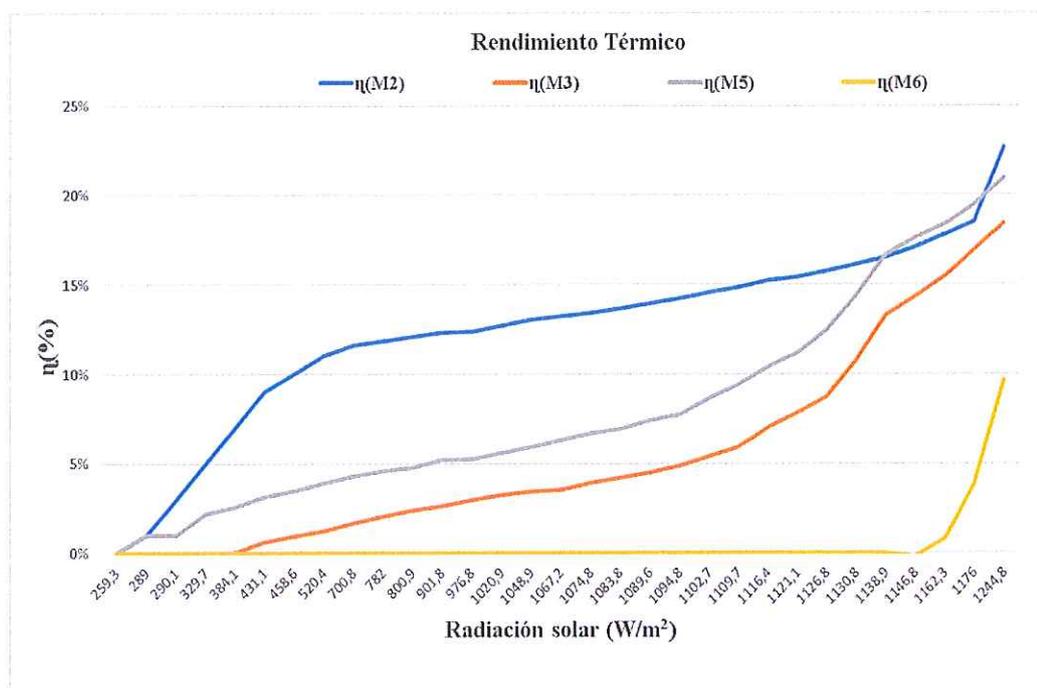


Figura 3.34: Comportamiento del rendimiento térmico comparativo en colectores solares con adición de aletas y variación de altura con velocidad de 6m/s

En la figura 3.34 se muestra el comportamiento del rendimiento térmico comparativo de los colectores con el uso de aletas y variación de altura, la radiación solar incidente en este día va

desde 259,3 a 1244.8 W/m², con un nivel de flujo de 0.032 kg/m² constante durante el día de estudio en igualdad de condiciones, el módulo 2 alcanza un rendimiento térmico de 23 %, consecutivamente se encuentra el módulo 5, llegando a obtener hasta un 21% de rendimiento térmico a partir del valor mínimo de radiación que se observa en la figura, el módulo 3 por su parte llega a presentar un rendimiento térmico a partir de una radiación de 384.1 W/m² y obteniendo un punto más alto de rendimiento térmico de 18 % con la máxima radiación adquirida en el día, por último se encuentra el módulo 6 que muestra rendimiento térmico desde una radiación de 1244.8 W/m², llegando a alcanzar hasta un 10% de rendimiento térmico en el punto más alto de radiación solar incidente, cabe resaltar que estos rendimientos térmicos que se muestran en la figura son comparativos con respecto al módulo 1 (patrón de placa plana).

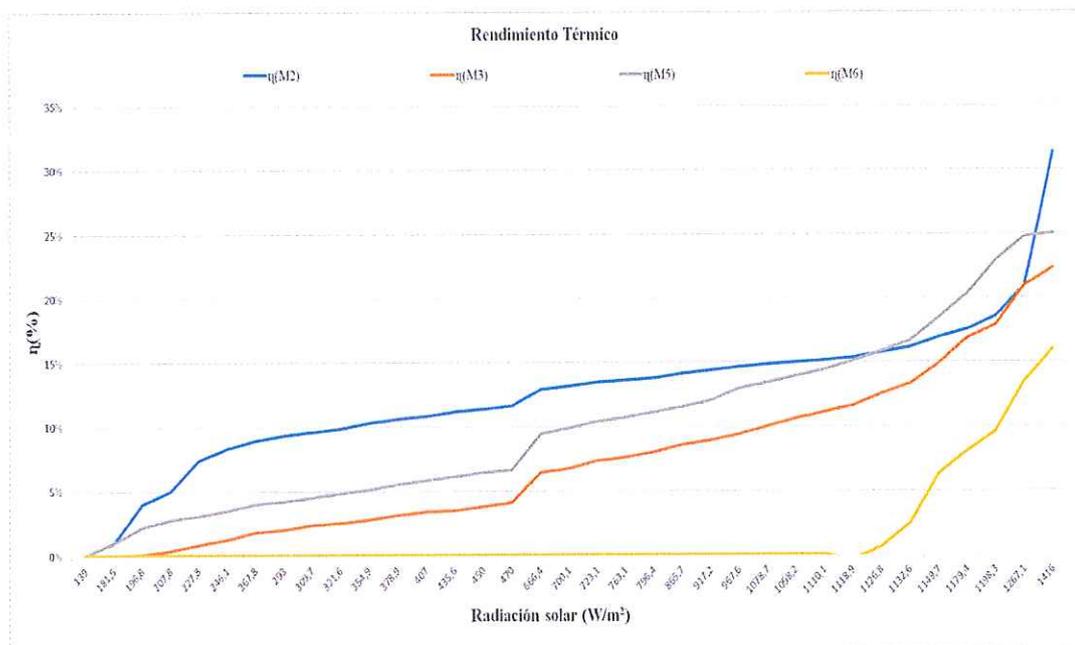


Figura 3.35: Comportamiento del rendimiento térmico comparativo en colectores solares con adición de aletas y variación de altura con velocidad de 7 m/s

En la figura 3.35 se muestra el comportamiento del rendimiento térmico comparativo de los colectores con el uso de aletas y variación de altura, la radiación solar incidente en este día va desde 139 a 1416 W/m², con un nivel de flujo de 0.037 kg/m³ constante durante la adquisición de datos y en igualdad de condiciones; donde el módulo 2 muestra un rendimiento térmico hasta de 31%, seguido del módulo 5 que llega a obtener un rendimiento térmico a partir de la mínima radiación captada, obteniendo en su punto máximo de radiación un rendimiento térmico de 25%, luego sigue el módulo 3 que empieza a presentar rendimiento térmico superior a partir de

estudio, cabe resaltar que estos rendimientos térmicos que se muestran en la figura son comparativos con respecto al módulo 1 (patrón de placa plana).

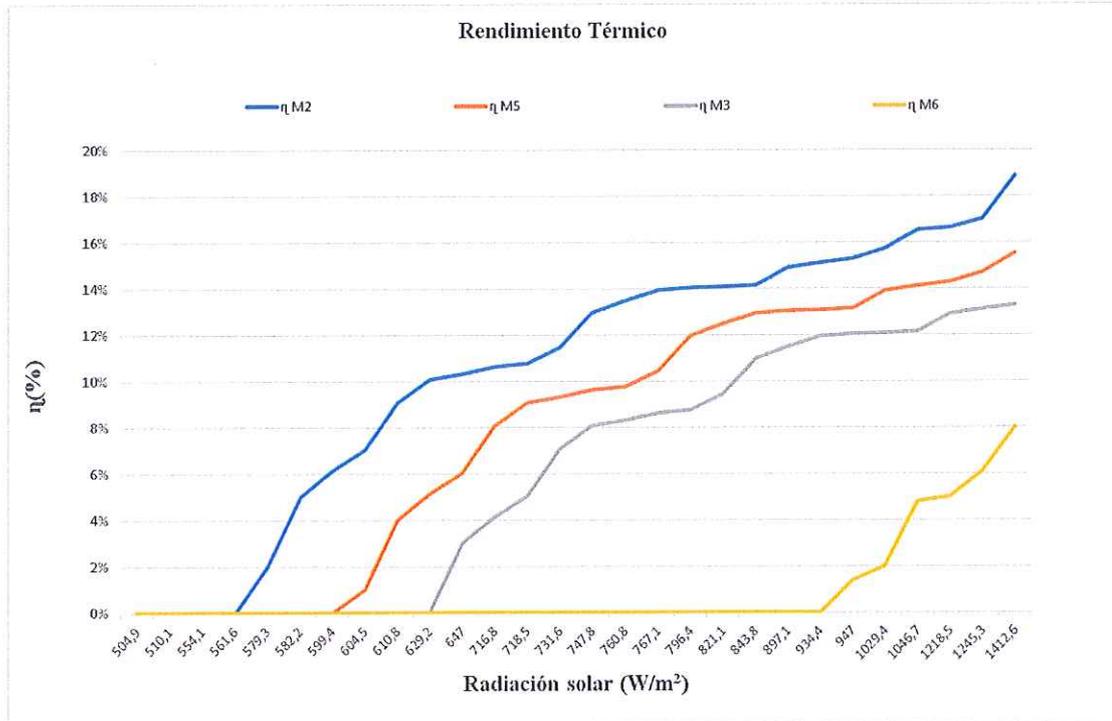


Figura 3.37: Comportamiento del rendimiento térmico comparativo en colectores solares con adición de aletas y variación de altura con velocidad de 9 m/s

En la figura 3.37 se muestra el comportamiento del rendimiento térmico comparativo de los colectores con el uso de aletas y variación de altura, la radiación solar incidente en este día va desde 504,9 a 1412,6 W/m², con un nivel de flujo de 0.048 kg/m³ constante durante la adquisición de datos y en igualdad de condiciones; el módulo 2, tiene un rendimiento térmico superior desde el valor de radiación de 561,6 W/m² y llegando a alcanzar hasta un 19%, el módulo 5 tiene un rendimiento térmico superior con una radiación mayor a 599,4 W/m², y logra alcanzar hasta un 16%, el módulo 3 tiene un rendimiento superior a partir de un valor de radiación de 629,2 W/m²; obteniendo hasta un 13% y por último se encuentra el módulo 6 que tiene un rendimiento térmico a partir de un valor de radiación mínima de 934,4 W/m², llegando a alcanzar hasta un 8%; cabe resaltar que estos rendimientos térmicos que se muestran en la figura son comparativos con respecto al módulo 1 (patrón de placa plana).

3.3 EVALUACIÓN TÉCNICO, SOCIAL AMBIENTAL, ECONÓMICA

3.3.1 Evaluación ambiental

El porcentaje de calor útil que proporciona los colectores solares a comparación de la misma cantidad de calor útil, pero con energías no renovables (combustibles fósiles); es relativamente pequeño, pero si se utilizaría a nivel mundial sería una gran cantidad de ahorro, como gasto en combustibles, cantidad de CO2 de contaminación al medio ambiente; por eso dicha opción sería una excelente manera de contribuir al medio ambiente en gran escala.

3.3.2 Evaluación técnica

El presente estudio favorece a tener un método que permita dimensionar colectores solares con diferentes placas absorbedoras y de esa manera aumentar el rendimiento térmico para las diferentes aplicaciones requeridas, además a saber la importancia de la selección de aletas en la placa absorbidora y saber en qué porcentaje incrementa cada una de ellas (cilíndrica, rectangular, triangular).

3.3.3 Evaluación social

Con estos sistemas de calentamiento de aire mediante colectores solares, se podría contribuir de una buena manera a la sociedad por diversos factores como su precio relativamente accesible y con un porcentaje alto de vida útil, permitiendo que en lugares que es de difícil acceso a los combustibles fósiles puedan tener un sistema continuo de calefacción para las diferentes aplicaciones de la vida diaria.

3.3.4 Evaluación económica

Tabla 3.16: Elementos Mecánicos

Elementos Mecánicos				
N.	Descripción	Cantidad	V. Unitario (USD)	V. 3Total (USD)

1	Placas de aluminio 2 mm espesor	3	25.00	75.00
2	Plancha de tol	1	25.00	25.00
3	Silicon	10	3.50	33.50
4	Pernos autoperforantes 3 mm	300	0.20	6.00
5	Plancha aluminio 3 mm de espesor 1mx2m	1	35.00	35.00
6	Pintura electroestática	6	15.00	90.00
7	Vidrio claro 0.98m x 0.48 m 4 mm espesor	2	7.50	15.00
8	Lamina de polarizado	1	5.00	5.00
9	Soldadura TIG por puntos	200	1.00	200.00
10	Tiñer litro	2	3.00	6.00
11	Tubo de aluminio 3in de diámetro	1	40.00	40.00
12	Limpia vidrio	1	4.00	4.00
13	Acoples de latón de 3 in Diámetro	6	3.00	18.00
14	Manguera negra 3 in diámetro 2 m	1	28.00	28.00
15	Abrazaderas metálicas 3 in	6	2.50	15.00
16	Codos PVC 3 in	6	1.80	10.80
17	Cinta de embalaje de invernadero	1	5.30	5.30
TOTAL				595.50

Tabla 3.17: Elementos electrónicos

Elementos electrónicos				
N.	Descripción	Cantidad	V. Unitario (USD)	V. Total (USD)

1	Termistores NTC	70	4.10	287.00
2	Sensor MAF Toyota	6	28.35	170.00
3	Placas electrónicas	6	40.00	240.00
TOTAL				697.00

Tabla 3.18: Descripción económica total

DESCRIPCION ECONOMICA TOTAL				
N.	Descripción	Cantidad	V. Unitario (USD)	V. Total (USD)
1	Elementos Mecánicos	1	595.50	595.50
2	Elementos electrónicos	1	697.00	697.00
3	Mano de obra (15 días)	1	15.00	225.00
4	Imprevistos	1	100.00	100.00
TOTAL				1617.50

4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1. CONCLUSIONES

- Mediante los estudios realizados se logró comprobar que el módulo 2 (aletas cilíndricas), refleja el mayor rendimiento térmico posible con respecto al módulo patrón y con todos los demás módulos alcanzando hasta un 43 % en convección natural o libre con un nivel de radiación de 1473,8 W/m².
- Los módulos 3 y 5 con adición de aletas (triangulares y rectangulares, respectivamente) llegan a obtener un rendimiento térmico comparativo con un valor mínimo de radiación de 222 W/m² y alcanzando un pico de 29%, y por su parte el módulo 3 que obtiene un rendimiento térmico comparativo, el valor mínimo de radiación 435.6 W/m² alcanzando un 26 % de rendimiento, cabe recalcar que los rendimientos que se indican son en convección natural y comparativos con respecto al módulo patrón, y en igualdad de condiciones.
- El módulo 6 es el que presenta menor rendimiento térmico comparativo con respecto al patrón, alcanzando un valor de 24 % con un valor mínimo de radiación de 380.1 W/m²,

por lo cual no sería recomendable ya que es el que en menor porcentaje supera al módulo patrón y mayor nivel de radiación y en convección natural o libre, mientras tanto entre mayor sea el nivel de flujo disminuye el rendimiento térmico.

- Los parámetros de diseño para la adición de aletas se realizaron mediante el cálculo de la efectividad donde se relaciona el calor transferido por la placa absorbadora plana y el calor transferido por la placa absorbadora con la adición de aletas.

4.2. RECOMENDACIONES

- Realizar experimentos con el tiro inducido en los ventiladores, ya que extraer calor es mejor que soplarlo como lo hacen los ventiladores con el tiro forzado, con el tiro forzado al salir el fluido a altas velocidades enfría el fluido y no se conserva el calor que los colectores transmiten al fluido.
- Se recomienda trabajar con niveles inferiores de flujo másico para comprobar si se obtiene mayores niveles de rendimiento térmico con respecto al módulo patrón.
- Para los estudios en convección libre o natural, fijar un entorno donde no tenga velocidades de viento elevados, ya que perturban las entradas y no tenemos una medición real.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] M. V. Espin, «Una brevísima historia de la arquitectura solar,» Instituto Juan de Herrera , Madrid , 1999.
- [2] J. J. Flores Fiallos y J. I. Rodríguez Guambo, «Implementación de un sistema de adquisición de datos de temperatura, radiación y humedad de un panel solar de tubos al vacío para el estudio de la energía solar aprovechable en la ciudad de Riobamba,» Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba , 2015.
- [3] S. J. G. Pozo, «Diseño, construcción y comparación de la eficiencia de dos colectores solares térmicos de baja temperatura en la ciudad de Cuenca,» Universidad de Cuenca , Cuenca , 2017.
- [4] J. C. Barrera Hernández, N. E. Ramírez Contreras y J. A. García Núñez , «Combustión de biomasa: conceptos, tecnologías y aplicaciones en agroindustria de la palma de aceite,» Revista Palmas , Bogotá, 2018.
- [5] M. Llorens Morraja, Calefacción, Barcelona : Ceac, 1994.
- [6] J. A. Duffie y W. a. Beckman, Solar Engineering of Thermal Processes, Photovoltaics and Wind, New Jersey: John Wiley & Sons, Inc, 2006.
- [7] J. O. Valderama, Información tecnológica, La Serena Chile : Centro de información tecnológica , 1997.
- [8] Y. A. Cengel, «Mecanismos de transferencia de calor,» de *Transferencia de calor y masa*, Nevada-Reno , Mc Graw Hill, 2007, pp. 17-27.
- [9] O. García Valladares y I. Pilatowsky Fegueroa, «Conceptos generales,» de *Aplicaciones térmicas de la energía solar en los sectores residencial, servicios e industrial*, Ciudad de México, Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Energías Renovables, 2017, pp. 27-28.
- [10] A. E. Ávila Gómez, J. . M. Mendoza Fandiño y J. F. Beltrán Sarmiento, «Evaluación energética de un colector solar de placa plana de doble cubierta,» Universidad Pontificia Bolivariana , Montería , 2010.
- [11] V. S. Fernández, «Valoración de colectores solares térmicos planos de vacío para la producción de frío,» Universidad Carlos III de Madrid , Madrid , 2008.
- [12] V. A. Camacho Morales y L. R. Cárdenas León , «Diseño y construcción de un prototipo de colector solar con tubos de calor de 25 litros para el calentamiento del agua,» Escuela Politécnica Nacional , Quito , 2013.
- [13] J. R. Vilorio, «Tipos de colectores y características,» de *Necesidades energéticas y propuestas de instalaciones solares* , España , Paraninfo , 2012, pp. 61-64.

- [14] F. Giovannetti y P. Horta, «Comparison of process heat collectors with respect to technical and economic conditions,» Institute for Solar Energy Research, USA, 2016.
- [15] J. D. Garzón Romero y J. C. Ramírez Sapuy, «Determinación de la eficiencia térmica instantánea y la temperatura de salida del colector solar pshc-1c, del sistema de entrenamiento en energía solar térmica, ubicado en la fundación universitaria los libertadores,» Fundación Universitaria los Libertadores , Bogotá , 2015.
- [16] O. García Valladares y I. Pilatowsky Figueroa , «Trayectorias del flujo de aire,» de *Aplicaciones térmicas de la energía solar en los sectores residencial, servicios e industrial*, Ciudad de México , Universidad Nacional Autónoma de México. Instituto de Energías Renovables, editor., 2017, pp. 59-62.
- [17] O. García Valladares y I. Pilatowsky Figueroa, «Principios y dispositivos conversores termosolares,» de *Aplicaciones térmicas de la energía solar en los sectores residencial, servicios e industrial*, Ciudad de México, Universidad Autónoma de México, Instituto de Energías Renovables, 2017, pp. 42-41.
- [18] Y. A. Cengel, «Transferencia de calor desde superficies con aletas,» de *Transferencia de calor y masa* , Reno , McGraw-Hill , 2007, pp. 159-165.
- [19] D. A. A. K. C. f. A. Research, «Experimental investigation of flat plate collector with cylindrical fins in a solar air heater,» *Journal of Industrial Pollution Control*, vol. 33, n° 2, pp. 1128-1131, 2017.
- [20] G. Durán, A. Blanc, F. Albeza, C. Martínez y M. Corndorí, «Diseño, construcción y ensayos en circuito cerrado de un colector solar de aire con matriz porosa,» *ASADES*, vol. 15, n° 0329-5184, pp. 21-29, 2011.
- [21] J. Quiñonez, A. Hernández y S. F. Flores Larsen, «Evaluación termoenérgica de un colector solar calentador de aire de doble paso en contracorriente diseñado para la calefacción de edificios,» *ASADES*, vol. 16, n° 0329-5184, pp. 55-62, 2012.
- [22] F. Chabane, N. Moumami y S. Benramac, «Effect of the Tilt Angle of Natural Convection in a Solar Collector with Internal Longitudinal Fins,» *International Journal of Science and Engineering Investigations*, vol. 1, n° 7, pp. 13-17, 2012.
- [23] J. Quiñonez Choquecota, «Investigación experimental de un calentador solar de aire de doble flujo de convección natural de alta eficiencia,» *Revista de Investigaciones Altoandinas*, vol. 21, n° 4, pp. 274-282, 2019.
- [24] F. López y A. Hernández, «Nuevo calentador solar de aire con matriz porosa selectiva desarrollo tecnológico y evaluación experimental,» *ASADES*, vol. 22, n° 2314-1433, pp. 02.37-02.48, 2018.
- [25] M. I. P. J. M. M. y L. G. R. Alba I. Lema, «Diseño, desarrollo y análisis térmico de un colector solar de aire con placa plana. estudio de eficiencia y exergía perdida.,» *ASADES*, vol. 28, n° ISSN 0328-932X, pp. 47-54, 2011.

- [26] J. A. Manrique, *Energía Solar. Fundamentos Y Aplicaciones Fototermicas*, México : Harla , 1984.
- [27] J. Q. Choquetota, «Rendimiento termo-energético del calentador solar de aire de doble paso de convección natural con placa corrugada y material poroso,» Universidad Nacional del Altiplano, Puno , 2019.
- [28] M. D. Albarracín Álvarez, «Análisis comparativo del rendimiento térmico de un colector solar de placa plana variando el tipo de vidrio en la cubierta,» Universidad Técnica de Cotopaxi, Latacunga, 2022.
- [29] M. X. Remache Sasig, «Análisis comparativo del rendimiento térmico entre un colector solar de placa plana y la adhesión de aletas en la placa absorbente,» Universidad Técnica de Cotopaxi , Latacunga , 2021.



ANEXO 1. INFORME ANTIPLAGIO PROYECTO DE TITULACIÓN

Facultad:	Ciencias de la Ingeniería y Aplicadas
Carrera:	Ingeniería Electromecánica
Nombre del docente evaluador que emite el informe:	Ing. Segundo Ángel Cevallos Betún M.Sc.
Documento evaluado:	Propuesta tecnológica previo a la obtención del título de Ingeniero Electromecánico.
Autores del documento:	Sr. Jhonny Enrique Liger Pereira Sr. Diego Fernando Miniguano Chanchicocha
Programa de similitud utilizado:	Sistema URKUND
Porcentaje de similitud según el programa utilizado:	3 %
Observaciones: Calificación de originalidad atendiendo a los siguientes criterios. <ul style="list-style-type: none">• El documento cumple criterios de originalidad, sin observaciones.• El documento cumple criterios de originalidad, con observaciones.• El documento no cumple criterios de originalidad.	--- -X- ---
Fecha de realización del informe:	22/02/2023 03:22:00 PM

Document Information

Analyzed document	Documento colectores antiplagio .docx (D158797344)
Submitted	2023-02-16 14:53:00
Submitted by	
Submitter email	diego.miniguano0075@utc.edu.ec
Similarity	3%
Analysis address	segundo.cevallos.2.utc@analysis.orkund.com

.....
PhD. Ing. Enrique Torres Tamayo
Director del Proyecto de la Propuesta Tecnológica

Document Information

Analyzed document	Documento colectores antiplagio .docx (D158797344)
Submitted	2023-02-16 14:53:00
Submitted by	
Submitter email	diego.miniguano0075@utc.edu.ec
Similarity	3%
Analysis address	segundo.cevallos.2.utc@analysis.arkund.com

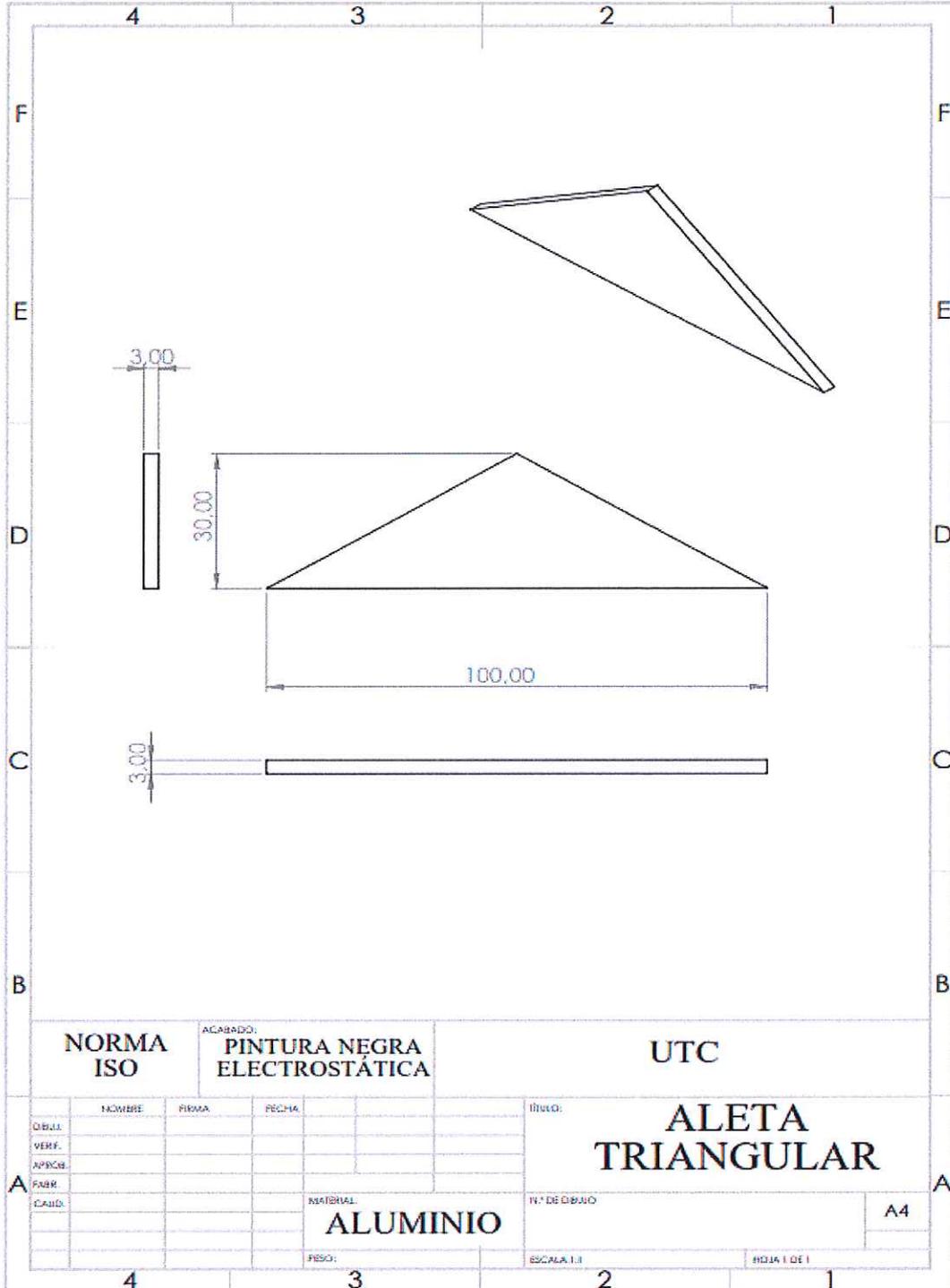
Sources included in the report

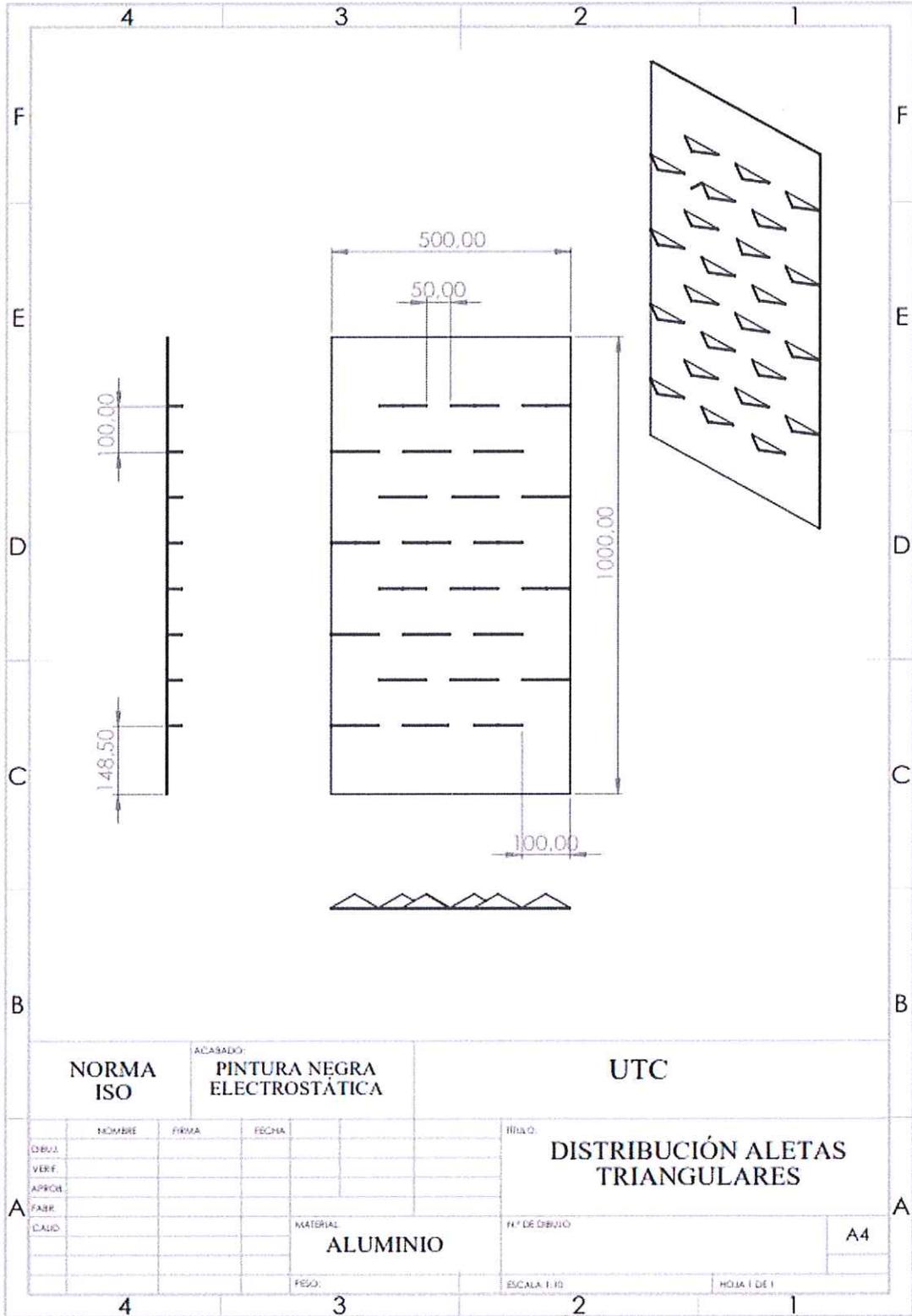
SA	UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI / Milton Remache formato Total MAURO.pdf Document Milton Remache formato Total MAURO.pdf (D116356878) Submitted by: mayra.alban@utc.edu.ec Receiver: mayra.alban.utc@analysis.arkund.com		7
SA	UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI / TESIS MAURO ALBARRACIN.pdf Document TESIS MAURO ALBARRACIN.pdf (D135400538) Submitted by: mauro.albarracin@utc.edu.ec Receiver: mauro.albarracin.utc@analysis.arkund.com		5
SA	UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI / TESIS SAILEMA.pdf Document TESIS SAILEMA.pdf (D118119036) Submitted by: mauro.albarracin@utc.edu.ec Receiver: mauro.albarracin.utc@analysis.arkund.com		1
SA	Tesis ok.docx Document Tesis ok.docx (D15026440)		1
W	URL: http://www.scielo.org.co/pdf/inde/n27/n27a06.pdf Fetched: 2020-12-21 08:51:19		1
W	URL: http://www.scielo.org.pe/pdf/tecnia/v30n1/2309-0413-tecnia-30-01-66.pdf Fetched: 2021-12-06 06:54:14		1
W	URL: http://portal.amelica.org/ameli/journal/367/3672541006/html/ Fetched: 2023-02-16 14:53:28		1

Entire Document

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA Y APLICADAS TITULO: Análisis comparativo del rendimiento térmico de colectores solares con adición de aletas y variación de altura en la placa absorbadora.

Autores: Liger Pereira Johnny Enrique Miniguano Chanchicocha Diego Fernando RESUMEN En la siguiente propuesta tecnológica se trata sobre





NORMA ISO

ACABADO:
PINTURA NEGRA ELECTROSTÁTICA

UTC

	NOMBRE	FIRMA	FECHA	
DESAJ.				
VERIF.				
APROB.				
FABR.				
CAJID.				

TITULO:
DISTRIBUCIÓN ALETAS TRIANGULARES

MATERIAL:
ALUMINIO

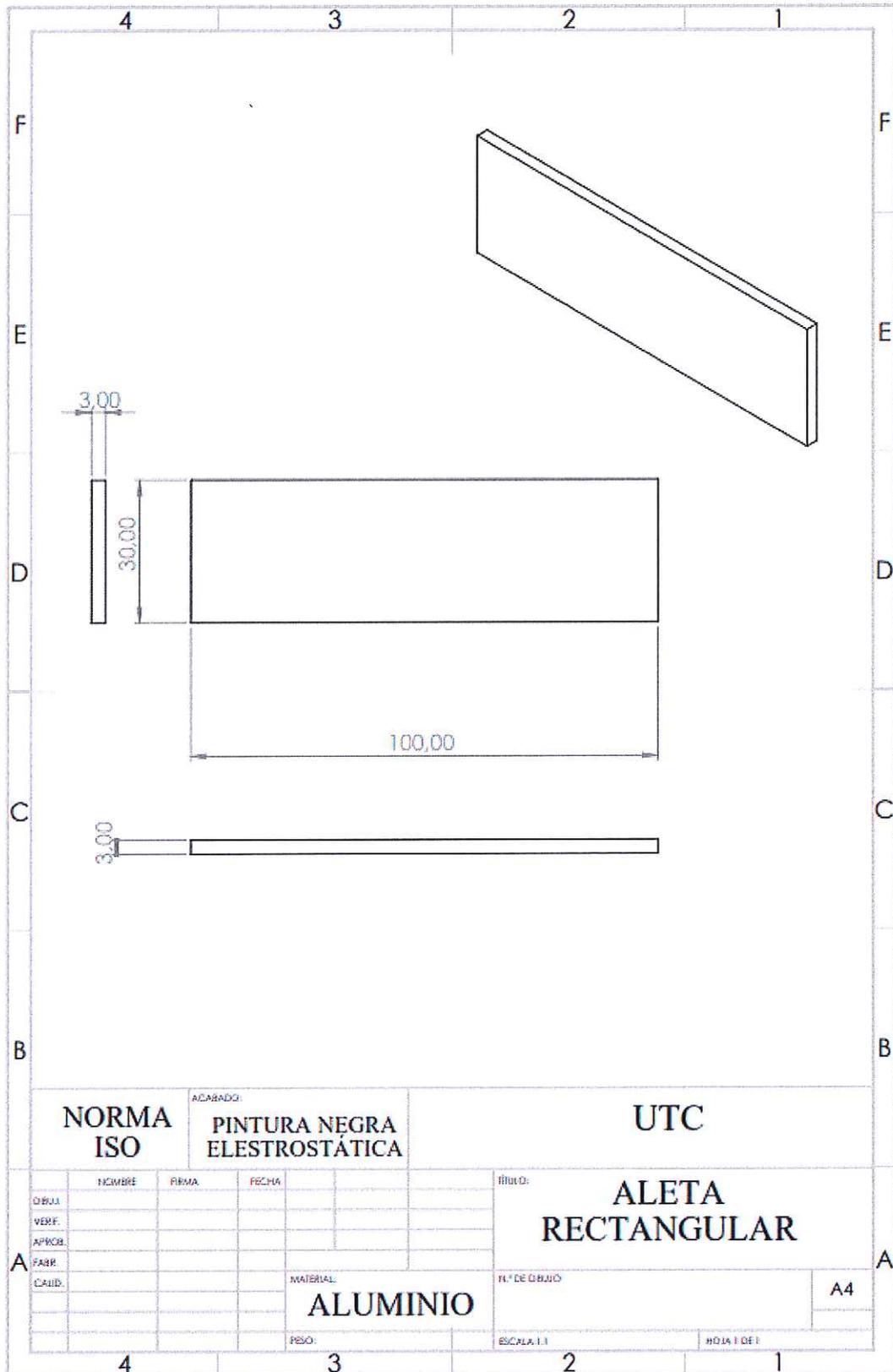
Nº DE DIBUJO:

A4

PESO:

ESCALA 1:10

HOLIA 1 DE 1



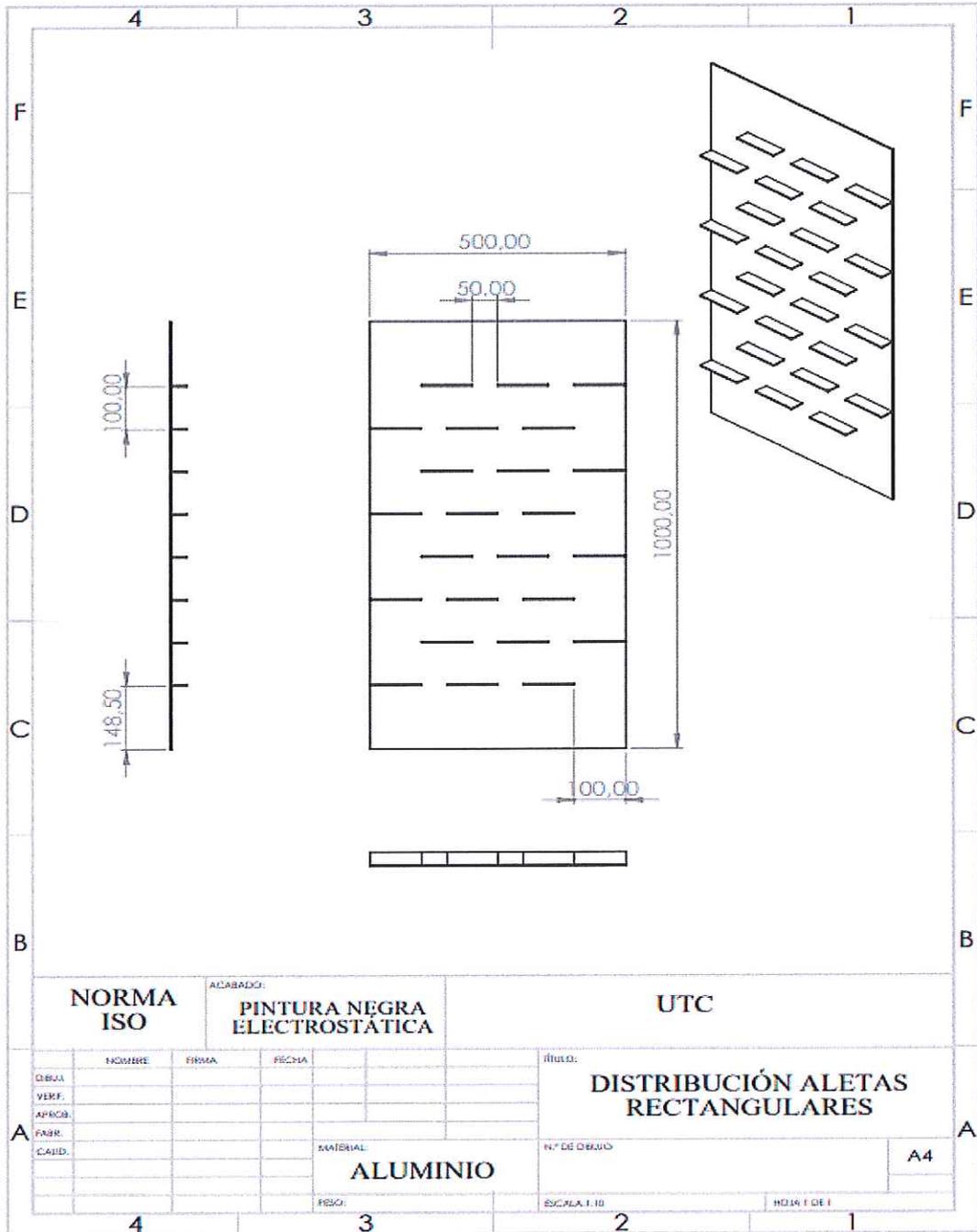
NORMA ISO

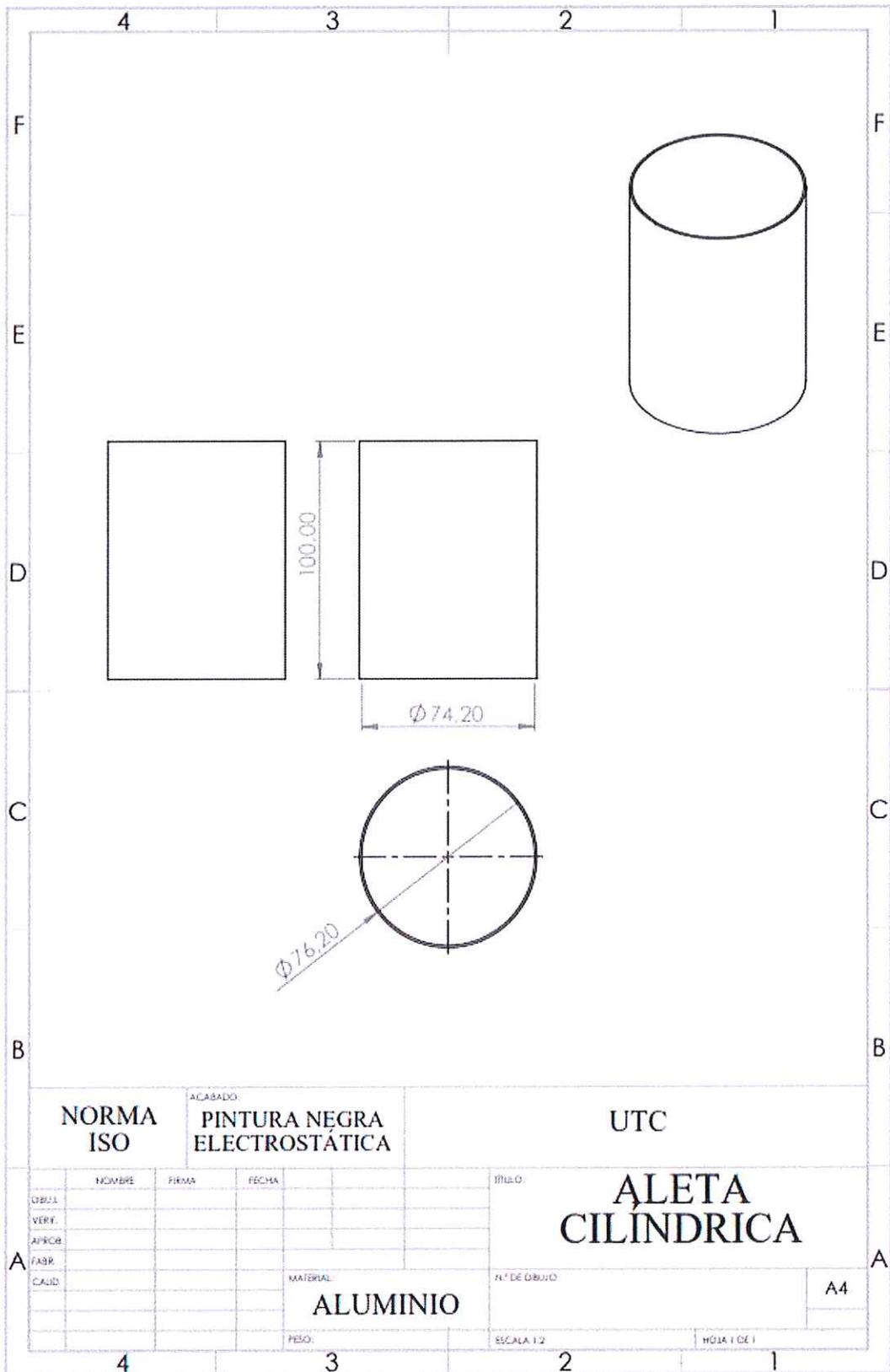
ACABADO:
**PINTURA NEGRA
ELECTROSTÁTICA**

UTC

	NOMBRE	FIRMA	FECHA
DIR.:			
VERIF.:			
APROB.:			
FABR.:			
CAJIB.:			

TÍTULO: ALETA RECTANGULAR	
MATERIAL: ALUMINIO	N.º DE DIBUJO: A4
PESO:	ESCALA: 1:1
	#DIA 1 DE 1





NORMA ISO

ACABADO:
PINTURA NEGRA ELECTROSTÁTICA

UTC

	NOMBRE	FIRMA	FECHA
DESA.			
VERIF.			
APROB.			
FABR.			
CAUD.			

TÍTULO:
ALETA CILÍNDRICA

MATERIAL:
ALUMINIO

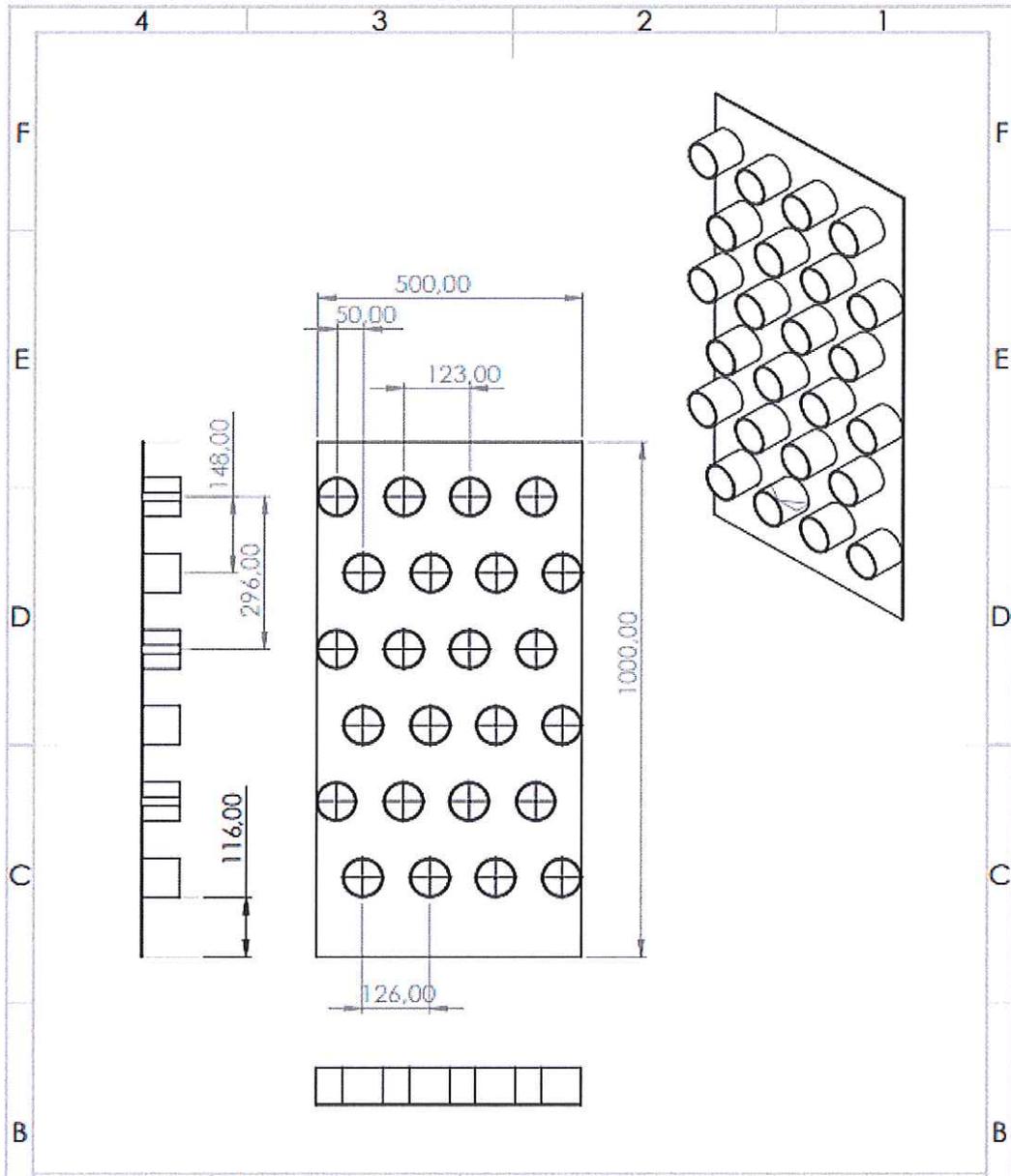
N.º DE DIBUJO:

A4

PESO:

ESCALA 1:2

HOJA 1 DE 1



NORMA ISO		ACABADO: PINTURA NEGRA ELECTROSTÁTICA		UTC	
DESUJ.	NOMBRE	FIRMA	FECHA	BUBLE: DISTRIBUCIÓN ALETAS CILÍNDRICAS	
VERIF.					
APROB.					
FABR.			Nº DE DIBUJO		
CAUD.			MATERIAL:	ALUMINIO	
			PESO:	ESCALA: 1:10	NÚMERO DE: A4

Anexo 8	Tema: Parámetros de diseño de aletas	1-1
----------------	---	------------

CALOR TRANSFERIDO POR LA PLACA ABSORBEDORA				
Datos obtenidos de tabla A4 Incropera				
w (Ancho de la placa) m	0,5	T amb (° C)	(° K)	Flujo másico (kg/s)
L (Longitud de la placa) m	1	20	293	0,01604
Área de la placa (m)	0,5			Conductividad del aluminio (W/m.K)
				237
		T pl (° C)	(° K)	Viscosidad cinemática (m ² /s)
Perímetro de la placa absorbadora (m)		85	358	1,845E-05
				Número de Prandtl
				0,70343
P = 2w + 2L		T m (° K)		Densidad (kg/m ³)
P = 2(0,5 m) + 2(1 m)		T m = T pl + T amb / 2		K aire (W/m.K)
3		T m = 358 °K + 293 °K / 2		0,028187
		325,5		
Área transversal de la placa absorbadora (m)				
A (Altura de la placa absorbadora al vidrio) m	0,13	Velocidad (m/s)		Nusselt
				q0 = h A (T pl - T amb)
Ac = w * A				
Ac = 0,5 m * 0,13 m		V = (0,01604 kg/s) / (1,076536 kg/m ³) * (0,065 m)		Nu = 0,664 * Re ^{1/2} * Pr ^{1/3}
0,065		0,22922525		Nu = 0,664 * (1076,75 ^{1/2}) * (0,70343 ^{1/3})
				19,377636
Dímetro hidráulico o equivalente (m)		Número de Reynolds		h de convección
dH = 4Ac/P				h = Nu * K aire / dH
dH = 4(0,065 m) / 3 m		Re = 0,2292 m/s * 0,086 m / 18,45 * 10 ⁻⁶ (m ² /s)		h = 19,37 * (28,187 * 10 ⁻³ W/m.K) / 0,086 m
0,0866667		1076,75816		6,302278

Figura G.1: Cálculo del calor transferido por la placa absorbadora en el software Excel

$$\begin{aligned}
 &+ \quad N := 24 \quad \eta_f := 0.97 \quad \theta_B := 65 \text{ K} \\
 &W := 0.5 \text{ m} \quad h := 6.32 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}} \quad Q_o := 205.4 \text{ W} \\
 &L_p := 1 \text{ m} \\
 &D := 0.0762 \text{ m} \quad L := 0.1 \text{ m} \\
 &L_c := L + \left(\frac{D}{4}\right) = 0.119 \text{ m} \\
 &A_f := \pi \cdot D \cdot L_c = 0.028 \text{ m}^2 \\
 &A_t := N \cdot A_f + \left(W \cdot L_p - N \cdot \frac{\pi \cdot D^2}{4}\right) = 1.075 \text{ m}^2 \\
 &Q_t := h \cdot A_t \cdot \left[1 - \frac{N \cdot A_f}{A_t} \cdot (1 - \eta_f)\right] \theta_B = [432.989] \text{ W} \\
 &E_f := \frac{Q_t}{Q_o} = [2.108]
 \end{aligned}$$

Figura G.2: Parámetros de diseño de las aletas cilíndricas en el software Mathcad

Anexo 9	Tema: Placas absorbedoras	1-1
----------------	--	-----



Figura H.1: Placa absorbadora con aletas triangulares



Figura H.2: Placa absorbadora con aletas rectangulares

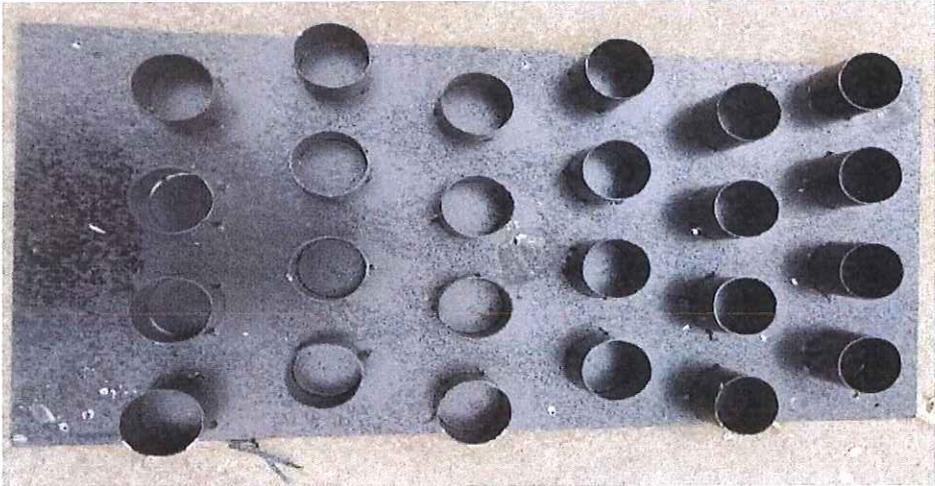


Figura H.3: Placa absorbadora con aletas cilíndricas



Figura I.1: Adquisición de datos de colectores solares con adición de aletas y variación de altura en igualdad de condiciones



Figura I.2: Adquisición de datos de colectores solares con placas planas absorbedoras en igualdad de condiciones



Figura J. 1: Cambio de placas absorbedoras en colectores solares



Figura J. 2: Armado de colectores solares