



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI

DIRECCIÓN DE POSGRADOS

MAESTRÍA EN ELECTROMECAÁNICA

MODALIDAD: PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

Título:

**ANÁLISIS COMPARATIVO DEL RENDIMIENTO TÉRMICO ENTRE UN
COLECTOR SOLAR DE PLACA PLANA Y LA ADHESIÓN DE ALETAS EN
LA PLACA ABSORBENTE.**

Trabajo de titulación previo a la obtención del título de Magister en Electromecánica

Autor:

Milton Xavier Remache Sasig.

Tutor:

PhD. Enrique Torres Tamayo.

LATACUNGA – ECUADOR

2021

AVAL DEL TUTOR

En mi calidad de Tutor del Trabajo de Titulación denominado “**Análisis comparativo del rendimiento térmico entre un colector solar de placa plana y la adhesión de aletas en la placa absorbente.**” presentado por “Milton Xavier Remache Sasig”, para optar por el título magíster en Electromecánica.

CERTIFICO

Que dicho trabajo de investigación ha sido revisado en todas sus partes y se considera que reúne los requisitos y méritos suficientes para ser sometido a la presentación para la valoración por parte del Tribunal de Lectores que se designe y su exposición y defensa pública.

Latacunga, diciembre, 07, 2021



.....
PhD. Enrique Torres Tamayo
C.C.: 1757121940

AVAL DEL TRIBUNAL

El trabajo de Titulación: “**Análisis comparativo del rendimiento térmico entre un colector solar de placa plana y la adhesión de aletas en la placa absorbente**”, ha sido revisado, aprobado y autorizado su impresión y empastado, previo a la obtención del título de Magíster en Electromecánica; el presente trabajo reúne los requisitos de fondo y forma para que el estudiante pueda presentarse a la exposición y defensa.

Latacunga, diciembre, 07, 2021



.....
Mg. Cristian Fabian Gallardo Molina
C.C.: 0502847692
Presidente del tribunal



.....
Mg. Byron Paúl Corrales Bastidas
C.C.: 050234776-8
Lector 2



.....
Mg. Luigi Orlando Freire Martínez
C.C.: 050252958-9
Lector 3

DEDICATORIA

Esta tesis está dedicada a todas las personas que luchan por construir una sociedad equitativa llena de valores, fortalezas y han estado presentes en los levantamientos de los pueblos.

A mis padres Oswaldo y Clara quienes, con su esfuerzo, paciencia, y eterno amor me han enseñado a llegar a cumplir mis metas, gracias por el ejemplo de lucha y ternura, por enseñarme a formar una nueva familia y por permitirme estar presente en las luchas sociales sin discrepancia alguna.

A mi nueva familia Doris, su madre Erlinda por su amor y apoyo en todo este proceso junto con nuestra hija Clarita, a todos mis hermanos por estar conmigo en todo momento con oraciones, consejos y palabras de aliento, siempre los llevo en mi corazón.

Milton Xavier Remache Sasig.

AGRADECIMIENTO


Este trabajo está dedicado a mi esposa Doris, a mi hija Clarita Eliana Remache Chimarro, a la universidad Técnica de Cotopaxi por permitirnos prepararnos.

Milton Xavier Remache Sasig.

RESPONSABILIDAD DE AUTORÍA

Quien suscribe, declara que asume la autoría de los contenidos y los resultados obtenidos en el presente trabajo de titulación.

Latacunga, diciembre, 07, 2021


.....
Milton Xavier Remache Sasig.
C.C.:0503165474

RENUNCIA DE DERECHOS

Quien suscribe, cede los derechos de autoría intelectual total y/o parcial del presente trabajo de titulación a la Universidad Técnica de Cotopaxi.

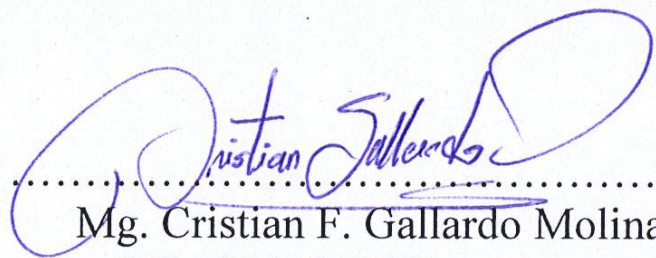
Latacunga, diciembre, 07, 2021

.....
Milton Xavier Remache Sasig.
C.C.:0503165474

AVAL DEL PRESIDENTE DEL TRIBUNAL

Quien suscribe, declara que el presente Trabajo de Titulación: “Análisis comparativo del rendimiento térmico entre un colector solar de placa plana y la adhesión de aletas en la placa absorbente”, contiene las correcciones a las observaciones realizadas por los lectores en sesión científica del tribunal.

Latacunga, noviembre, 29, 2021



.....
Mg. Cristian F. Gallardo Molina
C.C.: 0502847692

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI
DIRECCIÓN DE POSGRADO

MAESTRÍA EN ELECTROMECAÁNICA

Título: Análisis comparativo del rendimiento térmico entre un colector solar de placa plana y la adhesión de aletas en la placa absorbente.

Autor: Milton Xavier Remache Sasig

Tutor: PhD. Enrique Torres Tamayo

RESUMEN

Los colectores solares de placa plana absorben irradiación 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, y la esencial para nuestro inicio de estudios el secado agrícola de granos, entre los elementos que componen un colector solar tenemos, la placa colectora, la cámara de colección donde se da el efecto invernadero o ducto, placa protectora en nuestro caso vidrio, el aislamiento térmico, entre los factores que inciden en la eficiencia del sistema tenemos el ángulo de inclinación, incremento del área total de la placa colectora mediante la adhesión de diferentes formas geométricas, en nuestro caso de aletas rectangulares, se estudió la transferencia de calor por convección forzada con cuatro diferentes flujos masicos calculando también otros parámetros como son el diámetro hidráulico, número de Nusselt, numero de Reynolds, la diferencia de temperaturas de entrada y salida, el flujo de calor, entre los resultados obtenidos tenemos una temperatura de salida promedio de 34,52°C, un valor medio de eficiencia 64,76%, para la obtención de estos resultados se realizó el análisis de la energía solar térmica en la placa colectora, balance de energía en el sistema, aplicación de fórmulas teóricas de transferencia de calor y le elaboración de tablas con los datos obtenidos.

PALABRAS CLAVE: Colector solar, Placa absorbente, Irradiación solar, Energía térmica, Ducto, Efecto invernadero.

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI
DIRECCIÓN DE POSGRADO

MAESTRÍA EN ELECTROMECAÁNICA

TOPIC: Comparative analysis of thermal performance between a flat plate solar collector and fin bonding on the absorber plate.

Autor: Milton Xavier Remache Sasig

Tutor: PhD. Enrique Torres Tamayo

ABSTRACT

The flat plate solar collectors absorb solar radiation on the absorber plate and convert it into thermal energy that is transferred to the fluid circulating through the collecting chamber, the applications are very broad such as for heating homes or hospitals, wood drying, refrigeration systems, Among the elements that make up a solar collector we have, the collector plate, the collection chamber where the greenhouse effect or duct, protective plate in our case glass, thermal insulation, among the factors that affect the efficiency of the system we have the angle of inclination, increase of the total area of the collector plate by means of the adhesion of different geometric shapes, in our case rectangular fins, the heat transfer by forced convection was studied with four different mass flows calculating also other parameters such as the hydraulic diameter, Nusselt number, Reynolds number, the difference of inlet and outlet temperatures, The results obtained include an average outlet temperature of 34.52°C, an average efficiency value of 64.76%. In order to obtain these results, an analysis of the solar thermal energy in the collector plate, energy balance in the system, application of theoretical formulas for heat transfer and the preparation of tables with the data obtained were carried out.

KEYWORDS: Solar collector, Absorber plate, Solar irradiation, Thermal energy, Duct, Greenhouse effect.

Yo, Mg Marco Paúl Beltrán Semblantes con cédula de identidad número 0502666514 Licenciado en Ciencias de la Educación especialización Inglés con número de registro de la SENESCYT: 1020-06-701921; **CERTIFICO** haber revisado y aprobado la traducción al idioma inglés del resumen del trabajo de investigación con el título: "Análisis comparativo del rendimiento térmico entre un colector solar de placa plana y la adhesión de aletas en la placa absorbente." de: Milton Xavier Remache Sasig aspirante a Magíster en Electromecánica.



Mg. Marco Paúl Beltrán Semblantes
0502666514



CENTRO
DE IDIOMAS

Latacunga, diciembre, 09, 2021

ÍNDICE DE CONTENIDOS

ÍNDICE DE CONTENIDOS.....	x
INDICE DE FIGURAS.....	xii
INDICE DE TABLAS	xiii
INTRODUCCIÓN	1
1. CAPÍTULO I. MARCO TEÓRICO REFERENCIAL PARA EL ANÁLISIS DE LOS COLECTORES SOLARES PLANOS.....	8
1.1. Introducción.....	8
1.2. Generalidades sobre los colectores solares planos	8
1.2.1. Aspectos generales de la energía solar.....	9
1.2.1.1. Radiación solar directa.....	11
1.2.1.2. Radiación solar difusa.....	12
1.2.1.3. Radiación solar reflejada.....	12
1.3. Investigaciones precedentes relacionadas con los colectores solares planos	16
1.3.1. Diseño y construcción de colectores solares planos	25
1.3.1.1. Principio de funcionamiento del colector solar plano y designación de materiales a ser utilizados para ensamblar el prototipo.	26
1.3.1.2. Cubierta.....	27
1.3.1.3. Aislamiento térmico.....	28
1.3.1.4. Carcasa.....	30
1.3.1.5. Placa absorbente	30
1.4. Análisis de los colectores solares planos como objeto de modelación matemática	30
1.5. Conclusiones:.....	31
2. CAPÍTULO II. MATERIALES Y MÉTODOS RELACIONADOS CON LOS COLECTORES SOLARES PLANOS	33
2.1. Introducción.....	33
2.2. Procedimiento para el diseño y construcción de un colector de placa plana con los parámetros iniciales de control para la recolección de datos	33
2.2.1. Principales instrumentos utilizados para la medición y control de las variables involucradas en el proceso de recolección de datos.....	36
3. CAPÍTULO III. RESULTADOS Y SU VALORACIÓN	58
3.1. Introducción.....	58

3.2. Resultados del cálculo para el rendimiento térmico teórico en el colector de placa plana.	58
3.3. Resultados de las mediciones experimentales.....	67
3.4. Valoración económica de la propuesta del colector solar con el uso de aletas.	81
CONCLUSIONES	83
RECOMENDACIONES	84
BIBLIOGRAFÍA	85
ANEXOS.....	89

INDICE DE FIGURAS

Fig. 1. Diagrama causa-efecto.	2
Fig. 2. Espectro solar en el tope de la atmósfera y al nivel del mar [7].	10
Fig. 3. La radiación solar [11].	11
Fig. 4. Efectos de la radiación en la cubierta protectora.	13
Fig. 5. Pérdidas térmicas en un colector [9].	16
Fig. 6. Elementos que constituyen un colector de placa plana.	26
Fig. 7. Balance energético colector placa plana.....	31
Fig. 8. Entradas y salidas Módulo Master [28].....	37
Fig. 9. Distribución de sensores.....	38
Fig. 10. Esquemático distributivo de elementos prototipo instalado.	38
Fig. 11. Aleta rectangular.	51
Fig. 12. Eficiencia de la aleta.	53
Fig. 13. Área total de la placa colectora.	54
Fig. 14.a) Distribución de aletas vista lateral, b) vista superior.	55
Fig. 15. a) Instalación experimental, b) Colector solar plano (patrón-prueba recolecciones datos), c) Estación meteorológica.	59
Fig. 16. Ventilador.	59
Fig. 17. Termo-anemómetro.....	60
Fig. 18. Termómetro infrarrojo Fluke-62max.	60
Fig. 19. Estación meteorológica.	61
Fig. 20. Ubicación geográfica de la ciudad de Latacunga.....	63
Fig. 21. Intensidad de radiación solar directa máxima promedio.	64
Fig. 22. Temperatura de salida vs radiación solar 5 horas (P6).	70
Fig. 23. Temperatura de salida vs radiación solar 5 horas (P5).	71
Fig. 24. Temperatura de salida (p5) vs temperatura de salida (p6) 5 horas en función de la radiación en 5 horas.	72
Fig. 25. Calor útil ganado por el fluido colector con aletas vs colector sin aletas.	73
Fig. 26. Eficiencia del colector solar con aletas.	74
Fig. 27. Eficiencia del colector solar día 20 con aleta y sin aleta.	75
Fig. 28. Eficiencia del colector solar día 22 con aleta y sin aleta.	76
Fig. 29. Eficiencia del colector solar día 24 con aleta y sin aleta.	77
Fig. 30. Eficiencia del colector solar día 27 con aleta y sin aleta.	79
Fig. 31. Eficiencia del colector en los distintos días (horas de funcionamiento).....	80

INDICE DE TABLAS

TABLA I. SISTEMA DE TAREAS EN RELACIÓN A LOS OBJETIVOS ESPECÍFICOS.	4
Tabla. II. DIMENSIONES COLECTOR SOLAR [23].	24
TABLA III. VALORES TÍPICOS DE EFICIENCIA DE COLECTORES SOLARES.	50
TABLA IV. DATOS GEOGRÁFICOS DE LATACUNGA.	62
TABLA V. ZONAS DE RADIACIÓN SOLAR EN EL ECUADOR.	64
TABLA VI. VALORES PROMEDIO DE IRRADIACIÓN SOLAR EN LAS PROVINCIAS DEL ECUADOR.	65
TABLA VII. HISTÓRICO CLIMÁTICO PARA LA CIUDAD DE LATACUNGA.	66
TABLA VIII. DIMENSIONES Y PARÁMETROS FUNDAMENTALES DEL COLECTOR.	66
TABLA IX. DATOS RECOLECTADOS COLECTOR SIN ADHESIÓN DE ALETAS (P6).	68
TABLA X. DATOS RECOLECTADOS COLECTOR CON ADHESIÓN DE ALETAS (P5).	69
TABLA XI. TEMPERATURA DE SALIDA VS RADIACIÓN SOLAR 5 HORAS (P6).	70
TABLA XII. TEMPERATURA DE SALIDA VS RADIACIÓN SOLAR 5 HORAS (P5).	71
TABLA XIII. TEMPERATURA DE SALIDA (P5) VS TEMPERATURA DE SALIDA (P6) 5 HORAS EN FUNCIÓN DE LA RADIACIÓN EN 5 HORAS.	72
TABLA XIV. CALOR ÚTIL GANADO POR EL FLUIDO COLECTOR CON ALETAS VS COLECTOR SIN ALETAS.	73
TABLA XV. EFICIENCIA DEL COLECTOR SOLAR CON ALETAS.	74
TABLA XVI. EFICIENCIA DEL COLECTOR SOLAR DÍA 20 CON ALETA Y SIN ALETA.	75
TABLA XVII. EFICIENCIA DEL COLECTOR SOLAR DÍA 22 CON ALETA Y SIN ALETA.	76
TABLA XVIII. EFICIENCIA DEL COLECTOR SOLAR DÍA 24 CON ALETA Y SIN ALETA.	77
TABLA XIX. EFICIENCIA DEL COLECTOR SOLAR DÍA 27 CON ALETA Y SIN ALETA.	78
TABLA XX. EFICIENCIA DEL COLECTOR EN LOS DISTINTOS DÍAS (HORAS DE FUNCIONAMIENTO).	79
TABLA XXI. VALORACIÓN ECONÓMICA COLECTOR SIN ALETAS.	81
TABLA XXII. VALORACIÓN ECONÓMICA COLECTOR CON ALETAS.	82

INTRODUCCIÓN

El presente trabajo de investigación está fundamentado dentro del plan nacional de desarrollo 2021-2025, “Creación de Oportunidades”, donde un rumbo primordial del objetivo 11, política 11.2-E8 es “Promover el uso de técnicas de explotación de los recursos naturales renovables que minimicen el impacto sobre el medio ambiente y que respete los ciclos de regeneración biológica” [1], este objetivo se basa principalmente en **ampliar la matriz energética basada en energías renovables y otras no convencionales**, teniendo el enfoque claro y el campo de acción a desarrollar y siendo conocedores del compromiso de la Universidad Técnica de Cotopaxi con la vinculación a la comunidad la línea de investigación se basa en el estudio de las **energías alternativas y renovables, eficiencia energética y protección ambiental**, con los escenarios descritos, en la actualidad los estudios se basan en el rendimiento de los sistemas basados en energías renovables por ende la sublínea elegida para el desarrollo de la investigación se enfoca en la **Eficiencia energética en sistemas electromecánicos y el uso de fuentes renovables de energía**, teniendo presente la sublínea el tema de estudio, el tema a investigar consiste en el **análisis comparativo del rendimiento térmico entre un colector solar de placa plana y la adhesión de aletas en la placa absorbente**.

En la actualidad a nivel mundial se conoce sobre la utilización de energías renovables y la aplicación en los distintos campos de la ingeniería, la energía solar térmica puede ser empleada en diversas aplicaciones, en el caso de los colectores solares planos por convección forzada existen incrementos de pérdidas por fricción y por deflexión tanto en la superficie del cristal o placa protectora como en la superficie de la placa absorbedora, por los aspectos mencionados es difícil conocer el rendimiento de los mismos, **la situación problemática** a resolver se basará en cómo aumentar la tasa de transferencia de temperatura entre la corriente de aire forzada variando el caudal en la placa absorbente.

En el diagrama de Ishikawa, figura 1 se describen los efectos en relación a las causas que permiten el análisis de los aspectos problemáticos no resueltos para el inicio del estudio, donde se menciona las normativa y métodos constructivos, equipos de medición adecuados, además se puede mencionar aspectos técnicos como la carencia de conocimiento en el comportamiento de la radiación solar, el caudal de aire ambiente no controlado, entro otros aspectos.

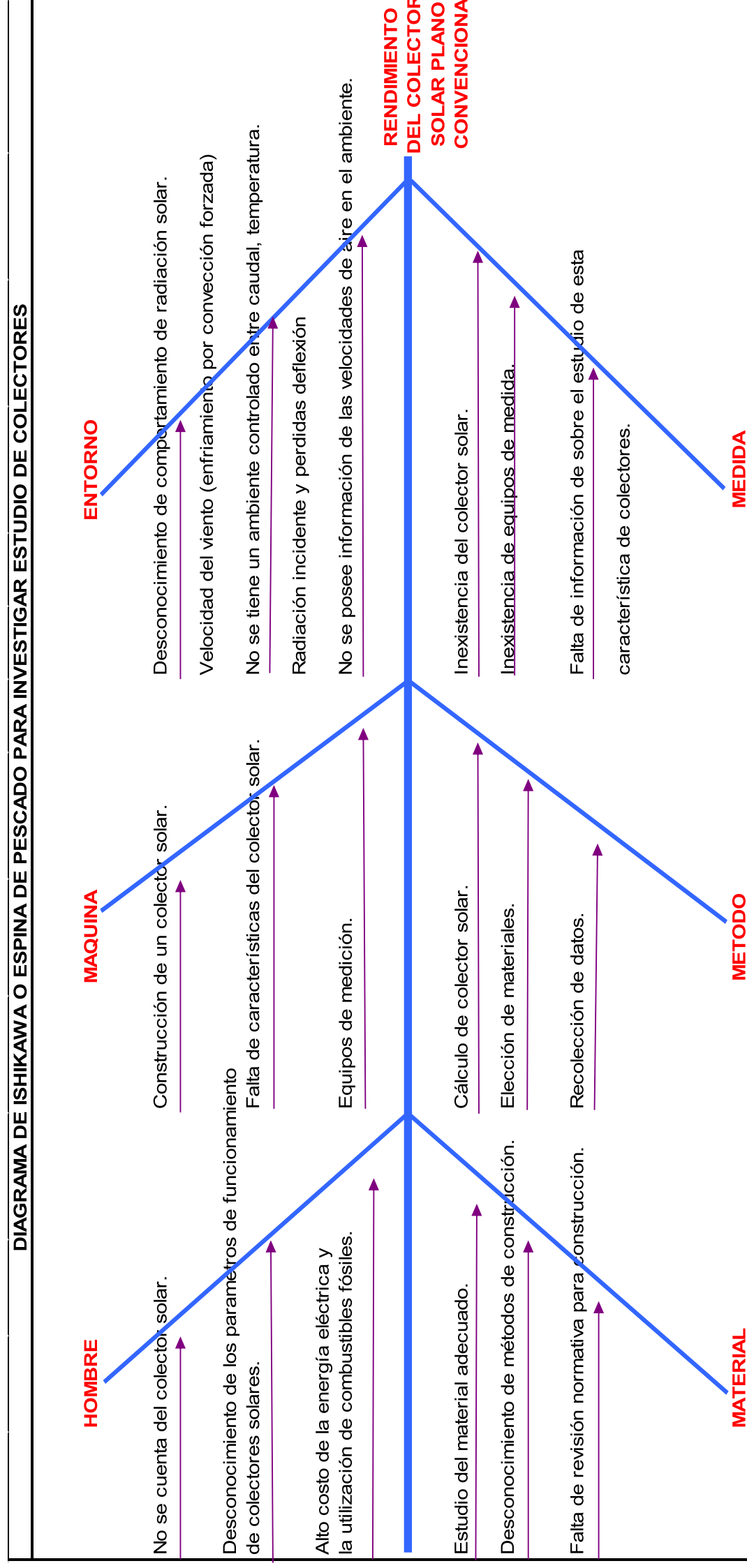


Fig. 1. Diagrama causa-efecto.

A partir de los elementos señalados y desconocimientos descritos anteriormente se deriva el **problema a resolver**, el cual se basa en conocer: ¿cómo influye la radiación solar incidente, flujo másico de aire, la transferencia de calor por convección y la adhesión de aletas en la placa absorbente, en el rendimiento térmico y la temperatura de salida del aire.?

El **objetivo general** de la investigación está dado en establecer el comportamiento del rendimiento térmico del colector solar de placa plana y el análisis comparativo, con la adhesión de aletas en la placa absorbente.

En correspondencia con el objetivo planteado se definen los **objetivos específicos**:

- Describir los fundamentos teóricos relacionados con el estudio de los colectores solares de placa plana para el calentamiento del flujo de aire y su importancia en la reducción de los consumos energéticos.
- Desarrollar el procedimiento de cálculo que permita el diseño y construcción de un colector solar de placa plana y la adhesión de aletas en la placa absorbente.
- Analizar, desde el punto de vista experimental, el comportamiento de los parámetros de trabajo del colector y su influencia en el rendimiento térmico y la temperatura de salida del aire.

Para darle cumplimiento al objetivo general y específicos de la investigación se describen las actividades a realizar en la tabla 1.0 del sistema de tareas en relación de los objetivos específicos.

TABLA I. SISTEMA DE TAREAS EN RELACIÓN A LOS OBJETIVOS ESPECÍFICOS.

Sistema de tareas en relación de los objetivos específicos.				
Objetivo general	Objetivos específicos	Actividades (tareas)	Resultado de la actividad	descripción de la actividad (técnica e instrumentos)
Establecer el comportamiento del rendimiento térmico del colector solar de placa plana y el análisis comparativo, con la adhesión de aletas en la placa absorbente.	Describir los fundamentos teóricos relacionados con el estudio de los colectores solares de placa plana, el calentamiento del flujo de aire y su importancia en la reducción de los consumos energéticos.	Revisión de la teoría relacionada con el colector solar de placa plana.	Datos para la elección de un modelo de pruebas. Diseñar en un programa. Teoría para la fabricación del Equipo.	Utilización de publicaciones sobre colectores solares. Software de diseño. Utilización de máquinas y herramientas necesarias.
		Adquisición de datos técnicos y normativas aplicadas.	Conocimiento de insolación directa en el Ecuador.	Colorímetro, Estación, meteorológica, Anemómetro, Flujómetro, Termohigrómetro.
			Máxima transferencia de temperatura ambiente-caudal de aire ambiente.	
			Comportamiento de la temperatura ambiente y velocidad del viento, Estación meteorológica.	

	<p>Desarrollar el procedimiento de cálculo que permita el diseño y construcción de un colector solar de placa plana y la adhesión de aletas en la placa absorbente, instalación de la estación meteorológica que permita la recolección de datos patrón para asumir temperaturas reales.</p>	<p>Revisión de la teoría relacionada con el cálculo del captador solar, coeficientes de transferencia de calor, ley de Newton del enfriamiento, eficiencia óptica entre otros.</p>	<p>Conocer la eficiencia del colector solar de placa plana convencional.</p>	<p>Programa de extracción de datos, Word, Mathcad, Excel, Pc.</p>
	<p>Revisión de las dimensiones de aletas en la placa absorbente en captadores solares.</p>	<p>Conocer la eficiencia del colector con la adhesión de aletas en la placa absorbente.</p>		
	<p>Conocimiento sobre el caudal de aire.</p>		<p>Variación de temperatura y caudal de viento en el interior de la cámara colectora.</p>	

	<p>Analizar las mediciones de los parámetros de trabajo del colector y su influencia en el rendimiento térmico y la temperatura de salida del aire.</p>	<p>Toma de datos y consideración de las variables de entrada y salida y el número de pruebas viables para brindar datos confiables de la investigación.</p> <p>Análisis de los datos obtenidos, (representación de graficas de funcionamiento)</p> <p>Redacción del análisis comportamiento del colector solar.</p>	<p>Entrega de resultados del estudio del comportamiento del colector solar.</p>	<p>Excel, Word, Colorímetro, Estación, meteorológica, Anemómetro, Flujómetro, Termohigrómetro.</p>
--	---	---	---	--

El tema de investigación nos permitirá **justificar** el rendimiento de transferencia de temperatura al utilizar la adhesión de aletas en la placa absorbente en el colector solar de placa plana convencional, analizaremos la temperatura por medio de la transferencia de calor por convección y radiación al caudal de aire que circula a través del colector.

Para tener conocimiento sobre los cambios climatológicos del área donde se realizará el estudio, se realizará compilación de datos de la radiación solar, con la recolección de datos se tendrá la noción clara sobre el material a elegir para la construcción del colector.

En la parte superior se presentó el diagrama de Ishikawa gráfico 1, donde se presenta la problemática principal y a continuación se desglosa los problemas a resolver en el entorno que la principal dificultad es el desconocimiento de la cantidad de radiación solar, seguimos con la medida donde se identifica que no se posee el colector solar ni los instrumentos de medida, en la máquina se realizará la fabricación del colector, en el método se efectuara el cálculo, elección de materiales y normativa, para cumplir con la **hipótesis** de la investigación se realizara las mediciones de condiciones del área de estudio y así poder concertar **el análisis de los parámetros de trabajo del colector solar con la adhesión de aletas en la placa absorbente incrementará el rendimiento térmico y la temperatura de salida del aire.**

1. CAPÍTULO I. MARCO TEÓRICO REFERENCIAL PARA EL ANÁLISIS DE LOS COLECTORES SOLARES PLANOS

1.1. Introducción

En este capítulo se efectúa una búsqueda de los artículos científicos y bibliografía especializada relacionados con colectores de placa plana convencional y la adhesión de aletas, los estudios realizados en la placa absorbedora y modelos construidos, es por ello que un punto fundamental consiste en señalar las generalidades del funcionamiento de los colectores solares planos, procediendo con la radiación solar, luego se continúa con la descripción de las partes que constituyen el colector solar plano, modos de transferencia de calor por conducción, convección, radiación en los colectores solares planos, tipos de colectores, trabajos realizados en colectores solares planos, seguidamente se realizará un análisis de las investigaciones seleccionadas sobre colectores solares planos, formando así un marco metodológico a partir del estudio de trabajos preliminares.

En el **presente capítulo** se exponen trabajos anteriormente realizados a distintos tipos de captadores solares planos, el **objetivo** principal es describir los elementos teóricos relacionados con el estudio de los colectores solares de placa plana para el calentamiento del flujo de aire y su importancia en la reducción de los consumos energéticos.

1.2. Generalidades sobre los colectores solares planos

Dada la situación actual de los países en cuanto políticas y reglamentos dictados por los gobiernos en la utilización de energías renovables en las edificaciones, su énfasis en incrementar la producción a bajo costo en los sectores más desfavorables, mejorar el acceso a la electricidad y servicios básicos a las poblaciones más alejadas, y a sabiendas que la principal fuente de ingresos de estas poblaciones radica en la agricultura, ganadería, muchas investigaciones se realizan en como conservar estos recursos mediante el secado de los granos y la conservación de lácteos, el colector solar plano es uno de los procesos más empleados actualmente, teniendo una variante amplia

entre los modelos mencionamos, el colector solar de placa con cubierto y sin cubierta [2], el componente utilizado para la transferencia de calor puede ser agua, aire o mezclas de líquidos (grafeno acetona, grafeno agua) [3], en los sistemas que utiliza agua o mezclas de líquidos se puede operar con la gravedad como elemento impulsor o instalar en serie una bomba centrífuga para la circulación, el colector solar que opera con aire como elemento de transferencia de calor puede ser forzado por medio de un ventilador o por circulación natural esto se daría por la densidad del flujo de aire, se calentaría el aire y se desplazaría a la parte superior mientras que el aire frío descendería a la superficie del colector [4], [5], el colector solar plano funciona como un intercambiador de calor que convierte la energía radiante (radiación solar) en energía térmica y así aumenta la temperatura de un fluido de trabajo contenido en la recámara del colector que en nuestro caso será el aire.

Entre las aplicaciones más utilizadas del colector solar de placa plana se mencionan el calentamiento de agua para casas unifamiliares, piscinas, aclimatación de áreas en hogares en épocas frías (calefacción) [6], entre las más utilizadas, sin dejar de recalcar la antes mencionada que se deriva de la necesidad de nuestra población en el campo, el secado de granos, a continuación, vamos a describir los factores y aspectos generales de la energía solar.

1.2.1. Aspectos generales de la energía solar

La importancia de la energía solar en nuestros medios de producción y vida diaria es muy evidente para el campo de la ingeniería, es así que estudiaremos cómo mejorar el rendimiento en los colectores solares de placa plana, la energía solar es utilizada y desarrollada muy lentamente en el Ecuador, pero con el pasar del tiempo nos damos cuenta que es una de las energías más beneficiosas y simples de utilizar con el conocimiento adecuado de los sistemas colectores adecuados.

La energía solar térmica consiste en la captación de la radiación del sol, (energía electromagnética en forma de onda) y su transformación en calor para su aprovechamiento en diversas aplicaciones [7], la energía solar proviene de una esfera

de gases a alta temperatura con un diámetro aproximado de 1.39×10^9 m [8], llega a la tierra a través del espacio, para la aplicación de la energía radiante en colectores solares debe de tenerse en cuenta la longitud de onda para aprovechar el potencial incidente de la irradiación solar y convertir en trabajo útil, en la figura 1 podemos diferenciar la zona de onda corta que va desde 200 nm ($0,2\mu\text{m}$), hasta 2000 nm ($2 \mu\text{m}$), teniendo un aproximado del 94% de irradiación solar en esta zona [9].

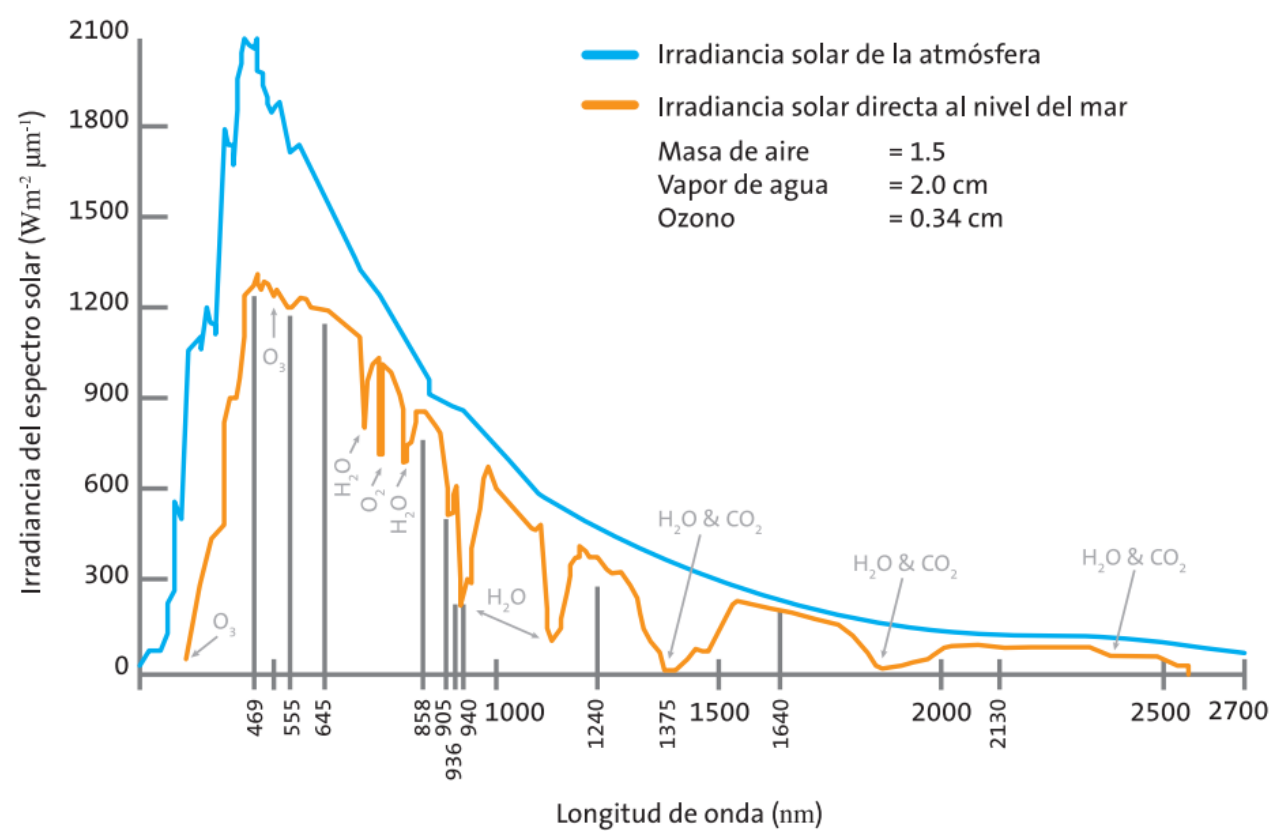


Fig. 2. Espectro solar en el tope de la atmósfera y al nivel del mar [7].
Fuente: (Aplicaciones térmicas de la energía solar, 2017)

En la figura 2 se puede observar la radiación solar en la atmósfera representada con un color celeste llegando a valores de 2100 W/m^2 , la atmósfera impide el paso de la radiación solar de longitudes de onda inferiores a 290 nm es decir actúa como filtro para evitar el paso de ondas ultravioleta que nos causa graves daños a la salud, mientras que el color tomate se representa la radiación solar directa al nivel del mar llegando a radiaciones de espectro solar de 1353 W/m^2 aproximadamente [8], por lo antes mencionado tendremos tres tipos de radiación incidente en el colector solar los cuales serán radiación solar directa, radiación solar difusa y radiación solar reflejada las cuales describiremos más adelante.

La intensidad de la radiación solar depende de los siguientes factores [10]:

- Altura solar, (latitud, fecha, hora del día).
- Ubicación del colector, (inclinación, área de estudio).
- Condiciones atmosféricas, (humedad, nubosidad, contaminación).
- Altura sobre el nivel del mar.

La intensidad de la radiación solar incidente es la suma de la radiación solar directa, difusa y reflejada mencionadas anteriormente.

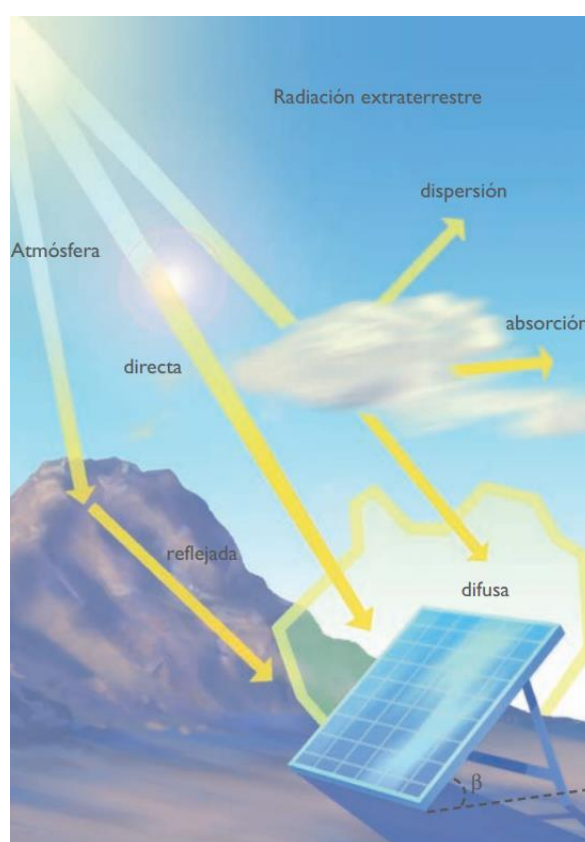


Fig. 3. La radiación solar [11].

Fuente: (Energías renovables y eficiencia energética, 2008)

1.2.1.1. Radiación solar directa

La radiación solar viaja a través del espacio hasta llegar a la tierra traspasa la atmósfera sin sufrir cambio de dirección, esta es medida en los centros meteorológicos por medio de un pirómetro que mide la radiación solar (radiación directa, difusa y reflejada) [8], está construido con dos sensores de temperatura en dos distintas superficies, permitiendo uno de los sensores estar ennegrecido expuesto a la radiación solar y el otro sensor estará protegido de la radiación solar, otro instrumento que nos permite medir es el pirheliómetro a diferencia del piranómetro este mide exclusivamente la

radiación que proviene del sol y debe ser instalado con un sistema de movimiento para seguir al sol con precisión [7].

1.2.1.2.Radiación solar difusa

La irradiación solar difusa es la radiación que al ingresar a la atmósfera se esparce por el contacto de los diferentes componentes (polvo, nubes y contaminantes), esta radiación es muy significativa ya que, en los tiempos de nubosidad, lluvia será la radiación que nos permitirá seguir absorbiendo energía solar. La radiación solar difusa es la proveniente de otras direcciones diferentes a la dirección del sol. El origen de la radiación difusa es la dispersión que causa la atmósfera a la radiación solar [11].

1.2.1.3.Radiación solar reflejada

La radiación solar reflejada es un cierto porcentaje de radiación solar directa y difusa que es reflejada en la superficie de la tierra, hay una parte de la radiación que llega del sol, que es reflejada por la atmósfera, principalmente de las nubes y también por la misma superficie terrestre como se puede observar en la figura 1.2 [11].

Debemos mencionaremos que el Ecuador tiene ventaja ya que por su altura a nivel del mar es decir en el altiplano tiene mayor incidencia en la radiación solar, lo que significa que la composición en radiación de longitud de onda corta es más elevada, mediante lo mencionado podemos indicar que la temperatura en la superficie en la tierra es más elevada en el Ecuador y va disminuyendo paulatinamente hacia los polos.

Dada la descripción anterior de los tipos de radiación, podemos mencionar que la irradiación total está compuesta por la suma de la radiación directa, difusa y reflejada, esta radiación total al contacto con la superficie que en nuestro caso de estudio será cristalina tendremos distintos fenómenos como la reflexión, refracción, radiosidad que será la que está compuesta por la radiación reflejada y la radiación emitida.

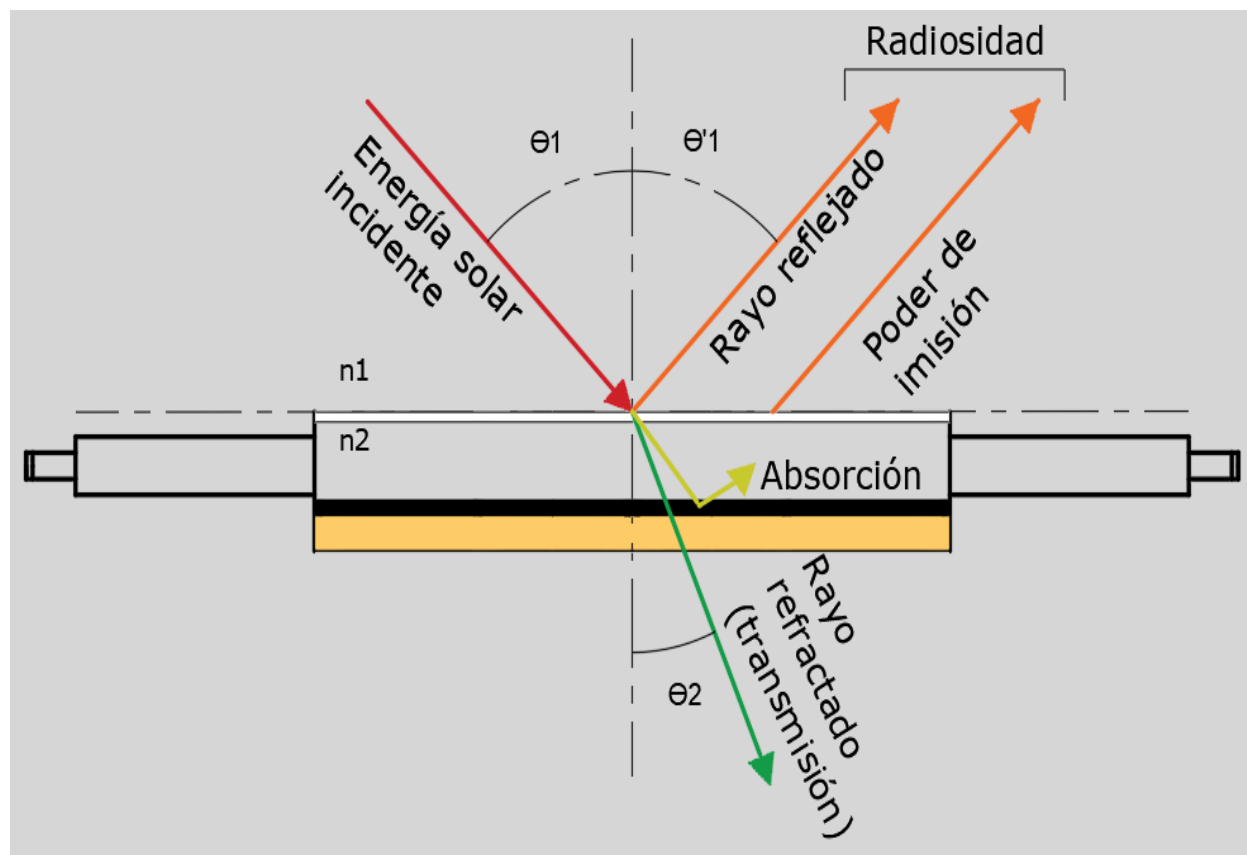


Fig. 4. Efectos de la radiación en la cubierta protectora.

Cuando la irradiación total (energía solar incidente), está en contacto con una superficie de algún material, y esta superficie es la separación de dos elementos transparentes siendo en nuestro caso n_1 el aire con un índice de refracción de 1.0 y n_2 el vidrio común con un índice de refracción de 1.5, una parte de la energía se refleja, la otra parte se transmite, la siguiente parte se absorbe y una parte más se emite o regresa al medio inicial.

La parte de energía reflejada forma un ángulo $\Theta'1$ igual al de la energía incidente $\Theta1$, el ángulo que forma entre los elementos n_1 y n_2 es el rayo refractado en dirección normal al plano que es este caso será el vidrio, la ley que representa el ángulo de refracción es la ley de Snell de la refracción que afirma [12]:

- El rayo refractado se encuentra en el plano de incidencia, en nuestro caso el vidrio.
- La correlación entre los ángulos de incidencia y el ángulo refractado se calcula por la ecuación de Snell:

Ecuación 1. Ley de Snell (refracción) [12].

$$n_1 \sin \theta_1 = n_2 \sin \theta_2 \quad (1)$$

Despejando θ_2 (ángulo de refracción), en la ecuación 1.1 tenemos.

$$\theta_2 = \arcsin \left[\frac{n_1}{n_2} \sin \theta_1 \right] \quad (2)$$

Donde:

n_1 y $n_2 \equiv$ son los índices de refracción en cada medio

$\theta_1 \equiv$ ángulo de incidencia entre la dirección del rayo incidente y la normal

$\theta_2 \equiv$ ángulo entre la dirección del rayo refractado y la normal

Luego de haber descrito la ley de Snell es necesario describir los dos tipos de reflexión, la reflexión especular y la reflexión difusa, la reflexión especular se da cuando el ángulo de incidencia es similar al ángulo de reflexión, mientras que la reflexión difusa se da cuando el rayo incidente se distribuye uniformemente en todas las direcciones.

Dada la importancia de los fenómenos que pasan en el colector solar vamos a describir brevemente los enunciados presentes en la figura 1.3 [13].

- **Absorción:** Es el flujo de energía que ingresa a la cámara del colector solar luego de pasar por el vidrio protector y ser transformada en energía térmica al contacto con la placa de absorción que en este caso estará constituida por una lámina de aluminio.
- **Reflexión:** Es la radiación solar que al incidir sobre un cuerpo en nuestro caso el vidrio es desviada y devuelta sin modificar sus características y tiene el mismo ángulo que la energía solar incidente.
- **Transmisión:** Este fenómeno está compuesto por la luz que atraviesa el cuerpo esto ocurre cuando el vidrio está irradiado por el sol.
- **Radiosidad:** Está compuesta por la emisión y la reflexión, y es toda la energía radiante que sale de la superficie.

Para continuar mencionaremos los tipos de transferencia de calor que se darían en el colector convencional de placa plana.

- **Conducción:** La conducción puede distinguirse como la transferencia de energía de los cuerpos más calientes energéticamente a los más fríos en condición invariable y puede ser de sólido a sólido o de sólido a líquido, en nuestro caso podría ocurrir entre la placa absorbidora y la carcasa del colector para evitar este suceso se aislará con poliuretano o lana de vidrio y evitar el contacto entre estas dos superficies, las pérdidas por conducción representan el 4% en el colector solar.
- **Convección:** La forma de transferencia de calor por convección se realiza debido al movimiento molecular, la energía también es transferida por la masa en movimiento en nuestro caso aire forzado. Este movimiento del fluido está asociado con el hecho de la presencia de una diferencia de temperatura entre los cuerpos, las pérdidas por convección representan un 12% y pueden darse entre el flujo calorífico de la cámara del colector y la placa protectora de vidrio dependería mucho del flujo de aire ambiente.
- **Radiación:** La radiación térmica es energía emitida en forma de ondas electromagnéticas a elementos materiales que tienen diferentes límites de temperatura por medio del movimiento ondulatorio. A pesar de que nos centraremos en la radiación de superficies sólidas en este caso es aluminio pintado de color negro, la emisión también puede ocurrir de líquidos y gases. Independientemente de la representación de la materia, la emisión puede atribuirse a cambios en las configuraciones electrónicas de los átomos o moléculas constituyentes.

En los procesos de transferencia de calor por conducción o convección requiere la presencia de un medio material, mientras que la transferencia de calor por radiación no depende. De hecho, la transferencia de calor por radiación ocurre de manera más eficiente en el vacío, las pérdidas por radiación representan aproximadamente un 8%

al ambiente y 8% en el interior de la cámara del colector dando una pérdida total de 16% aproximadamente y se da a lo largo del área incidente [14].

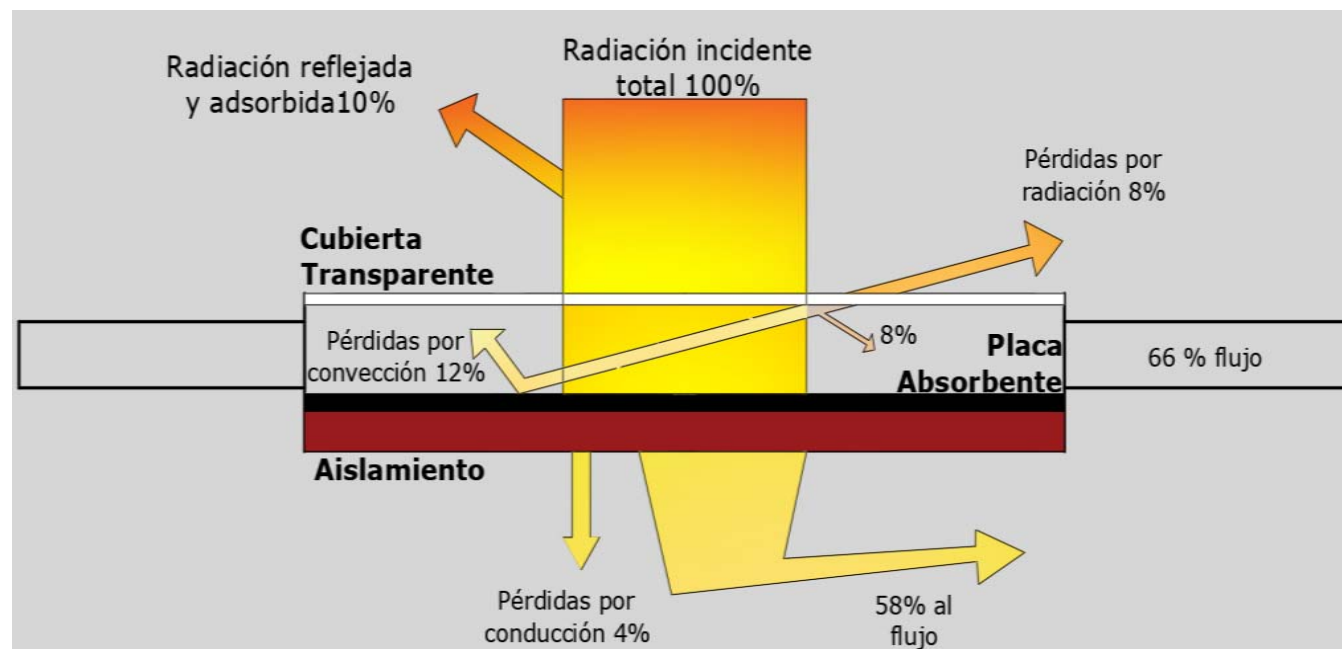


Fig. 5. Pérdidas térmicas en un colector [9].

En la figura 1.4. Podemos observar la distribución de la energía en un colector solar los datos son referenciales ya que como se ha expuesto anteriormente estos valores dependen del diseño, materiales utilizados y de sus características.

1.3. Investigaciones precedentes relacionadas con los colectores solares planos

Dentro de los documentos analizados se encuentra una bibliografía extendida de los colectores convencionales de placa plana, teniendo diversas variantes en la configuración de construcción, de esta manera mencionaremos que el primer calentador acreditado fue diseñado y construido en 1881 por E. Morse, este prototipo constaba [2].

- Un marco protector de madera.
- Una hoja de chapa metálica ennegrecida.
- Cubierta de vidrio transparente.
- Circulación de fluido con convección natural.

En años posteriores se fueron desarrollando diversas investigaciones con el fin de mejorar el rendimiento del colector solar y mejorar la aplicación para diversas utilidades como por ejemplo en acondicionamiento de hogares, calentamiento de

fluidos, y aplicaciones en gases y aceites, es así que en 1946-1949 dos residencias en Massachusetts han explorado un nuevo nivel de calentamiento solar del aire mediante el uso de productos químicos [2].

En 1995 se climatiza una casa completamente en el desierto de Arizona, para determinar el rendimiento el colector solar consistía en la superposición de colectores solares de tipo placa de vidrio transparente y unas irregular en la placa colectora, en 1970 se ampliaron los diferentes tipos de sistemas experimentales para calentar aire.

- Calentadores de aire convencional [4],
- Calentador de aire con aletas [15],
- Calentador de aire corrugado en V,
- Calentadores de doble exposición,
- Calentadores de aire de doble flujo [5]y
- Calentadores de aire solar de dos pasos corrugado [5].

Dentro de las investigaciones mencionaremos la realizada por **Shyam Kumar** sobre el **Análisis térmico del calentador de aire solar en convección natural** la instalación consta de un conducto rectangular con un extremo cónico, la disposición de termopares al inicio y final del ducto, la placa colectora media es de aluminio, las dimensiones son del aparato fueron de 0,54 m de ancho 0,075 m de profundidad 1 m de longitud. El fondo y las paredes laterales del conducto fueron de madera de 18 mm de espesor. Se utilizó una cubierta de vidrio y acrílico de 3 mm de espesor para cubrir el conducto rectangular desde el lado superior. El lado interior del conducto también se resguarda ya que la placa era de color negro para absorber la máxima radiación, en el estudio se comprobó que la diferencia de temperatura máxima se obtiene 1:30 y es aproximadamente de 33°C [4].

La investigación **Experimental Del Colector De Placa Plana Con Aletas Cilíndricas En Un Calentador Solar De Aire** está configurado de una cubierta transparente, placa absorbente, ventilador, soporte del colector solar, conducto de madera, aislante de madera, el material de la placa absorbente es aluminio con espesor de 1 mm, las

dimensiones del colector son 1200 mm X 500 mm, vidrio de ventana normal de 4 mm, aislamiento trasero de 30 mm y aislamiento lateral de 15mm, número de aletas 20 material de aluminio ennegrecidas, diámetro exterior 50 mm diámetro interior 48 mm longitud 100mm, las aletas son insertadas para aumentar el área de contacto con el aire, la eficiencia es mayor para el colector con aletas cilíndricas, la diferencia de temperatura entre flujo de salida e ingreso disminuye con el aumento de la tasa de flujo de aire [5].

El Estudio energético y exergético de un colector solar térmico de aire, en este experimento se procura encontrar el caudal másico óptimo que conduce a mejorar el rendimiento, existen muchas variantes de colectores de placa plana generalmente constan de:

- Un absorbente de placa plana, que absorbe la energía solar,
- Una cubierta transparente (reduce la pérdida de calor del absorbedor),
- un transporte de calor fluido (aire o agua) que fluye a través del colector,
- Aislamientos.

Las dimensiones del colector solar son 180 cm X 100 cm X 0.4 cm, la placa absorbidora es de carbón acero pintada de negro, el aislante es de lana de vidrio espesor de 4cm, la cubierta consta de vidrio plano con un espesor de 0.3 mm, los conductos para mejorar la captación son de plancha de aluminio, los datos obtenidos en las mediciones fueron analizados para encontrar el caudal másico óptimo, que conduce a la máxima eficiencia exergética.

El análisis de potencial de trabajo útil del sistema (exergía), mostró la cantidad de energía calorífica que no puede utilizarse para producir trabajo en el sistema si el proceso es reversible (entropía), las variantes a tener en cuenta son el calentamiento del aire debido a la fricción del flujo de fluido, transferencia de calor entre las paredes calientes del colector y el ambiente, transferencia de calor entre la superficie solar y la superficie del captador, el cambio de temperatura al pasar el aire, se determina que el caudal másico de 0.0011 Kg/s es el óptimo para las condiciones probadas [16].

En el desarrollo de la investigación sobre la **Modelación de un colector solar para calentamiento de aire**, se basa en la simulación de un ambiente controlado para determinar la transferencia de calor al flujo variando las dimensiones de longitud del colector, espesor del aislamiento entre otras variantes, inicialmente este colector tiene unas dimensiones de largo 1500 mm, ancho 800 mm, espesor de cámara de aire 50mm, también se designa un ángulo de inclinación de 30°, el material de la cubierta es vidrio con un espesor de 5mm y una emisividad de 0.82, el colector es de aluminio con un espesor de 5mm y una emisividad de 0.92, el aislamiento de fibra de vidrio con un espesor de 20mm, en la primera variante se incrementa la longitud del secador de 1 a 3m y el espesor de la cámara de aire es 25mm a 50mm.

Entre los resultados obtenidos en la investigación mencionan que mientras la cámara disminuye su dimensión y el espesor de aire disminuye la temperatura aumenta pero se mantiene la longitud del colector, en los estudios se aprecia que la temperatura de aire y el flujo de aire aumentaron con la longitud del secador, mientras el rendimiento térmico decrece, con la variante del espesor del aire en el colector la temperatura del aire decrece, mientras el rendimiento térmico del colector y flujo de aire se incrementa [17].

En el artículo sobre el **Rendimiento basado en colectores de doble flujo con absorbedores corrugados**, se ponen en consideración tres colectores de constitución diferente:

- El colector de aire con absorbedor corrugado de doble flujo.
- El colector de aire de doble flujo con absorbedor de placa plana.
- Colector de aire convencionales.

Se realiza la prueba de funcionamiento bajo las mismas condiciones teniendo las variantes de la placa absorbedora, la primera al ser corrugada y de doble cámara aumenta el área de contacto con el aire, también se da un aumento en la presión de circulación, en la placa absorbedora dos al ser plana lisa disminuye el área de contacto,

en el colector tres al ser convencional tenemos menos área de contacto y menos longitud de circulación del aire.

Las dimensiones del colector son longitud 1.25m, ancho 0.80m, espesor de 0.025m variando hasta los 0.0375m, este modelo matemático fue desarrollado para calentadores de doble flujo en donde se estudió el efecto del caudal másico sobre la energía y rendimiento exergético del colector, mediante este se puede mencionar que, aumentando la temperatura del aire, cambia la entalpía, cambia la entropía y la eficiencia energética disminuye con el aumento del caudal másico [5].

Entre tanto en el **análisis de energía y exergía de deflectores porosos insertados en calentadores de aire**, evalúa el rendimiento de los deflectores porosos de diferentes espesores, la espuma de aluminio de celda cerrada es elegida como material con espesores de 6mm y 10mm y una superficie total de 50 cm², los parámetros tomados son la temperatura de entrada y salida de la placa del colector, la temperatura ambiente y la radiación solar, mientras que el caudal másico de aire variará entre 0,016 Kg/s y 0.025 Kg/s.

Los 5 colectores fueron fabricados con las siguientes dimensiones 120mm * 70mm * 12mm mientras que la placa absorbente tiene de espesor 8mm, el material es chapa galvanizada pintada de negro mate, mientras que la espuma de aluminio de celda utilizada como deflector tienen una dimensión de 50mm X 100mm y una porosidad del 85%.

Entre las dos consideraciones primordiales se mencionan el rendimiento óptimo y el coeficiente de pérdida de energía siendo los parámetros que determinan el comportamiento del colector solar, el coeficiente de pérdida de energía incluye:

- Pérdidas por la parte superior (cubierta), entre las que predominan sobre las demás el efecto convectivo del viento sobre la cubierta.
- Pérdidas laterales,
- Fondo del colector.

En los resultados de los cinco colectores se extrae los aciertos más relevantes de los valores de eficiencia energética y exergética teniendo una variación entre 39,35 a 77,57% y 21,55 a 54,54% respectivamente, los colectores solares de aire aumentan dependiente de la geometría de la superficie, al cambiar el área de transferencia de calor [18].

La eficiencia del colector con obstáculos fue superior a los colectores sin obstáculos, la mayor irreversibilidad ocurrió en cuya eficiencia del colector fue más pequeña, 6mm escalonados tuvo mayor eficiencia entre los 5 colectores, los obstáculos permiten un buen flujo de aire por encima y debajo de las placas absorbentes.

Entre las investigaciones consultadas mencionaremos al **estudio numérico del comportamiento térmico de un colector solar de aire con aletas y deflectores fijados a la placa absorbente de un solo paso**, trabaja por convección forzada, las investigaciones citadas anteriormente nos dan una gran variedad de modelos de los colectores, pero hasta el momento no se presenta el colector de simple paso con aletas por convección forzada siendo este una variante a poner especial consideración para realizar nuestro estudio, este trabajo consiste en tomar datos de investigaciones anteriores y compararlos con los obtenidos, en este estudio se realizó un análisis de energía, el influjo de parámetros como el ancho de los deflectores, la distancia entre deflectores, la longitud del colector de aire, el número de aletas que son útiles para la selección de parámetros más eficientes de diseño, los resultados de la investigación se puede mencionar que con el aumento de flujo másico disminuye la temperatura a la salida del colector de simple paso, en el colector de doble paso al aumentar el área de contacto con un número de aletas de 7 aumenta la temperatura del aire a la salida [19]

Entre las varias investigaciones mencionadas tenemos el **análisis de eficiencia exergética de un colector solar de placa plana usando nanofluidos a base de grafeno**, donde la afectación principal se da por la conductividad térmica del fluido utilizado, entre los resultados que obtuvieron los investigadores podemos mencionar que con el aumento de la tasa de flujo de volumen dio como resultado una mejor eficiencia del colector, demuestra que la eficiencia más baja pertenece al colector que

es aplicado grafeno-acetona al fluido mientras que el máximo rendimiento fue alcanzado por el grafeno-agua.

La exergía perdida del sistema se reduce dependiendo al aumento de la eficiencia del colector, con el aumento de la concentración de volumen de nanopartículas, se deja ver que al insertar una pequeña cantidad de grafeno (nanopartículas), en agua, la eficiencia de la exergía podría mejorar en un 21%, en comparación con fluidos convencionales, la generación de entropía, sin embargo, se reduce en un 4% [3].

Entre tanto, **T Bhattacharyya, R Anandalakshmi, K Srinivasan** en su estudio sobre **la transferencia de calor en colector de placas extruidas aplicado sobre el secado de arroz** tienen en consideración la caída de presión y la temperatura del aire a la salida del colector como parámetros de control para encontrar el número de aletas óptimo, el espesor y la altura.

Una diferencia importante de los anteriores modelos de colectores de placa plana incluye un aumento en el área de transferencia de calor utilizando aletas rectangulares longitudinales absorbentes en la metodología de diseño donde se presenta un diagrama esquemático que consta de [20]:

- a. Cubierta de vidrio,
- b. Espacio de aire,
- c. Absorbedor,
- d. Base de la aleta,
- e. Largo de la aleta,
- f. Punta de la aleta,
- g. Fluido,
- h. Parte superior del aislamiento,
- i. Fondo del aislamiento.

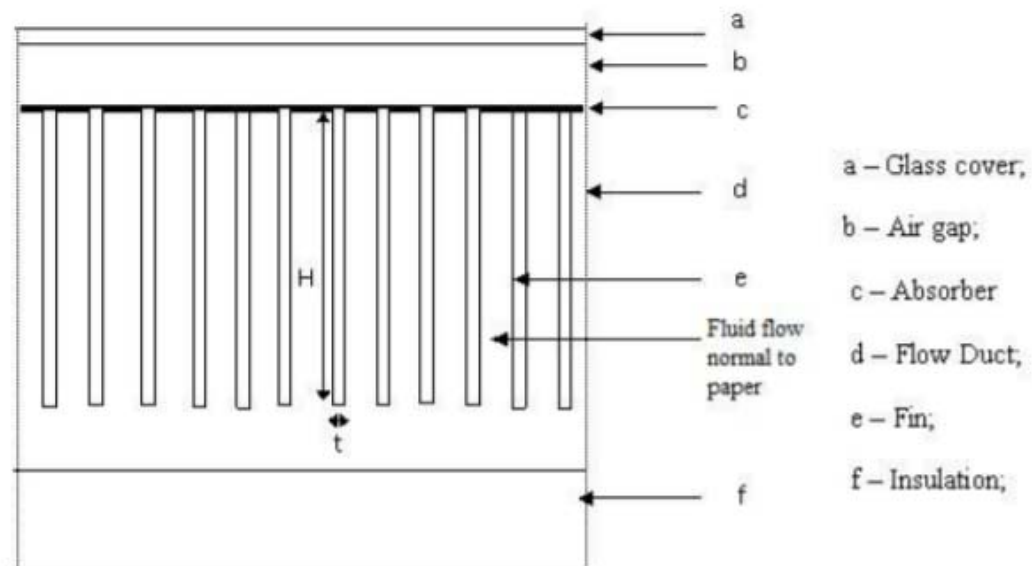


Figura 1.1. Diagrama esquemático del calentador de aire solar de placa con aletas [20].
Fuente: Análisis de transferencia de calor en colectores con aletas para el secado de arroz.

Las dimensiones del colector solar de placa plana son de 1,4 metros de largo, 1 metro de ancho y 0,12 cm de alto, el espesor del aislamiento es de 3mm, 20mm, 2mm, 40mm, la placa absorbente y las aletas son construidas con material de aluminio, teniendo en cuenta la temperatura de salida del aire y la caída de presión, el diseño elegido es el colector con 80 aletas con relación de altura de 6 mm y un espesor de 2mm.

El estudio realizado por **H. M. Yeh, C.D. Ho y J. Z Hou** sobre **Colectores solares de aire de doble flujo con aletas longitudinales** presenta una variante más de los modelos señalados anteriormente, cabe mencionar que la circulación de aire se da por los dos conductos al mismo tiempo teniendo un flujo constante, el área de la cámara del colector se divide en dos ductos de menor dimensión que mediante la adhesión de aletas en forma de deflectores aumentan el área de la placa absorbente, la altura de la aleta es de 5.5 cm a cada lado con una altura de la cámara del colector de 11.8 cm las aletas hacen contacto en la parte inferior con una placa adicional en contacto con el aislamiento mientras que en la parte superior el contacto es realizado con el segundo cristal de protección ya que este trabajo de investigación realiza una doble cobertura con vidrios para evitar pérdidas en contacto por convección con el aire ambiente [21]

Otro estudio realizado [22], sobre cómo mejorar el rendimiento en calentadores de doble y simple paso con distintas rugosidades en la placa absorbente presenta varios

modelos de placas absorbedoras cada una con su configuración de rugosidad en la superficie permitiendo que mediante el flujo turbulento aumente el intercambio, en algunas placas colectoras con aletas inclinadas con un ángulo de 60° , otra variante en la disposición de las aletas en forma transversal al flujo con una longitud de 10-30 mm y una altura de 1,5 mm, el estudio hecho a la placa colectoras con formas en W a lo ancho con una anchura rugosa de 1-10, otras de 8-1 en V, en placas absorbedoras con rugosidad en V con canales intermedios con distintos ángulos, alturas de rugosidad entre 0.015-0.043, en estudios similares concluyen que el aumento de entropía depende de la altura y el número de aletas.

El análisis a las aletas compensadas en forma longitudinal para mejorar la eficiencia en colectores solares continúa con la variación de la disposición de aletas escalonadas, tamaño, longitud, espacio entre aletas, caudal másico de aire [23], las dimensiones del colector y aletas son:

Tabla. II. DIMENSIONES COLECTOR SOLAR [23].

Datos de entrada	Valor numérico
Longitud del colector	1.5m
Ancho del colector	1m
Altura de la cámara del colector	2 cm a 6 cm
Altura de la aleta	1.8 cm a 5.8 cm
Separación de la aleta	1 cm a 5 cm
Longitud de la aleta	2 cm
Espesor de la aleta	3 mm
Espesor del aislamiento	4 cm

Las dimensiones expuestas en las presentes investigaciones serán un referente para la construcción de nuestro prototipo, diferentes configuraciones de aletas facilitan información para nuestro modelo específica con sus medidas óptimas, estudios realizados al aislamiento proporcionan una idea clara del material a utilizar para evitar pérdidas por conducción al contacto con el ambiente sin embargo se realizara el

dimensionamiento adecuado y la respectiva elección, entre las placas absorbentes se puede mencionar la más utilizada en la mayoría de investigaciones placa absorbente de aluminio con distintos espesores pintada de negro, la protección en la parte superior del colector en su mayoría utiliza vidrio común de 0.3 mm en adelante, la carcasa de tol galvanizado de 0.5 mm, cabe mencionar que no existe dimensiones de prototipos de colectores en el país siendo un punto fundamental la búsqueda de información presentada para el dimensionamiento de nuestro modelo a fabricar.

1.3.1. Diseño y construcción de colectores solares planos

Entre los colectores solares de baja temperatura se pueden distinguir los captadores solares planos, con o sin cubierta, y los captadores de tubos de vacío, antes mencionados.

Los primeros son los más empleados en el ámbito doméstico en nuestro país por su relación precio-rendimiento [2], en el proyecto vivienda para todos del gobierno central, mientras que los colectores de tubo de vacío son más utilizados en lugares fríos, donde la diferencia entre la temperatura del panel y la temperatura ambiente es mayor e interesa minimizar las pérdidas térmicas por convección al ambiente y aumentar el área del captador solar.

El funcionamiento del colector solar plano está presidido por los siguientes principios básicos según bibliografía recolectada:

- La influencia de energía solar sobre la placa colectora no es “controlable” depende de las condiciones climáticas [11].
- La orientación e inclinación del captador influyen en el rendimiento del captador dependiendo de la región y país de estudio [24].
- El rendimiento de captación aumenta al disminuir la temperatura del fluido a la entrada del colector [21].
- Hay que dar preferencia al consumo de la energía solar frente a la convencional (electricidad, fuente de energías no renovables) [25].

Los principales componentes del captador solar plano son los siguientes [26]:

- Cubierta exterior.
- Placa absorbidora (aletas transversales en la placa).
- Aislamiento.
- Carcasa.

La superficie de captación absorbe y transfiere la energía al flujo mientras que la cubierta evita las fugas, protege a la placa absorbente, el aislamiento evita pérdidas por transferencia de calor, mientras que la carcasa protege a la placa colectora y aislamiento **figura. 6.**

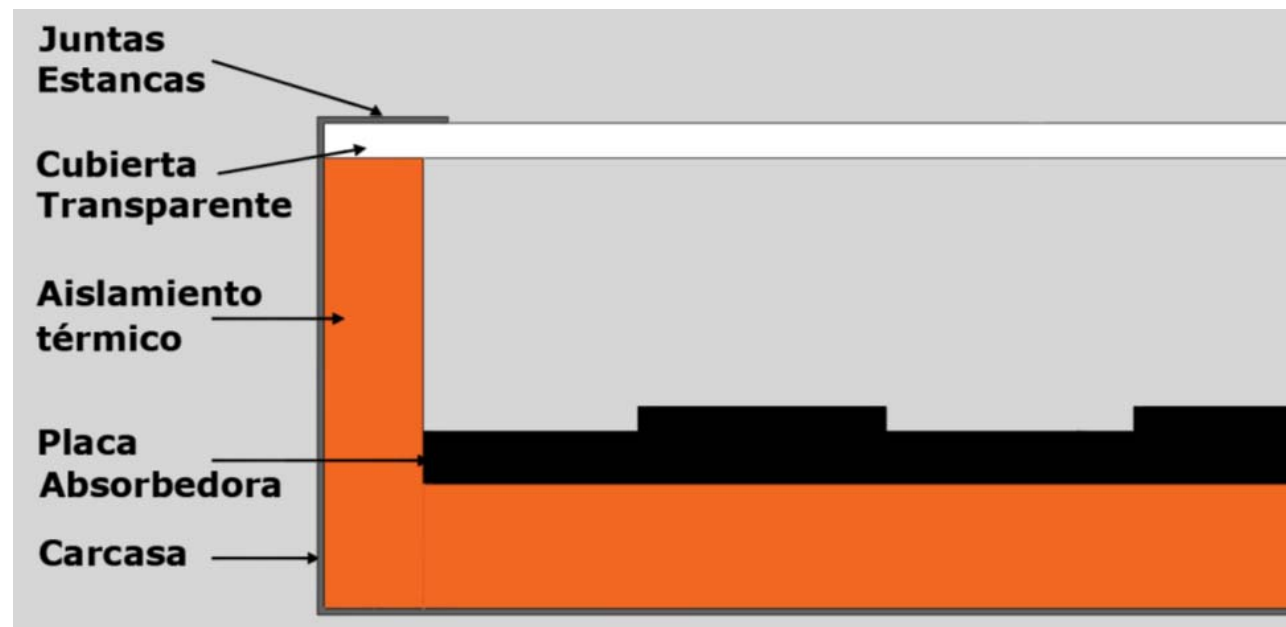


Fig. 6. Elementos que constituyen un colector de placa plana.

1.3.1.1. Principio de funcionamiento del colector solar plano y designación de materiales a ser utilizados para ensamblar el prototipo.

Determinados los componentes del colector solar de placa plana, podemos pasar a describir su funcionamiento de manera más desarrollada y describir las características del prototipo hacer construida. El funcionamiento se fundamenta en el efecto invernadero y se puede sintetizar de la siguiente manera:

- La radiación solar cae directamente sobre la cubierta, que como se ha descrito anteriormente, es cristalino y permite el paso a la radiación de longitud de onda

corta en su gran mayoría, la irradiación traspasa el cristal hasta la superficie de captación para incidir sobre el flujo que se utiliza en la cámara del colector.

- Para lograr el efecto invernadero se crea una cámara de flujo de aire que se encuentra entre la cubierta transparente de cristal o material plástico y la placa absorbente, estas dos se encuentran aseguradas con juntas estancas para evitar pérdidas por convección entre el interior de la cámara y el aire ambiente.
- Debido al contacto de las ondas de radiación solar con la superficie absorbente se calienta, la energía se transfiere por conducción al fluido que circula en el interior de la cámara, el fluido caloportador puede ser aire, agua, mezclas de líquidos, refrigerantes en lugares donde se requiera.
- Al contacto de las ondas de radiación solar cortas con la placa absorbente aumenta la longitud de onda larga, estas ondas largas se representan en pérdidas radiantes emitidas por la placa absorbente, las pérdidas se reducen mediante la baja transmisividad de la cubierta que representarían en 8% aproximadamente.
- Para reducir las pérdidas por conducción en la parte inferior y por los laterales, se coloca un aislamiento térmico, en algunos estudios mencionados utilizan madera, lana de vidrio, poliuretano, entre otros, mientras que para evitar las fugas en el vidrio se coloca empaque de vinil para vidrios y se presionan con las juntas estancas de la carcasa del colector.

1.3.1.2. Cubierta

En la mayoría de investigaciones citadas la cubierta del colector es de vidrio simple de 3-4-6 mm y es la encargada de retener el calor en la cámara. También, tiene diversas funciones como [6]:

- Resguardar la placa absorbedora y el aislamiento térmico que en nuestro caso será poliuretano por su baja conductividad térmica, dentro de la carcasa frente a todo efecto perjudicial del medio ambiente, forma parte de la protección del colector y compone estanqueidad del sistema permitiendo el efecto invernadero en la cámara del colector, admite la entrada de radiación solar de onda corta y evita la salida de radiación de onda larga.

- Refleja una pequeña cantidad de radiación en su plano y absorber la mínima posible en su interior, de modo tal que aproximadamente toda la radiación solar incida en la placa absorbente.
- Tiene una vida útil extensa, con baja adherencia a la suciedad y fácil limpieza.

La cubierta más utilizada es el vidrio blanco por tener valores de transmisibilidad elevados, para nuestro prototipo se utilizará el vidrio con espesor de 4mm para aislar entre la junta estanca y la carcasa se utilizará silicón de alta temperatura.

1.3.1.3. Aislamiento térmico

Una parte esencial del colector solar es el aislamiento térmico y tiene por tarea reducir las pérdidas térmicas que se dan por la carcasa en la parte inferior y los laterales del colector, los materiales más utilizados son la lana de vidrio y el poliuretano que será nuestro caso, tendrá un grosor variable dependiendo del diseño del colector.

El material utilizado para nuestro prototipo es el poliuretano que poseen las siguientes características:

- Alto desempeño de protección contra el fuego debe resistir temperaturas de 120-200°C, su índice de conductividad térmica es de 0.02 W/m.K, es reciclable libre de CFC, HCFC, HFC [27], para calcular el grosor del poliuretano en el prototipo a construir utilizaremos la Ecuación 3 Calcular el flujo de calor útil “Primera ley de la termodinámico” [14].

$$Q_c = m_a * c_{aire} [T_{a2} - T_{a1}] \quad (3)$$

Donde:

Q_c =Flujo de calor, (W).

m_a =Flujo másico de aire, (kg/s).

c_{aire} =Capacidad calorífica del aire, (kJ/kg.K)

T_{a1} =Temperatura de entrada del aire al colector, (K).

T_{a2} =Temperatura de salida del aire del colector, (K).

Teniendo en cuenta el flujo de calor se procede al cálculo del espesor del aislamiento Ecuación 4. Conducción de calor de una pared plana) [14].

$$Q_c = \frac{T_{a1} - T_{a2}}{R_{pared}} \quad (4)$$

Donde:

T_{a1} =Temperatura de entrada del aire al colector, (K).

T_{a2} =Temperatura ambiente, (K).

R_{pared} =Espesor del aislamiento, (m).

La Ecuación 5 Resistencia térmica a la conducción de la pared plana [14].

$$R_{pared} = \frac{L}{K * A} \quad (5)$$

Donde:

L=Espesor, (m).

K=Conductividad térmica, (W/m.K).

A= Área interior de la pared, (m²).

Sustituyendo las ecuaciones (4) en (5) tenemos.

$$Q_c = \frac{(T_{a1} - T_{a2})}{L/K \cdot A} = \frac{K \cdot A}{L} (T_{a1} - T_{a2}) \quad (6)$$

$$L = \frac{K \cdot A \cdot (T_1 - T_2)}{Q_a} = \frac{0,02 \text{ W/mK} \cdot 0,5 \text{ m}^2 \cdot (373,15\text{K} - 291,15\text{K})}{384,553\text{W}} = 0,002 \text{ m}$$

Para obtener el resultado reemplazamos los valores siendo la conductividad térmica del poliuretano **K= 0,02 W/m.K**, el área del colector solar será **A=0,5 m²**, la temperatura de entrada al colector es **T_{a1}=373,15K**, mientras que la temperatura asumida de

ambiente será $T_{a2}=291,15K$, esto sobre el flujo de calor asumido $Q_c =384,553W$, dándonos un valor de 0,002 m, por fines de la investigación el espesor del aislamiento será de 3 cm.

1.3.1.4. Carcasa

Es la parte del colector que resguarda y resiste a los demás componentes que constituyen el colector solar plano, será de tol galvanizado con espesor de 0,9 mm, de esta manera se le dará dureza y robustez a la carcasa del colector.

1.3.1.5. Placa absorbente

La función de la placa absorbente es aprovechar la máxima radiación disponible y ceder el calor al flujo de aire, estará formado por una placa de aluminio espesor 1.1 mm pintada de negro [3].

El colector está conformado por la lámina de vidrio de 4 mm en la parte superior, una placa absorbedora que consta de una plancha de aluminio 1.1 milímetros de espesor, 0,50 metros de ancho y 1 metro de largo pintada de color negro mate al horno, el aislamiento térmico considerado es el poliuretano con una conductividad térmica de 0.020 (W/m.k) la parte de la carcasa es plancha de tol galvanizado de 0,9 milímetros de espesor con dimensiones de 0,65 metros de ancho por 1 metro de largo, teniendo presente su conformación, su funcionamiento se dará de la siguiente manera:

Los rayos del sol pasan a través del vidrio y son contenidos en el espacio entre la cubierta y la placa absorbedora quedando formado un ducto con una dimensión de 0,50 metros de ancho, 1 metro de largo, 9.2 cm de alto, donde se crea un efecto invernadero, es entonces donde se da la transferencia de calor por convección al flujo de aire.

1.4. Análisis de los colectores solares planos como objeto de modelación matemática

En la Ecuación 7. Balance de energía en el colector solar (Figura 1.7), Se muestra la distribución de la energía solar incidente en la placa absorbente vs la ganancia de energía útil en el sistema del colector, es decir menos las pérdidas térmicas del colector

al entorno por convección, por radiación infrarroja, como por conducción, transmitidas desde la superficie absorbente hacia una misma temperatura exterior (T_a). Estas se expresan como el producto de un coeficiente de pérdidas (UL), dado por la diferencia de temperaturas entre la temperatura media de la placa (T_{mp}) y la temperatura ambiente (T_a) [25]:

$$Q_c = A_c [S - U_L(T_{pm} - T_a)] \quad (7)$$

Donde:

A_c = Área del colector, (m^2).

S = Radiación solar absorbida por unidad de área, (W/m^2).

UL = Coeficiente de pérdida de calor total del colector, (W/m^2K).

T_{mp} = Temperatura media de la placa, (K).

T_a =Temperatura Ambiente, (K).

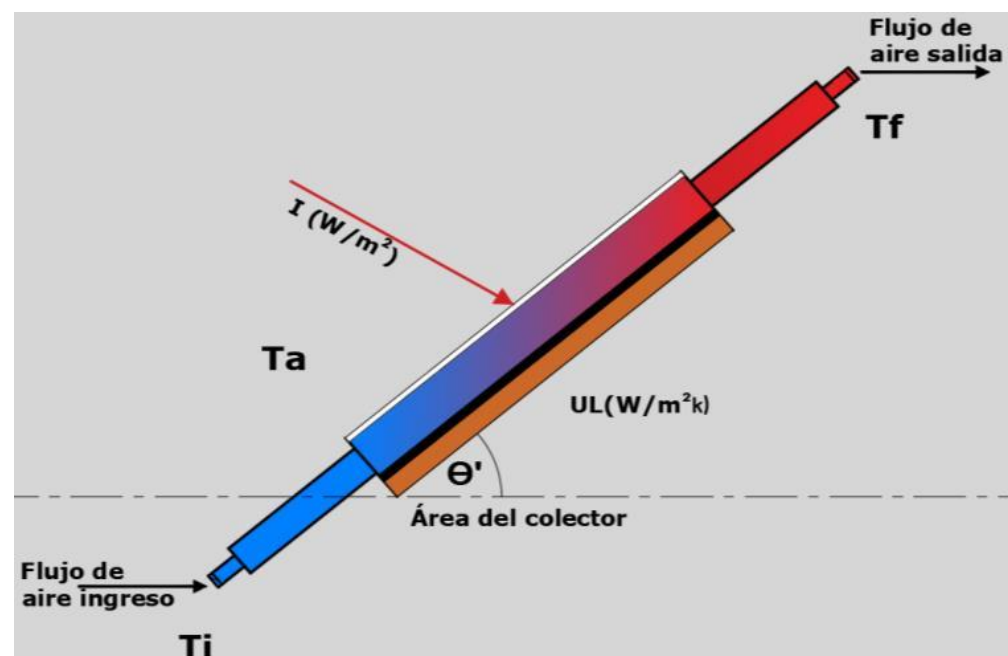


Fig. 7. Balance energético colector placa plana.

1.5.Conclusiones:

- Entre los amplios estudios realizados a los colectores solares de placa plana podemos mencionar que se exponen amplios aspectos teóricos y metodologías para el análisis de transferencia de calor, sin embargo, las publicaciones

consultadas no contienen un estudio de cálculo que posibilite la determinación de los parámetros fundamentales sobre la adhesión de aletas rectangulares en la parte de la placa absorbadora.

- La literatura analizada especifica las partes esenciales de los colectores solares de placa plana con las variantes de estudio, ampliando la posibilidad de determinar los parámetros fundamentales de control para mejorar el rendimiento de los colectores.
- El extensivo uso de productos para el aislamiento de las paredes laterales y la parte inferior para impedir las pérdidas por convección, y en consideración de sus características de conductividad se tomará en cuenta el aislamiento de poliuretano.
- Entre los materiales más utilizados de la placa de captación de radiación solar podemos mencionar chapa metálica de aluminio con un espesor de 0.5mm y plancha metálica de tol galvanizado con el mismo espesor.

2. CAPÍTULO II. MATERIALES Y MÉTODOS RELACIONADOS CON LOS COLECTORES SOLARES PLANOS

2.1. Introducción

La comprensión del proceso de trabajo del colector solar de placa plana, la descripción de las expresiones matemáticas para la realización del cálculo de los elementos que nos permitirán el análisis del modelo de experimentación, más la implantación de los accesorios para realizar la toma de datos en tiempo real son los temas primordiales e importantes para el cumplimiento del objetivo de este capítulo el cual es el **desarrollar el procedimiento de cálculo que permita el diseño y construcción de un colector solar de placa plana y la adhesión de las aletas sobre la superficie colectora.**

Definido el alcance del capítulo 2 y habiendo presentado el capítulo 1 donde se describió los elementos esenciales sobre la radiación solar, los conceptos generales sobre la transferencia de calor, procederemos a la descripción de los modelos matemáticos que nos permitirán contar con un esquema para la fabricación del colector solar y la instalación de los elementos de control para la toma de datos.

2.2. Procedimiento para el diseño y construcción de un colector de placa plana con los parámetros iniciales de control para la recolección de datos

Descritas las características del colector solar y su modo de funcionamiento en el capítulo 1, procedemos a señalar los elementos principales para la recolección de datos:

Materiales utilizados para ensamblar el prototipo:

- **Cubierta:** Se instala vidrio común de un espesor de 0.4 mm, en las juntas estancas se procederá a colocar silicón de alta temperatura para evitar fugas en la parte superior.
- **Aislamiento:** Mediante cálculo realizado en el capítulo 1 se procederá a colocar poliuretano con un espesor de 3 cm.
- **Placa Adsorbente (con aletas y sin aletas):** Consta de una placa de aluminio con espesor 1.1 mm, las aletas serán del mismo material.

- **Carcasa:** La estructura que soportan los elementos consistirá en una plancha de tol galvanizado con un espesor de 1.1 mm.

Para el ensamblaje del colector solar se estableció las medidas anteriormente descritas en el capítulo 1, 1.3.1 **Diseño y construcción de colectores solares planos**, por cumplimiento del marco legislativo que rige las dimensiones establecidas, al no encontrar literatura sobre las medidas de ensamblaje de colectores solares en el Ecuador hay que hacer referencia a la proporcionalidad de las dimensiones del colector y la energía requerida, un tema específica es el calentamiento de agua con una expresión matemática sobre el área del colector [9].

Ecuación 8. Proporcionalidad de las dimensiones del colector y la energía requerida.

$$1.50 \text{ m}^2 \leq A_c \leq 2.6 \text{ m}^2 \quad (8)$$

La carcasa del colector ensamblado tiene 1 metro de largo por 0.56 metros de ancho, mientras que la placa colectora posee 0.5 de ancho por 1 metro de largo teniendo un área efectiva de colección de 0.5 m², los métodos de prueba y verificación del rendimiento térmico se basan en las normas internacionales principalmente para sistemas solares térmicos la ASHRAE 93 “Métodos de prueba para determinar la rendimiento térmico de los colectores solares”, ASHRAE 96 “Métodos de prueba para determinar el rendimiento térmico del colector tipo líquida de placa plana sin esmaltar”, mientras que la ISO-9806-1/2/3 “Energía solar-colectores solares térmicos-métodos Prueba”, entre los requisitos de prueba para colectores solares tenemos:

Prueba para alta resistencia a la temperatura el estándar ISO-9806-1/2 “Colector de área mínima con 1 hora de exposición con radiación global de [27].

- a) 950-1049 (W/m²)
- b) 1050-1200 (W/m²)
- c) > 1200 (W/m²)

Y temperatura ambiente de:

- a) 25-29,9 °C

- b) 30-40 °C
- c) > 40°C, viento < 1 m/s.

Prueba de exposición en relación al tiempo en la norma ISO-9806-1, 2 de los colectores a), b), c):

- 30 días con radiación global.
 - a) 14 MJ/m²
 - b) 18 MJ/m²
 - c) 20 MJ/m²
- 30 horas con radiación global.
 - a) 850 (W/m²)
 - b) 950 (W/m²)
 - c) 1050 (W/m²)

y temperatura ambiente superior:

- a) 10 °C
- b) 14 °C
- c) 20 °C

Prueba con choque térmica interno y externo ISO-9806-1/2, área del colector 2 veces mínima en una 1 hora de radiación global (W/m²) y temperatura ambiente (°C) como con 30 horas de exposición, cuando exista exposición a la lluvia con 10 minutos de exposición se tendrá 4 horas de secado con sombra [27].

El presente estudio se realizará en Latacunga con radiación solar aproximada de 1050-1200 (W/m²) con temperaturas de 14-19 °C aproximadamente, 4 horas de exposición diarias, para mayor exactitud las mediciones se realizarán en periodos extendidos y cumpliendo los estándares señalados con modificaciones en el tiempo de exposición que serán descritos en el capítulo 3.

2.2.1. Principales instrumentos utilizados para la medición y control de las variables involucradas en el proceso de recolección de datos

Entre las principales variables a medir están la temperatura ambiente, temperatura de entrada y salida, temperatura en la cubierta de vidrio, temperatura en la placa absorbente, radiación solar y el flujo másico la toma de datos se dará con cuatro caudales másicos de aire, los elementos electrónicos más importantes utilizados para el armado del tablero electrónica para la recolección de datos tenemos [28]:

- **Termistor 100k Ntc 3950:** El principio de funcionamiento es que varía la resistencia del material en la presencia de temperatura, su precisión es alta a temperaturas de -50°C a 380°C es ideal para superficies.
- **Termocupla Tipo K:** El rango de medida fluctúa entre -200°C y 1200°C , son muy utilizadas en trabajo continuo al ambiente la desventaja principal es que no son lineales.
- **Modulo sensor Max6675:** Es el encargado de convertir la señal analógica en digital permitiendo el enlace a un microcontrolador y amplifica las señales compensando el voltaje generado.
- **Microcontrolador Atmega 2560:** Tiene 8 Bits de alto rendimiento y baja potencia, graba, almacena y ejecuta el código programado, tiene 54 entradas y salidas, 15 son salidas específicas PWM (Modulación de ancho de pulso), que es un controlador de pulsos.
- **Microcontrolador Atmega 328 SMD:** La principal característica para elegir este microcontrolador es la posibilidad leer mientras se escribir, 1kB de memoria EEPROM, SRAM Interna 2kB, 2 temporizadores-contador de 8 bit, 1 temporizador-contador de 16 bit, 6 canales PWM.
- **Reloj Temporizador:** Permitirá almacenar datos censados por los módulos en tiempo real.
- **Tarjeta SD Card:** Permite el almacenamiento de los datos censados:
- **Fuente 5V-5A:** Alimentara de los módulos:

- **Módulo MCP 4725:** Es un conversor digital que genera una señal analógica a partir de una señal digital.
- **Sensor MAF:** Alimentación de 5-12 voltios con precisión del 1% con 5 pines ingreso el tipo de señal de ingreso es eléctrica de 0-5V.
- **Estación meteorológica:** Permitirá censar los datos de humedad relativa, radiación solar, velocidad de viento en el transcurso del día.

Para el diseño electrónico del control de temperatura y control de flujo se tiene instalados 22 sensores de temperatura y caudal distribuidos en dos módulos, comprendidos de un Módulo Maestro que será donde se almacene los datos de los colectores solares en estudio, y un Módulo Esclavo el cual enviará las señales recibidas de los sensores instalados, el control de flujo se ejecutará desde un módulo independiente, para la adquisición de datos se tendrá instalado un Software con conexión inalámbrica y un HMI en el módulo master para la visualización en tiempo real, los tiempos de comunicación entre tarjetas será de 7 segundos, para visualización en HMI de 396 datos por minuto y el almacenamiento en la tarjeta SD card será de 1 minuto, la comunicación entre los módulos será mediante un módulo RS485 es excelente para transferir a velocidades medianas sobre distancias largas (35 Mbit/s hasta 10 metros y 100 kbit/s en 1200 metros) y a través de canales ruidosos [28].

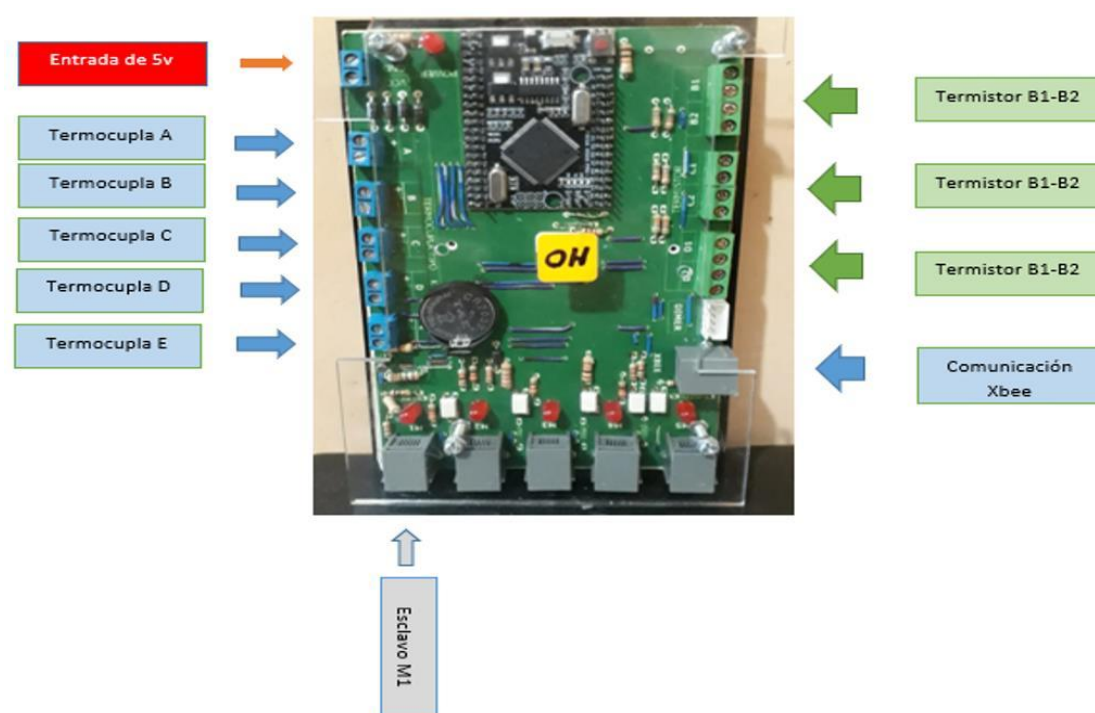


Fig. 8. Entradas y salidas Módulo Master [28].

La distribución de los sensores de derecha a izquierda es:

Una termocupla tipo k ambiente Ta1, en el punto derecho irá un termistor en la placa absorbente Ti1, una termocupla tipo k en la sala de cámara del colector Ti2, y el segundo termistor en la cubierta de vidrio Ti3; esta distribución se realizará en los 2 puntos señalados derecho e izquierdo, en el punto medio irá Ti1 en la placa colectora y la termocupla tipo k, a la salida entre la unión reductora y acople PVC ira el sensor MAF es que controlara el flujo suministrado.



Fig. 9. Distribución de sensores

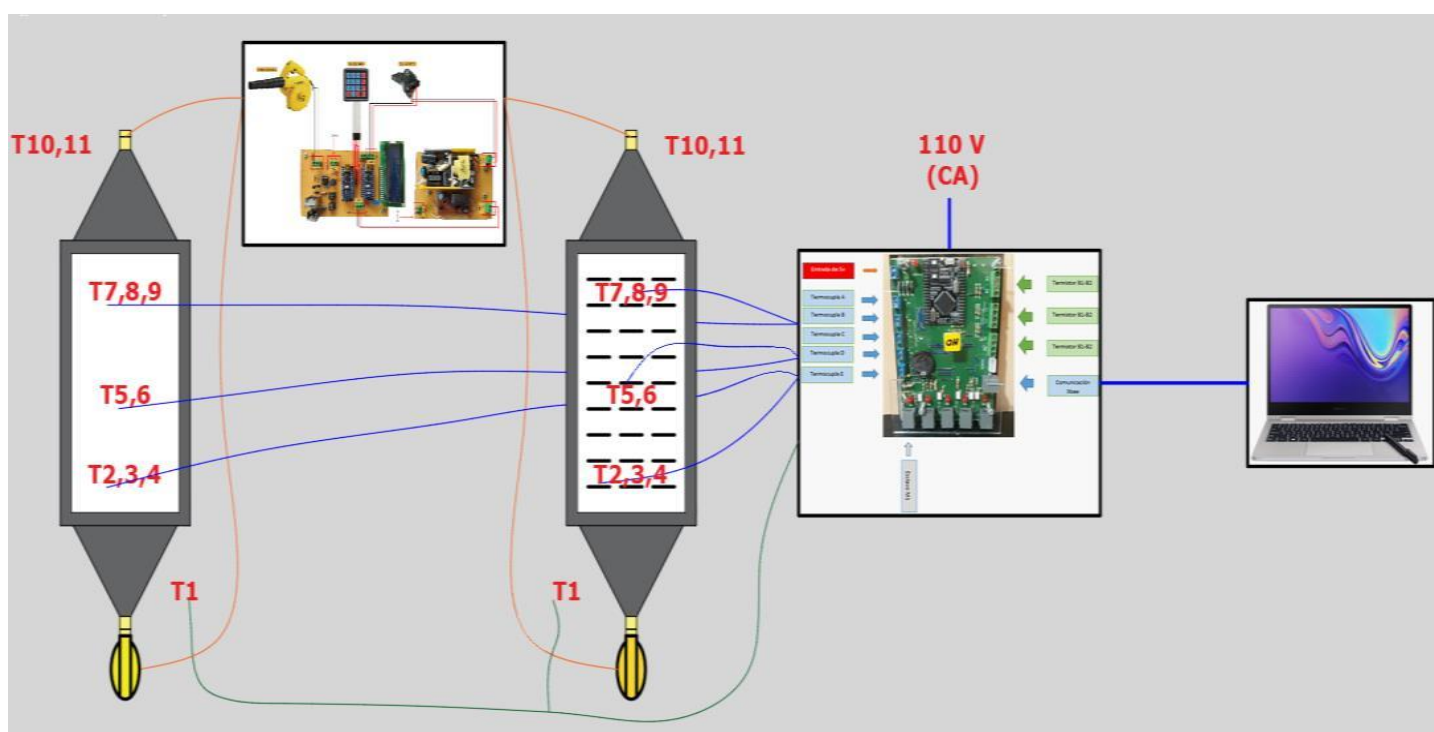


Fig. 10. Esquemático distributivo de elementos prototipo instalado.

2.3. Procedimiento para determinar el rendimiento térmico en el colector de placa plana.

En el capítulo 1 se presentó las primeras formulas del modelado matemático con el fin de calcular el espesor del aislamiento, entre las fórmulas están La primera ley de la termodinámica que permite calcular la ganancia de calor útil del fluido de trabajo ecuación 1.3, continuando con la ecuación 1.3 para la conducción de calor a través de una pared plana, donde la resistencia térmica de la pared está representada por la ecuación 1.4, igualando las ecuaciones 1.3 y 1.4 se obtiene el resultado del espesor del aislamiento térmico asumiendo datos de la temperatura inicial, final y un flujo de calor de 384,553 W, con un espesor de 0,002 m.

Para el balance de energía del colector representado en la figura 1.7, se tomó la ecuación básica del balance energético del colector de placa plana ecuación 1.5, a continuación, se presentará las ecuaciones de manera más amplia iniciando con el cálculo del área rectangular de la placa colectora que será el área efectiva de trabajo, las ecuaciones presentadas anteriormente nos servirán de guía para ampliar los conceptos del de cálculo para la obtención de la eficiencia del colector solar.

Con las dimensiones de la base y la altura de la placa absorbedora se procede al cálculo del área efectiva de captación, Ecuación 9. Área placa colectora [29].

$$A_c = b * h \quad (9)$$

Donde:

A_c = Área efectiva placa colectora, (m²).

b = Base placa colectora, (m).

h = Altura placa colectora, (m).

La cantidad de masa de aire que fluye en la cámara de colectora por unidad de tiempo se denomina flujo másico, ver Ecuación 10 Flujo másico [13].

$$\dot{m} = \rho \cdot v \cdot A_c \quad (10)$$

Donde:

\dot{m} = Flujo másico, (kg/s).

ρ = Densidad del aire, (kg/m³).

v = velocidad del aire, (m/s).

Obtenido el flujo másico de aire que circula por la cámara del colector, se calcula el flujo de calor útil mediante la ecuación 11, teniendo como base la primera ley de la termodinámica, la ecuación fue enunciada anteriormente en el capítulo 1 asumiendo valores para proceder con el cálculo del espesor del aislante por su importancia en el cálculo del rendimiento térmico es necesario enunciar nuevamente [14].

$$Q_u = m_a * c_{aire} [T_{a2} - T_{a1}] \quad (11)$$

Donde la T_{a2} es la temperatura final menos T_{a1} temperatura inicial, representa el cálculo de la variación de temperatura, Ecuación 12. Variación de temperatura.

$$\Delta_T = T_{a2} - T_{a1} \quad (12)$$

Donde:

Δ_T =Variación de temperatura, (K).

T_{a2} = Temperatura de salida del aire en el colector, (K).

T_{a1} =Temperatura de entrada del aire en el colector, (K).

La primera ley de la termodinámica es representada por el balance de energía, en este caso del colector solar plano, la variación de energía en el sistema será la Ecuación 13. Balance de energía colector solar plano [14].

$$\mathbf{E}_{sistema} = E_{ent} - E_{sal} \quad (13)$$

Donde:

$\mathbf{E}_{asistema}$ = Energía acumulada en el sistema, (W).

E_{ent} = Energía de entrada, (W).

E_{sal} = energía de salida, (W).

Las pérdidas del colector son dadas por los siguientes aspectos, pérdidas de calor emitido por radiación desde la placa absorbadora con un 8%, el calor entregado por convección por el aire con un 12% aproximadamente quedando representado por la Ecuación 14. **Energía de entrada al sistema** [14].

$$\mathbf{E}_{ent} = Q_{rpc} + Q_{ca} \quad (14)$$

Donde:

Q_{rpc} =Calor Radiado desde la placa colectora, (W).

Q_{ca} =Calor entregado por convección del aire en la cámara, (W)

El calor transferido por radiación hacia la placa se obtiene mediante la ecuación 15. Ley de Newton del enfriamiento [14].

$$\mathbf{Q}_{rpc} = h_{rpc} A_{fc} (T_p - T_c) \quad (15)$$

Donde:

Q_{rpc} =Flujo de calor por radiación entre placa-vidrio, (W).

h_{rpc} =Coeficiente de transferencia de calor por radiación entre la placa y vidrio (W/m².K).

A_{fc} =Área frontal del cristal, (m²).

T_p =temperatura de la placa, (K).

T_c =temperatura del cristal, (K).

Las pérdidas de energía por la parte de la placa colectora hacia la cubierta de cristal se dan por la transferencia de calor por convección, ya que las ondas cortas al contacto con la placa absorbadora se transforman en ondas caloríficas, la radiación entre las placas se calcula con la Ecuación 2.1. Coeficiente de transferencia de calor entre dos placas paralelas, asumiendo una temperatura media del fluido [25].

$$h_{rpc} = \frac{\sigma(T_p^2 + T_c^2)(T_p + T_c)}{\frac{1}{\varepsilon_p} + \frac{1}{\varepsilon_c} - 1} \approx \frac{4\sigma T_m^3}{\frac{1}{\varepsilon_p} + \frac{1}{\varepsilon_c} - 1} \quad (16)$$

Donde:

σ =Constante de Stefan-Boltzmann, ($5,67 \cdot 10^{-8} \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}^4$).

ε_p =Emisividad placa absorbente.

ε_c =Emisividad del cristal (cubierta).

T_m^3 = Temperatura media entre la temperatura placa absorbente y la temperatura de la cubierta, (K).

Para calcular el flujo de calor entregado por el aire interior y la cubierta se utilizará la ecuación 2.2. Calor entregado por convección del aire en la cámara.

$$Q_{ca} = h_{ac} A_{fc} (T_{ai} - T_c) \quad (17)$$

Donde:

h_{ac} =Coeficiente de transferencia de calor entre el aire interior del colector y cubierta de vidrio ($\text{W/m}^2 \cdot \text{K}$).

T_{ai} =temperatura del aire en el interior del colector, (K).

Para calcular h_{ac} coeficiente de transferencia de calor por convección entre el aire interior del colector y la cubierta se calcula obteniendo el Diámetro hidráulico de la

cámara colectora, procediendo con el cálculo del número de Reynolds, el número de Reynolds nos permite calcular el número de Nusselt [14].

Ecuación 18. Diámetro hidráulico.

$$D_h = \frac{4A_d}{p} \quad (18)$$

Donde:

D_h = Diámetro hidráulico, (m).

A_d = Área de la sección transversal del ducto rectangular, (m²).

p = Perímetro del ducto, (m).

Ecuación 19. Número de Reynolds.

$$Re = \frac{V_{prom} D_h}{\nu} \quad (19)$$

Donde:

ν = Viscosidad cinemática, m²/s

V_{prom} = Velocidad promedio, (m/s).

Ecuación 19. Número de Nusselt.

$$Nu = 0.023 Re^{0.8} Pr^{1/3} \quad (20)$$

Donde:

Pr = Número de Prandtl.

El coeficiente de transferencia de calor por convección es el resultado de dividir la constante k sobre el diámetro hidráulico esto multiplicado por el número de Nusselt, Ecuación 21. Coeficiente de transferencia de calor entre el aire interior del colector.

$$h_{ac} = \frac{k}{D_h} Nu \quad (21)$$

Donde:

k = Conductividad térmica, (W/m.K)

La Ecuación 22. Energía que abandona la cubierta de vidrio [14].

$$E_{sal} = Q_{caext} - Q_{rext} \quad (22)$$

Donde:

E_{sal} =Energía abandona la cubierta de vidrio, (W).

Q_{caext} = Flujo de calor entre el aire exterior y la cubierta, (W).

Q_{rext} =Flujo de calor perdido por radiación desde la cubierta, (W).

La Ecuación 23. Flujo de calor entre el aire exterior y la cubierta.

$$Q_{caext} = h_{ext}A_{fc}(T_c - T_{aext}) \quad (23)$$

Donde:

Q_{caext} =Flujo de calor entre el aire exterior y la cubierta, (W).

h_{ext} =Coeficiente de transferencia de calor entre el aire exterior y la cubierta de vidrio (W/m².K).

T_{aext} =Temperatura del aire exterior, (K).

Las pérdidas por convección en la cubierta de cristal son distinguidas por la diferencia de temperatura en el cristal y la temperatura del aire exterior, la temperatura exterior es caracterizada por la velocidad del viento Ecuación 24. Coeficiente de transferencia de calor entre el aire exterior y la cubierta [25].

$$h_{ext} = 5,67 + (3,86v_w) \quad (24)$$

Donde:

v_w =velocidad del viento, (m/s).

El calor perdido hacia el exterior por radiación luego del contacto con la cubierta es calculado por Ecuación 25. Flujo de calor perdido por radiación desde la cubierta de vidrio.

$$Q_{r\text{ext}} = h_{r\text{cext}} A_{fc} (T_c - T_{a\text{ext}}) \quad (25)$$

Donde:

$h_{r\text{cext}}$ = Coeficiente de transferencia de calor por radiación entre la placa y el vidrio (W/m²°C).

El coeficiente de transferencia de calor por radiación se puede calcular por la Ecuación 26. Coeficiente de transferencia de calor por radiación entre la placa y el vidrio [25].

$$h_{r\text{cext}} = \frac{\sigma \varepsilon_c (T_c^2 + T_{sky}^2)(T_c + T_{sky})(T_c - T_{sky})}{(T_c - T_{a\text{ext}})} \quad (26)$$

Donde:

ε_c = Emisividad del cristal (cubierta).

T_{sky} = temperatura del cielo, (K).

Ecuación 27. Temperatura del Cielo.

$$T_{sky} = 0,0552 T_{a\text{ext}}^{1,5} \quad (27)$$

La energía almacenada en la cubierta de vidrio es representada por la variación de energía interna Ecuación 28. Energía acumulada en la cubierta.

$$E_{acumc} = M_c c_{vc} \frac{dT_c}{dt} \quad (28)$$

Donde:

E_{acumc} = Energía acumulada en la cubierta, (W).

M_c = Masa en la cubierta, (kg).

c_{vc} = Calor específico del cristal, (kJ/kg.K)

dT_c =Variación de temperatura en la cubierta, (K).

dt =Variación del tiempo, (s).

Se realiza el balance de energía del colector solar plano en la cubierta, sustituyendo las ecuaciones (14),(22) y (28) en (13), obteniendo la Ecuación 29. Balance de energía en la cubierta exterior.

$$M_c c_{vc} \frac{dT_c}{dt} = h_{tcr} A_c (T_p - T_c) + h_{tcr} A_c (T_p - T_c) - h_{tcr} A_c (T_p - T_c) - h_{tcr} A_c (T_p - T_c) \quad (29)$$

Luego de la descripción del procedimiento de cálculo para el balance de energía en la cubierta de vidrio del colector de placa plana, se obtiene el **procedimiento para el balance de energía en la placa colectora del sistema**. Ecuación 30. Energía absorbida en la placa colectora.

$$E_e = (\tau\sigma) I_r A_p \quad (30)$$

Donde:

E_e =Energía acumulada en la placa absorbedora, (W).

$\tau(\eta_0)$ =Eficiencia óptica del colector.

I_r =Intensidad de radiación incidente, (W/m²).

A_p =Área de la placa colectora, (m²).

Las pérdidas de energía en la placa absorbedora se producen de tres formas: el calor entregado al aire interior Q_{pa} , el calor que se disipa al ambiente a través del aislamiento de la base del colector Q_{pext} , el calor transmitido por radiación directamente a la cubierta Q_{pc} . Ecuación 31. La energía cedida por la placa colectora.

$$E_{salid} = Q_{pa} + Q_{pext} + Q_{pc} \quad (31)$$

Sustituyendo los flujos de calor útil tenemos.

$$E_{salid} = h_{pai}A_p(T_p - T_{ai}) + U_{bottom}A_p(T_p - T_{ae}) + h_{rpc}A_c(T_p - T_c) \quad (32)$$

Donde:

h_{pai} = Coeficiente de transferencia de calor por convección entre el aire interior y la placa, (W/m². K).

U_{bottom} = Coeficiente global de transferencia entre la placa y el aire exterior a través del aislamiento, (W/m².K).

h_{rpc} = Coeficiente de transferencia de calor por radiación entre la placa y la cubierta, (W/m².K).

Ecuación 33. Coeficiente global de transferencia entre la placa y el aire exterior a través del aislamiento.

$$U_{bottom} = \frac{1}{\frac{1}{h_{ext}} + \frac{d}{k_{ais}} + R_{p-a}} \quad (33)$$

Donde los subíndices h_{ext} representa la transferencia de calor por convección entre el aislamiento y el aire exterior, (W/m².K), k_{ais} es el coeficiente de conductividad térmica del aislamiento (0.02 W/m. K), R_{p-a} la resistencia al paso del calor al contacto entre la placa absorbadora y el aislante, d es el espesor del aislamiento, (m).

Ecuación 33. Energía acumulada en la placa colectora.

$$E_{acumc} = M_p c_{vp} \frac{dT_p}{dt} \quad (34)$$

Sustituyendo las ecuaciones 30, 31 y 32 en 13, obteniendo la ecuación 35. Balance de energía en la placa colectora.

$$M_c c_{vp} \frac{dT_p}{dt} = (\tau\sigma)I_r A_p h_{tcr} A_c (T_p - T_c) + U_{bottom} A_c (T_p - T_c) + h_{tcr} A_c (T_p - T_c) \quad (35)$$

Teniendo el balance de energía en la cubierta del colector, el balance de energía en la placa colectora nos faltaría el **balance de energía en el interior del colector** es decir en la cámara de colección que es el área donde se crea el efecto invernadero y la acumulación de energía térmica, el aire que circula en el interior del colector se calienta por la energía absorbida en la placa colectora y esta energía es disipada en la cámara, parte de esta energía se pierde por la cubierta de vidrio, la energía aprovechada por el aire en el interior de la cámara es dada por la Ecuación 36. Energía ganada por el aire interior.

$$E_{ent} = m_a c_{pa} T_{aext} + h_{pai} A_p (T_p - T_{ai}) \quad (36)$$

La energía calorífica de entrada es el producto de dos términos, el primer término corresponde al flujo de energía que entra al colector con el aire ambiente, el segundo al calor absorbido por el aire interior de la placa colectora, la energía que sale del sistema mediante el flujo de aire que circula por la cámara del colector es el resultado de la energía que abandona el colector con el flujo de aire más la energía cedida por el aire a la cubierta del colector Ecuación 37. Energía calorífica que sale del sistema.

$$E_{ent} = m_a c_{pa} T_{aext} + h_{pai} A_p (T_p - T_{ai}) \quad (37)$$

El subíndice h_{aic} representa el coeficiente de convección entre el aire interior y la cubierta de vidrio, (W/m².K).

La energía que gana la masa de aire en el interior de la cámara es el resultado de la variación de la energía interna del fluido, siendo el producto de la capacidad calorífica del aire $M_a c_{va}$ por la variación de la temperatura del aire T_{ai} en el tiempo.

Ecuación 38. Energía acumulada en la masa de aire en el interior del colector.

$$E_{acumc} = M_a c_{va} \frac{dT_{ai}}{dt} \quad (38)$$

Para la obtención de la ecuación del balance global de energía en el aire interior del colector, sustituiremos las ecuaciones 36, 37 y 38 en la ecuación 13.

Ecuación 39. Ecuación del balance global de energía en el aire interior.

$$M_c c_{va} \frac{dT_{ai}}{dt} = m_a c_{pa} T_e + h_{pai} A_p (T_p - T_{ai}) - h_{aic} A_c (T_{ai} - T_c) - m_a c_{pa} T_s \quad (39)$$

Llegando a la eficiencia térmica del colector solar, se puede definir como la potencia calorífica transmitida a la corriente de flujo, calor útil a la salida del colector, con relación a la potencia que llega a la placa colectora en forma de energía solar.

Ecuación 40. Eficiencia térmica del colector solar.

$$\eta = \frac{Q_u}{\eta_o I_r A} \quad (40)$$

Donde:

I_r = intensidad de la radiación total que llega al colector, (W/ m²).

η_o =: Eficiencia óptica del colector

A = Área del colector, (m²).

También se puede evaluar con la ecuación 41. siendo Q_{perd} pérdidas de energía del colector.

$$\eta = 1 - \frac{Q_{perd}}{\eta_o I_r A} \quad (41)$$

La eficiencia óptica del colector es dada por la ecuación 2.32, siendo F_R el factor de remoción de calor del colector solar y $(\tau\alpha)_n$ el producto de la transmitancia-absortancia en condiciones de incidencia normal a la superficie, el valor de η_o viene dado en las especificaciones técnicas por los fabricantes o por la tabla de valores típicos de eficiencia de colectores solares, por no existir en nuestro país un laboratorio de homologación de colectores solares de fabricación local se a supuesto un rendimiento estándar ecuación 42 [30].

Ecuación 42. Eficiencia del colector solar local.

$$\eta = F_R(\tau\alpha)_n - F_R U_L \frac{(T_e - T_a)}{I_r} \approx 0,75 - 4,5 \frac{(T_e - T_a)}{I_r} \quad (42)$$

Entre los parámetros esenciales para el inicio del cálculo teórico de la eficiencia térmica del colector solar de placa plana tenemos la eficiencia óptica del colector, el coeficiente global de pérdidas térmicas del colector Tabla III. valores típicos de eficiencia de colectores solares.

TABLA III. VALORES TÍPICOS DE EFICIENCIA DE COLECTORES SOLARES.

TIPO COLECTOR	RANGO T °C	$F_R(\tau\alpha)_n$	$F_R U_L$ W/m²°C
Sin cubierta	10-40	0,9	15-25
Cubierta simple	10-60	0,8	7
Cubierta doble	10-80	0,65	5
Superficie selectiva	10-80	0,8	5
Tubos de vacío	10-130	0,7	2

Fuente: (Norma NEC-11, 2011)

2.4. Procedimiento para determinar el rendimiento térmico en el colector de placa plana con la adhesión de aletas en la placa absorbedora.

El principio para mejorar el rendimiento térmico del colector solar de placa plana es el incremento del área de la placa colectora mediante la adhesión de aletas rectangulares para lo cual se inicia con el cálculo de la eficiencia de la aleta figura 11 [14].

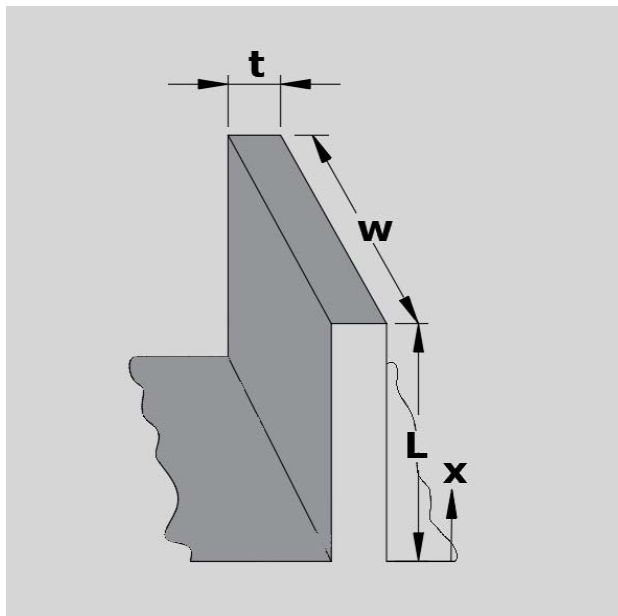


Fig. 11. Aleta rectangular.
Fuente: (Yunus A. Cengel, 2007)

Para el cálculo de la longitud de las aletas rectangulares utilizaremos la ecuación 43. La longitud de la aleta rectangular será el resultado de la suma de la altura (L), y el espesor de la aleta dividido para dos [14].

Ecuación 43. Longitud de la aleta rectangular.

$$L_c = L + t/2 \quad (43)$$

Donde:

t =espesor de aleta rectangular, (m).

L =Altura de la aleta, (m).

Teniendo la longitud de la aleta rectangular L_c , procedemos al cálculo del área de la aleta siendo el resultado de multiplicar dos veces la profundidad de la aleta por la longitud de la aleta rectangular ecuación 44.

Ecuación 2.3. Área de la aleta.

$$A_f = 2wL_c \quad (44)$$

Donde:

w =profundidad de la aleta, (m).

Para calcular el área de perfil A_p utilizaremos la ecuación 45, que es el resultado de multiplicar la longitud de la aleta rectangular L_c por el espesor t .

Ecuación 45. Área de perfil.

$$A_p = L_c \cdot t \quad (45)$$

El cálculo del área total de las 24 aletas instaladas en la placa colectora utilizaremos la ecuación 46.

Ecuación 46. Área total aletas.

$$A_t = NA_f + [w(H - Nt)] \quad (46)$$

Donde N es el número de aletas, A_f área de una aleta, w es la profundidad de la aleta, H es la longitud de la placa absorbadora, t es el espesor de la aleta, proseguimos con el cálculo de la eficiencia de la aleta ecuación 47 [14].

Ecuación 47. Eficiencia de la aleta.

$$\eta_{aleta} = \frac{\tanh mL_c}{mL_c} \quad (47)$$

Para determinar m tenemos la ecuación 48, si obtenemos un valor de m grande, la disminución de temperatura en la aleta instalada es significativa ya que la resistencia conductiva es mayor en comparación que la resistencia convectiva por ende m representa el cociente entre resistencias conductivas y convectivas.

Ecuación 48. Cociente entre resistencias conductivas y convectivas.

$$m = \sqrt{\frac{2h}{kt}} \quad (48)$$

La efectividad de la aleta rectangular se encuentra mediante la ecuación 49, la adhesión de aletas no siempre es recomendada y debe de justificar el costo adicional y la dificultad asociada a la instalación de las mismas.

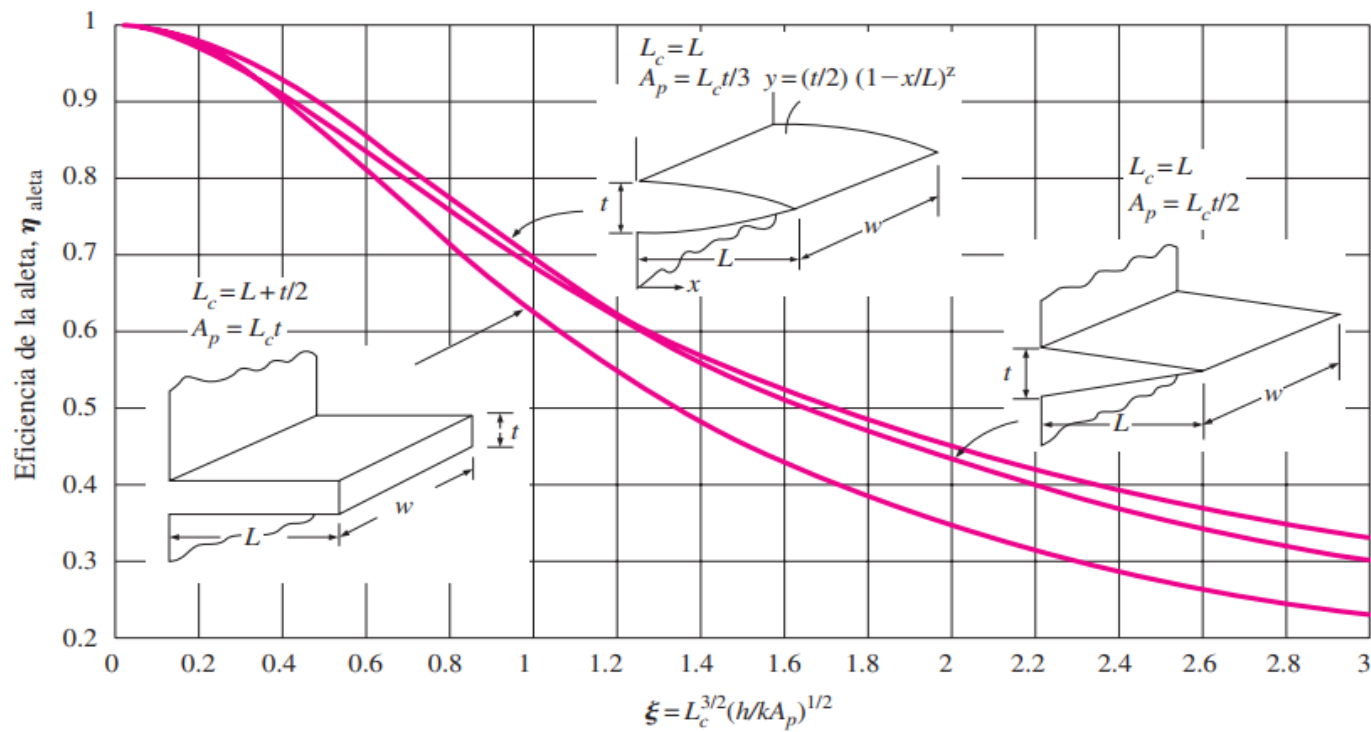


Fig. 12. Eficiencia de la aleta.

Fuente: (Yunus A. Cengel, 2007)

Ecuación 49. Eficiencia de la aleta rectangular.

$$\xi = L_c^{3/2} (h/kA_p)^{1/2} \quad (49)$$

Para el cálculo de la efectividad de la aleta hay que dividir el Índice de transferencia del calor de la aleta sobre el índice de transferencia de calor con aleta, tener presente que la eficiencia de la aleta como la efectividad están relacionadas con el desempeño de la misma [14].

Ecuación 50. Efectividad de la aleta.

$$\epsilon_{aleta} = \frac{\dot{Q}_{aleta}}{\dot{Q}_{sinaleta}} \quad (50)$$

Reemplazando la ecuación 51 en $\dot{Q}_{sinaleta}$ tenemos: Razón de la transferencia de calor desde la aleta de área de la base A_b sobre la razón de la transferencia de calor desde la superficie de área.

$$\varepsilon_{aleta} = \frac{\dot{Q}_{aleta}}{hA_b(T_b - T_\infty)} \quad (51)$$

Por lo tanto, para el cálculo de transferencia de calor total tendremos que sumar la transferencia de calor libre de aletas y transferencia de calor con aletas ecuación 52.

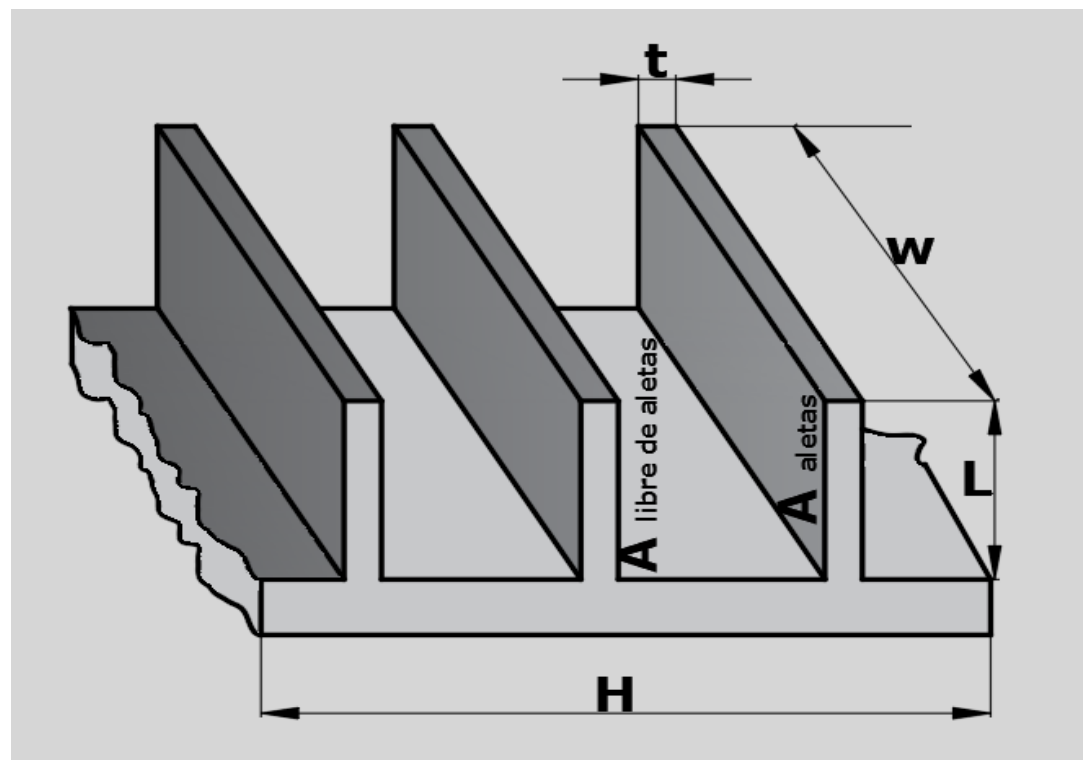


Fig. 13. Área total de la placa colectora.

Fuente: (Yunus A. Cengel, 2007)

Ecuación 52. Cálculo de transferencia de calor total.

$$\dot{Q}_{total-aleta} = \dot{Q}_{libre de aleta} + \dot{Q}_{aleta} \quad (52)$$

La transferencia de calor con la adhesión de aletas se calcula mediante la Ecuación 53. Flujo de calor en las aletas [30].

$$Q_{aleta} = hA_t \left[1 - \frac{N \cdot A_f}{A_t} (1 - \eta_f) \right] \theta_b \quad (53)$$

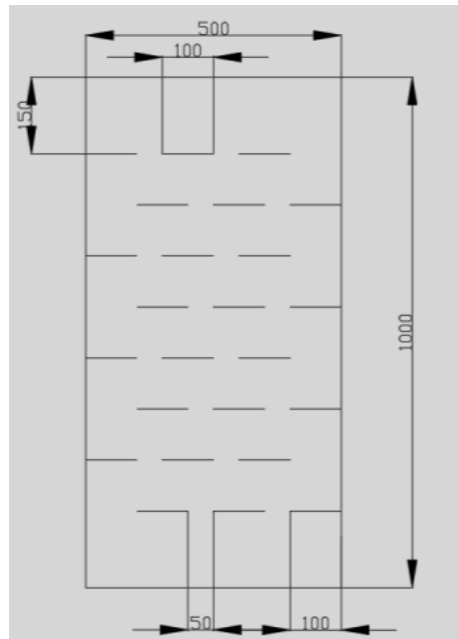
La transferencia de calor sin aletas se calcula mediante la ecuación 11, desglosando el cálculo del área de la placa colectora tendremos.

$$Q_{libre de aleta} = hHw\theta_b \quad (54)$$

Para proceder con el cálculo del área total del colector solar de placa plana con la adhesión de aletas en la figura 14 a), se presenta la vista lateral con la distribución de las aletas y la vista superior en la figura 14 b).



a) Distribución de aletas vista lateral



b) Vista superior.

Fig. 14.a) Distribución de aletas vista lateral, **b)** vista superior.

Para calcular el coeficiente de transferencia de calor por convección, se calcula obteniendo el Diámetro hidráulico de la cámara colectora, se procede con el cálculo del número de Reynolds, el número de Reynolds nos permite calcular el número de Nusselt, el proceso es similar a las ecuaciones enunciadas anteriormente por su importancia en el cálculo del rendimiento del colector con aletas las volvemos a expresar.

Ecuación 55. Diámetro hidráulico.

$$D_h = \frac{4A_d}{p} \quad (55)$$

Donde:

D_h = Diámetro hidráulico, (m).

A_d = Área de la sección transversal del ducto rectangular, (m²).

p = Perímetro del ducto, (m).

Ecuación 56 Número de Reynolds.

$$Re = \frac{V_{prom} D_h}{\nu} \quad (56)$$

Donde:

ν = Viscosidad cinemática, m²/s

V_{prom} = Velocidad promedio, (m/s).

Ecuación 57 Número de Nusselt.

$$Nu = 0.023 Re^{0.8} Pr^{1/3} \quad (57)$$

Donde:

Pr = Número de Prandtl.

Llegando a la eficiencia térmica del colector solar con la adhesión de aletas, Ecuación 58. Eficiencia térmica del colector solar con aletas.

$$\eta = \frac{Q_u}{\eta_0 I_r A_{pa}} \quad (58)$$

Donde:

A_{pa} = Área placa colectora con aletas

2.5. Conclusiones.

- Entre los amplios estudios realizados a los colectores solares de placa plana podemos mencionar las metodologías para el análisis de transferencia de calor, sin embargo, las publicaciones consultadas no contienen un estudio de cálculo que posibilite la determinación de los parámetros fundamentales sobre la adhesión de las aletas rectangulares en la placa colectora.
- La literatura analizada especifica las partes esenciales de los colectores solares de placa plana con las variantes de estudio, ampliando la posibilidad de determinar los parámetros fundamentales del control para mejorar la recolección de datos en tiempo real.
- Las pérdidas principales en el colector de placa plana se dan de la placa colectora hacia la cubierta de cristal, el aislamiento térmico y la transferencia de calor al flujo de aire.

3. CAPÍTULO III. RESULTADOS Y SU VALORACIÓN

3.1.Introducción

En los capítulos anteriores se describieron el principio de funcionamiento del colector solar, las expresiones matemáticas que permiten el cálculo de pérdidas en el colector solar de placa plana, la eficiencia del sistema del colector de placa plana sin la adhesión de aletas, el cálculo de la eficiencia de las aletas adheridas a la placa colectora, la eficiencia total del total del sistema, siendo los parámetros primordiales que permitan validar el objetivo del capítulo el cual es **analizar, desde el punto de vista experimental, el comportamiento de los parámetros de trabajo del colector y su influencia en el rendimiento térmico y la temperatura de salida del aire.**

Determinado el alcance del capítulo 3 se evaluarán los resultados obtenidos para comprobar los fundamentos de cálculo presentados procediendo con la interpretación de las irregularidades observadas en la toma de datos que nos llevarán a la solución del problema planteado, Rendimiento térmico teórico.

3.2. Resultados del cálculo para el rendimiento térmico teórico en el colector de placa plana.

La instalación experimental sometida a las pruebas de funcionamiento mostrada en la figura 15. a) instalación experimental, b) colector solar plano (patrón-prueba recolecciones datos), c) estación meteorológica, permitirá la adquisición de datos para el inicio de los cálculos, la estación experimental está constituida por los siguientes equipos y accesorios:



a) Instalación experimental.



b) Colector solar plano (patrón-prueba recolecciones datos).



c) Estación meteorológica

Fig. 15. a) Instalación experimental, b) Colector solar plano (patrón-prueba recolecciones datos), c) Estación meteorológica.

- Ventilador: Equipo utilizado para el desplazamiento de flujo de aire caliente existente en la cámara del colector solar plano mediante el efecto invernadero.



Fig. 16. Ventilador.

Fuente: (Catalogo STANLEY-STPT600, 2020)

Características técnicas:

Flujo máximo: 3.5 m³ / min (124 cfm)

Niveles de flujo: siete, mediante la conexión del sensor Maf CHEVROLET D-MAX que mide el flujo de masa de aire y el acondicionamiento de señales podemos variar el caudal de flujo de aire en porcentajes de voltaje permitiéndonos controlar un rango más amplio de caudales.

Potencia del Motor: 600 W

Consumo en operación: 0.47946 kWh

Velocidad angular máxima: 16000 rpm

- Termo-anemómetro: Dispositivo que permite medir la velocidad del flujo de aire y la temperatura en los sistemas de ventilación.



Fig. 17. Termo-anemómetro.
Fuente: (Ficha Técnica GM816, 2019)

Características técnicas:

Velocidad del aire: rango (0.0 – 30.0 m/s), resolución (0.01 m/s),
 precisión +/- 5%

Flujo de aire: rango (0- 9999 m³ / min), resolución 1

Temperatura del aire: rango (-10 + 60 °C), resolución 0.2 °F/C, precisión +/- 2.0°C

Humedad relativa menos del 90% HR.

- Termómetro infrarrojo Fluke-62max: Equipo utilizado para medir la temperatura mediante rayos láser.



Fig. 18. Termómetro infrarrojo Fluke-62max.
Fuente: (Datos Técnica Fluke-62 Max, 2020)

Características:

Rango de temperaturas: de -30°C a 650°C

Precisión: con temperatura ambiente de $23^{\circ}\text{C} \pm 3^{\circ}\text{C}$

Resolución óptica: 12: 1 Calculado al 90% de la energía

Repetibilidad: $\pm 0.5\%$ de la lectura o 0.5°C

Tiempo de respuesta: < 300 ms (95% de la lectura)

Temperatura de funcionamiento: 0°C a 50°C .

- Estación meteorológica: equipo utilizado para tomar datos de velocidad y dirección del viento, precipitación, temperatura (interna, externa), humedad (interna, externa), presión barométrica y radiación solar y UV en una pantalla LCD.



Fig. 19. Estación meteorológica.
Fuente: (Ficha Técnica WS-2000, 2020)

Características:

Rango de sensor de temperatura exterior: -40 a 149°F

Precisión de temperatura exterior: $\pm 2^{\circ}\text{F}$

Rango de humedad exterior: De 10 a 99%.

Precisión de humedad exterior: $\pm 5\%$

Rango de velocidad del viento: 0 a 100 mph (operativo)

Precisión de velocidad del viento: ± 2.2 mph o 10% (lo que sea mayor)

El estudio se ejecuta en la ciudad de Latacunga localizada en el centro norte del callejón interandino conocida como región sierra centro ubicada en la provincia de Cotopaxi con sus límites:

Al norte: Cantón Mejía y Sigchos

Al Sur: Salcedo Y Pujilí

Al Este: Archidona y Tena

Al Oeste: Saquisilí, Pujilí y Sigchos

La ciudad de Latacunga está formada por 1386.3 km² de superficie irregulares siendo el resultado de diferentes períodos y diversas emisiones volcánicas, de las cuales el área montañosa con un área 0.14895 km² equivale 10.74%, área plana o casi plana 0.13751 km² que representa el 9.92%, suave o ligeramente ondulado 0.18794 con un 13.56%, moderadamente ondulado 0.34296 km² el 24.74%, las colinas con un área de 0.29428 km² el 21.23%, escarpado 0.2522562 km² el 18.20%, Nieve 0.0205895 km² el 1.49% y suelo urbano 1.8186 km² el 0.13%, la temperatura media promedio es de 13°C, el volumen de precipitación anual de 500 a 1000 mm, en la tabla 3.1 se muestran los datos geográficas de la ciudad de Latacunga [31].

TABLA IV. DATOS GEOGRÁFICOS DE LATACUNGA.

Datos geográficos Latacunga	
Altitud	2769 msnm
Coordenadas	0°56'47''S-78°37'14''W
Superficie	1386.3 km ²
Clima	Templado y frío
Temperatura promedio	13°C
Velocidad media viento anual	6 km/h

Fuente: (Plan de desarrollo y ordenamiento territorial 2016, Latacunga)

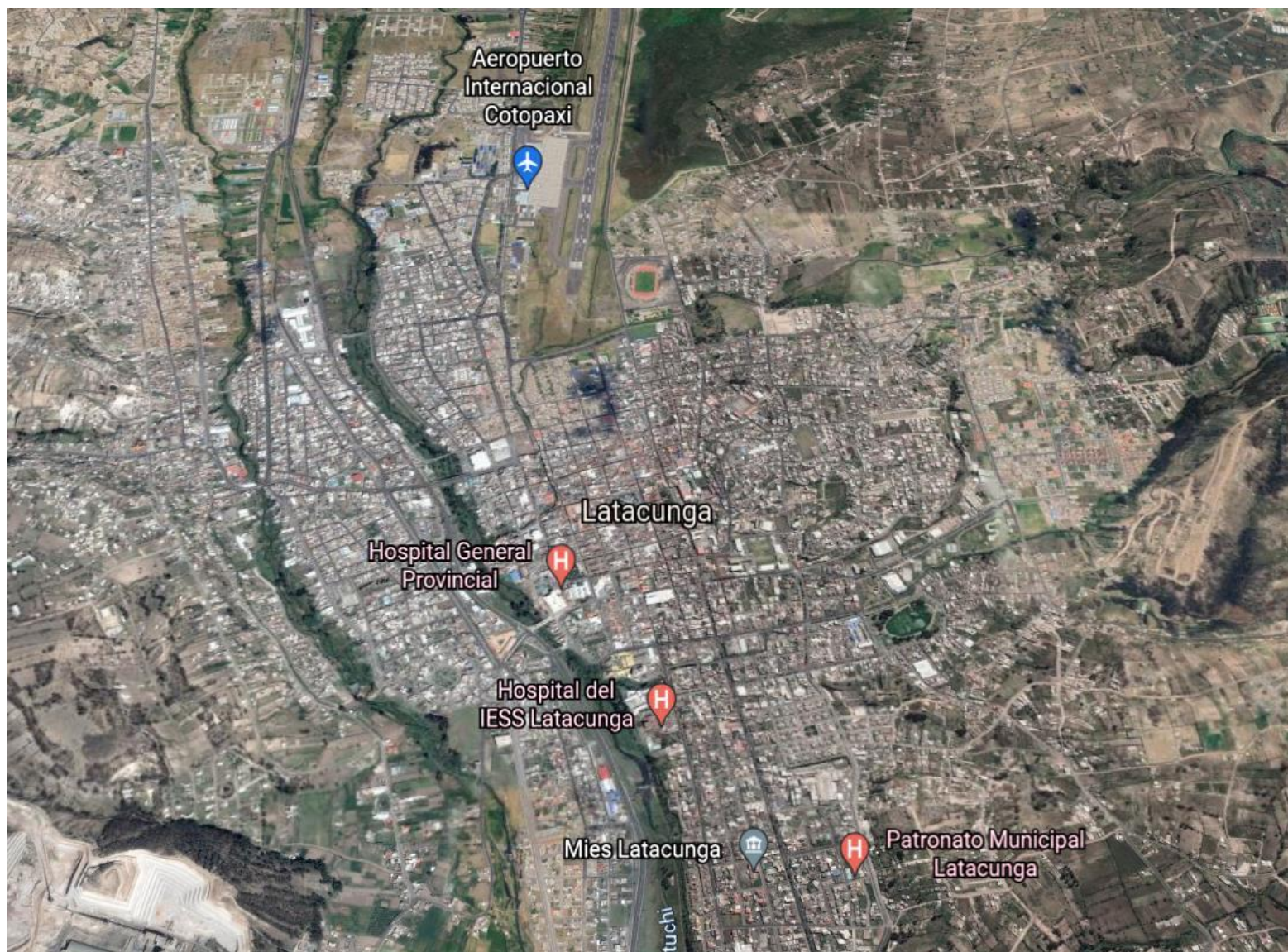


Fig. 20. Ubicación geográfica de la ciudad de Latacunga.

Fuente: (<https://www.google.com/intl/es/earth/>)

Las circunstancias geográficas hacen de Latacunga un área ideal para el aprovechamiento de la energía solar debido al ángulo de incidencia siendo perpendicular a la superficie en todo el año llegando a un promedio de 12 horas de exposición solar, el consejo nacional de electrificación Conelec mediante estudios realizados pública en el 2008 en el atlas solar del Ecuador datos de la insolación difusa y directa, la variación de los valores dependerá de la situación climatológica y geográfica es decir por presencia de viento nubes e interferencias por elevaciones geográficas, la intensidad de radiación solar directa máxima promedio es de 5119 Wh/m² y una mínima promedia de 1 147 Wh/m².

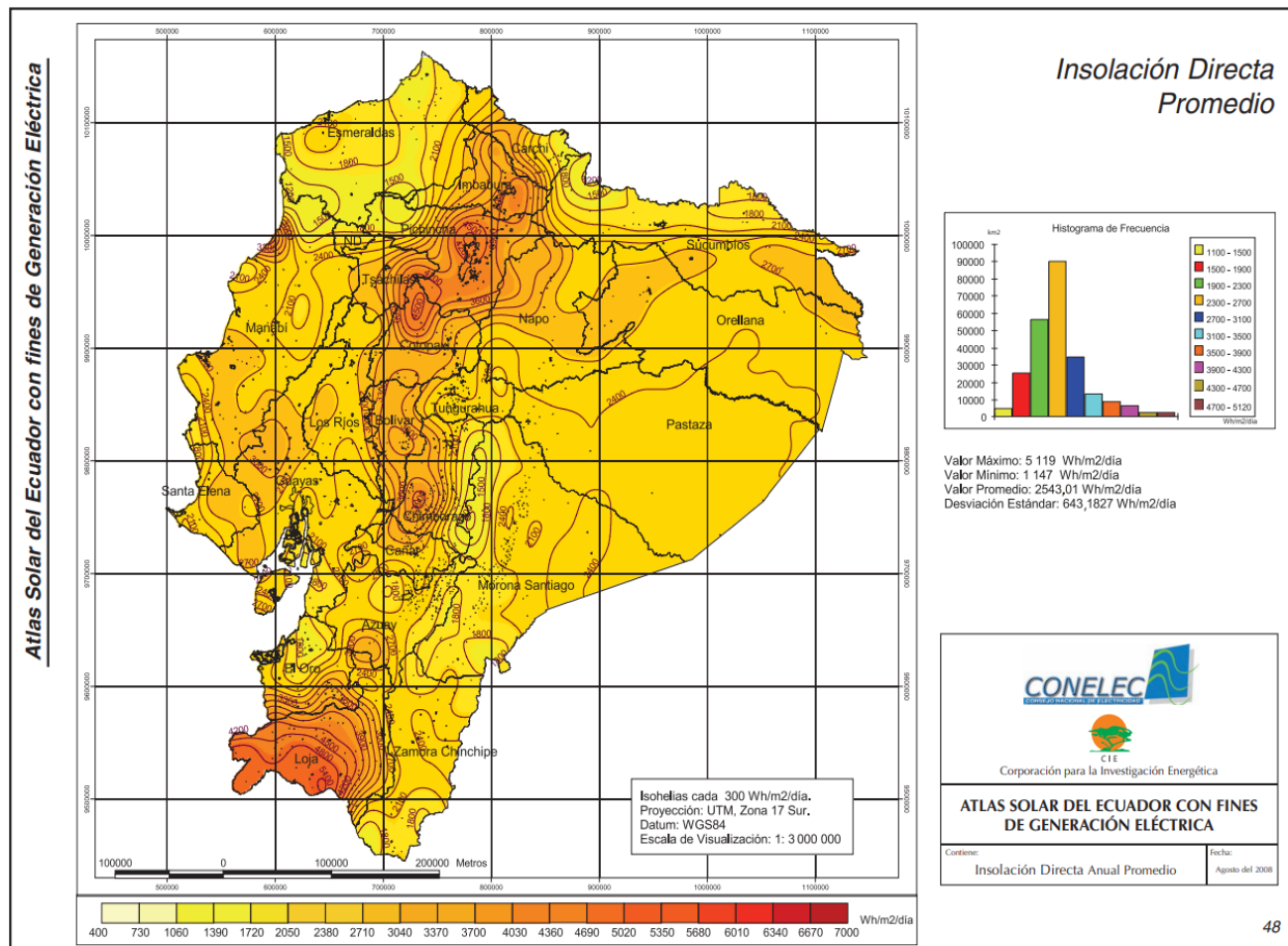


Fig. 21. Intensidad de radiación solar directa máxima promedio.
Fuente: (CONELEC, 2008)

Para iniciar con los cálculos de eficiencia térmica se toma el valor teórico publicado en la norma ecuatoriana de la construcción NEC-14, parte 14-1 Energía renovable, dividiendo al Ecuador en cinco zonas debido a la radiación solar que reciben Tabla V zonas de radiación solar en el Ecuador.

TABLA V. ZONAS DE RADIACIÓN SOLAR EN EL ECUADOR.

Zonas	[Wh /m ² .día]
Zona I	3200 - 3600
Zona II	3600 - 4000
Zona III	4000 - 4400
Zona IV	4400 - 4800
Zona V	4800 - 5200

Fuente: (Norma NEC-11, 2011)

La provincia de Cotopaxi cantón Latacunga se encuentra en la zona IV según tabla VI. con una radiación promedio de 4420 Wh/m².dia

TABLA VI. VALORES PROMEDIO DE IRRADIACIÓN SOLAR EN LAS PROVINCIAS DEL ECUADOR.

Provincia	Ciudad	Wh / m².día promedio	Zona
Carchi	Tulcán	4140	III
Esmeraldas	Esmeraldas	4350	III
Imbabura	Ibarra	4560	IV
Manabí	Portoviejo	4160	IV
Pichincha	Quito	4990	V
Tsachila	Sto. Domingo	3440	I
Cotopaxi	Latacunga	4420	IV
Napo	Tena	4350	III
Santa Elena	Salinas	4360	III
Guayas	Guayaquil	4370	III
Los Ríos	Babahoyo	3780	II
Bolívar	Guaranda	4800	IV
Tungurahua	Ambato	4550	IV
Chimborazo	Riobamba	4490	IV
Pastaza	Puyo	3800	II
Cañar	Azogues	4500	IV
Morona Santiago	Macas	4090	III
Azuay	Cuenca	4350	III
El Oro	Machala	4200	III
Loja	Loja	4350	III
Zamora Chinchipe	Zamora	4350	III
Galápagos	Puerto Ayora	5835	V

Fuente: (Norma NEC-11, 2011)

En la tabla VII. Se puede observar la temperatura media, temperatura media alta, temperatura media baja y velocidad de viento en un histórico de 15 años.

TABLA VII. HISTÓRICO CLIMÁTICO PARA LA CIUDAD DE LATACUNGA.

Año	T [°C]	TM [°C]	Tm [°C]	V [km / h]
2006	13.90	19.20	8.60	12.50
2007	13.70	19.30	8.60	12.30
2008	13.50	18.70	8.40	11.00
2009	14.10	20.10	8.90	14.40
2010	14.00	20.20	8.40	14.40
2011	14.30	19.90	8.40	14.40
2012	14.10	20.70	8.60	15.50
2013	13.10	20.70	8.60	15.50
2014	13.00	20.10	8.60	14.60
2015	13.20	20.80	8.70	16.40
2016	13.40	20.90	8.50	14.30
2017	13.00	19.60	8.40	13.00
2018	12.90	20.00	8.40	14.60
2019	11.70	18.40	7.40	14.60
2020	12.40	18.20	6.70	15.70

Nota: T=temperatura media, TM=temperatura media alta,

Tm=temperatura media baja, V=velocidad del viento

Fuente: <http://www.tutiempo.net/clima/Latacunga/841230.htm>

Para realizar el cálculo de la eficiencia térmica del colector solar de placa plana en la tabla VIII, se muestran las dimensiones y parámetros fundamentales del colector.

TABLA VIII. DIMENSIONES Y PARÁMETROS FUNDAMENTALES DEL COLECTOR.

Parámetros	Valores de los parámetros
1. Longitud del colector	l=1000 mm
2. Ancho del colector	a=560 mm
3. Altura del colector	h=130 mm
4. Inclinación del colector	$\theta=15^\circ$
5. Espesor de la lámina placa colectora aluminio	$\delta A=1,1$ mm

6. Espesor de la lámina base del colector tol galvanizado	$\delta G=1,1$ mm
7. Distancia entre el absorbente y el vidrio	92 mm
8. Grosor del vidrio	4 mm
9. Índice de refracción del vidrio n	$n_2=1.52$
10. Índice de refracción del aire	$n_1= 1.00$
11. Coeficiente de extinción del vidrio	$K_{ext}=16m^{-1}$
12. Emitancia del vidrio	$\epsilon_c=0,88$
13. Emitancia del absorbente	$\epsilon_p=0,95$
14. Absorbitancia angular de la placa absorbente	$\alpha=0,90$
15. Flujo del aire a través de la cámara del colector	$G= 7,09-12.02-16.04-19.60$
16. Conductividad térmica del aislante	$K=0,020$ W/m.K
17. Grosor del aislante	$L=30$ mm
18. Temperatura de la placa absorbedora	$T_p=85^\circ C=358$ K
19. Temperatura ambiente máxima	$T_a = 20^\circ C = 293$ K
20. Temperatura inicial de la cubierta	$T_c=(T_p+T_a) /2= 325$ K
21. Velocidad del viento	$v= 8$ m/seg
22. Valor de la constante Stefan-Boltzmann	$\sigma=5,6697 \times 10^{-8}$ W/m ² °K ⁴

3.3.Resultados de las mediciones experimentales.

El presente trabajo de investigación muestra la hipótesis que con el incremento del área de la placa colectora mediante la adhesión de aletas rectangulares mejorara la transferencia de calor al flujo de aire por ende su eficiencia, la instalación de pruebas se terminó de construir en el mes de mayo del 2021, desde este momento se realizaron pruebas de funcionamiento sin caudal de aire para verificar que los dos colectores tengan similares condiciones térmicas, en la tabla IX se puede apreciar las temperaturas recolectadas en un periodo de 5 horas al día iniciando a las 10:01 de la mañana hasta

las 15:00, con 4 caudales máxicos distintos, 0.00709 kg/s, 0,01202 kg/s, 0.01604 kg/s, 0.0196 kg/s en sus respectivos días, este proceso se realiza en el colector con nomenclatura P6 colector sin la adhesión de aletas y P5 colector con la adhesión de aletas y **caudal máxico de 0.0196 kg/s**, teniendo 9 sensores instalados en el colector, un sensor de temperatura ambiente, 2 sensores en la placa protectora, 3 sensores en la cámara colector, 2 sensores en la placa colector, y un sensor en la salida del colector.

TABLA IX. DATOS RECOLECTADOS COLECTOR SIN ADHESIÓN DE ALETAS (P6).

FECHA:27/9/2021	T ambiente	Vidrio 1	Termocupla 1	Placa 1	Termocupla 2	SALIDA	Vidrio 3	Termocupla 3	Placa 3
HORA	A P6 (°C)	V1 P6 (°C)	T1 P6 (°C)	P1 P6 (°C)	P2 P6 (°C)	TS (°C)	V3 P6 (°C)	T3 P6 (°C)	P3 P6 (°C)
10:01	17,20	51,21	59,75	83,32	74,75	48,14	51,58	65,75	85,28
10:02	17,20	45,03	50,90	74,17	59,60	45,46	49,32	59,55	78,04
10:03	17,20	41,33	42,45	62,64	44,45	42,73	46,72	50,10	69,77
10:04	17,20	39,20	40,50	57,54	42,05	40,95	44,87	46,95	64,29
10:05	17,30	37,79	39,05	53,69	40,30	39,36	43,29	45,10	60,62
10:06	17,40	36,70	38,69	51,56	39,44	38,34	41,93	44,13	57,74
10:07	17,40	35,86	37,85	49,71	38,75	37,66	40,74	43,00	55,88
10:08	17,30	35,02	37,15	48,35	37,95	36,58	39,55	42,25	54,13
10:09	17,10	34,36	36,75	47,49	37,20	36,44	38,63	41,40	52,83
10:10	17,10	34,07	36,50	46,85	37,05	35,83	37,92	41,15	51,83
10:11	17,10	33,69	36,20	46,39	37,05	35,43	37,43	40,65	51,12
10:12	17,20	33,40	35,95	46,03	36,65	35,25	36,77	40,30	50,42
10:13	17,60	33,03	35,69	45,49	36,38	34,76	36,08	39,50	49,84
10:14	17,90	32,46	34,95	45,24	35,80	33,94	35,56	39,15	49,12
10:15	18,10	32,41	34,85	44,66	35,65	34,21	35,21	39,05	48,86
10:16	18,30	32,29	34,95	44,43	35,30	34,20	34,94	38,85	48,69
10:17	18,50	32,09	34,70	44,26	35,30	34,02	34,64	38,70	48,39
10:18	18,50	31,85	34,25	44,01	35,30	33,48	34,32	38,20	48,13
10:19	18,00	31,76	34,38	43,77	34,94	33,14	33,98	37,69	47,81
10:20	18,00	31,74	34,35	43,75	35,15	33,45	33,87	37,65	47,88

Al inicio de las pruebas podemos observar mediante la lectura de las temperaturas de salida que en el colector sin la adhesión de aletas tiene una temperatura media de salida más baja 33,20 °C que el colector donde se instalaron las aletas 34,52 °C el flujo de aire forzado baja la temperatura de salida del colector sin aletas mientras que la temperatura de salida del colector con aletas tiene una tendencia a estabilizarse a una temperatura más alta.

TABLA X. DATOS RECOLECTADOS COLECTOR CON ADHESIÓN DE ALETAS (P5).

FECHA:27/9/2021	T ambiente A P5 (°C)	Vidrio 1 V1 P5(°C)	Termocupla 1 T1 P5 (°C)	Placa 1 P1 P65 (°C)	Termocupla 2 P2 P5 (°C)	SALIDA TS(°C)	Vidrio 3 V3 P5 (°C)	Termocupla 3 T3 P5 (°C)	Placa 3 P3 P5 (°C)
HORA									
10:01	17,20	47,03	61,88	79,66	85,50	49,42	50,23	63,50	84,09
10:02	17,20	43,81	53,05	72,00	72,85	49,44	49,38	61,75	82,12
10:03	17,20	40,53	42,55	62,17	51,10	47,64	47,80	56,10	78,28
10:04	17,20	38,39	39,95	57,43	46,60	45,51	46,30	52,75	75,52
10:05	17,30	36,99	38,60	54,55	44,45	44,06	45,27	50,15	72,90
10:06	17,40	35,98	38,06	52,10	43,00	42,71	43,96	48,38	70,51
10:07	17,40	35,14	35,90	50,26	41,80	41,54	42,75	47,05	68,27
10:08	17,30	34,53	37,05	48,85	41,05	40,65	41,90	45,65	66,62
10:09	17,10	33,84	36,20	47,69	40,05	39,80	40,95	44,65	65,05
10:10	17,10	33,66	37,70	46,98	39,80	39,45	40,13	43,90	63,80
10:11	17,10	33,27	36,80	46,22	39,05	38,58	39,54	43,40	62,61
10:12	17,20	32,81	36,70	45,76	38,60	38,23	38,89	42,55	61,73
10:13	17,60	32,39	36,44	45,14	38,13	37,75	38,14	42,00	60,82
10:14	17,90	31,97	35,90	44,67	37,65	37,25	37,55	41,95	60,14
10:15	18,10	31,90	35,85	44,44	37,60	36,91	37,08	41,30	59,46
10:16	18,30	31,66	34,55	44,06	37,35	36,72	36,64	41,10	58,96
10:17	18,50	31,52	35,45	43,88	37,30	36,32	36,31	40,45	58,54
10:18	18,50	31,28	35,25	43,63	36,95	36,08	36,03	40,45	58,12
10:19	18,00	31,12	34,70	43,49	36,60	35,65	35,66	40,15	57,68
10:20	18,00	31,17	34,75	43,25	36,75	35,85	35,50	39,95	57,34

En la tabla XI y figura 29 se muestran los resultados a lo largo del tiempo de la temperatura de salida del colector solar con relación a la irradiación solar del colector solar sin la adhesión de aletas, con una irradiación máxima de 1394,2 W/m² se tiene una temperatura de salida máxima de 48,14 °C, y con una irradiación mínima de 302,2 W/m² una temperatura de salida de 28,32 °C.

TABLA XI. TEMPERATURA DE SALIDA VS RADIACIÓN SOLAR 5 HORAS (P6).

Hora	Radiación solar (w/m2)	Tem. Salida sin aleta °C
10:01	913,8	48,14
10:02	881,2	45,46
10:03	846,3	42,73
10:04	827,4	40,95
10:05	817,1	39,36
10:06	807,8	38,34
10:07	800,9	37,66
10:08	803,8	36,58
10:09	811,2	36,44
10:10	820,4	35,83
10:11	837,6	35,43
10:12	846,8	35,25
10:13	867,9	34,76
10:14	876	33,94

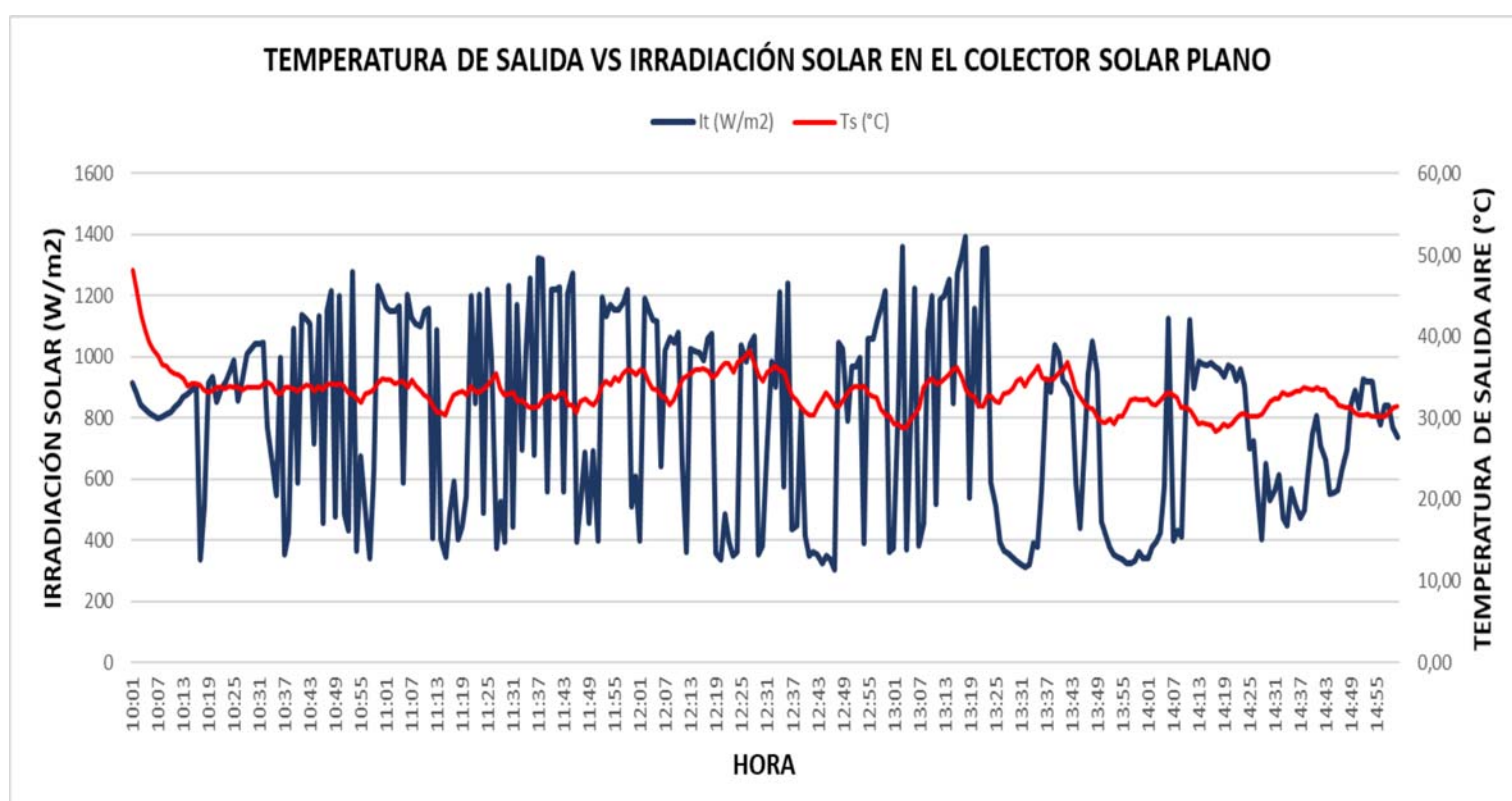


Fig. 22. Temperatura de salida vs radiación solar 5 horas (P6).

En la tabla XII y figura 23 se muestran los resultados a lo largo del tiempo de la temperatura de salida del colector solar con relación a la irradiación solar del colector solar con la adhesión de aletas, con una irradiación de 1394,2 W/m² se tiene una temperatura de salida de 49,44 °C, y con una irradiación mínima de 302,2 W/m² una temperatura de salida de 28,89 °C.

TABLA XII. TEMPERATURA DE SALIDA VS RADIACIÓN SOLAR 5 HORAS (P5).

Hora	Radiación solar (w/m2)	Tem. Salida Con aleta °C
10:01	913,80	49,42
10:02	881,20	49,44
10:03	846,30	47,64
10:04	827,40	45,51
10:05	817,10	44,06
10:06	807,80	42,71
10:07	800,90	41,54
10:08	803,80	40,65
10:09	811,20	39,80
10:10	820,40	39,45
10:11	837,60	38,58
10:12	846,80	38,23
10:13	867,90	37,75
10:14	876,00	37,25

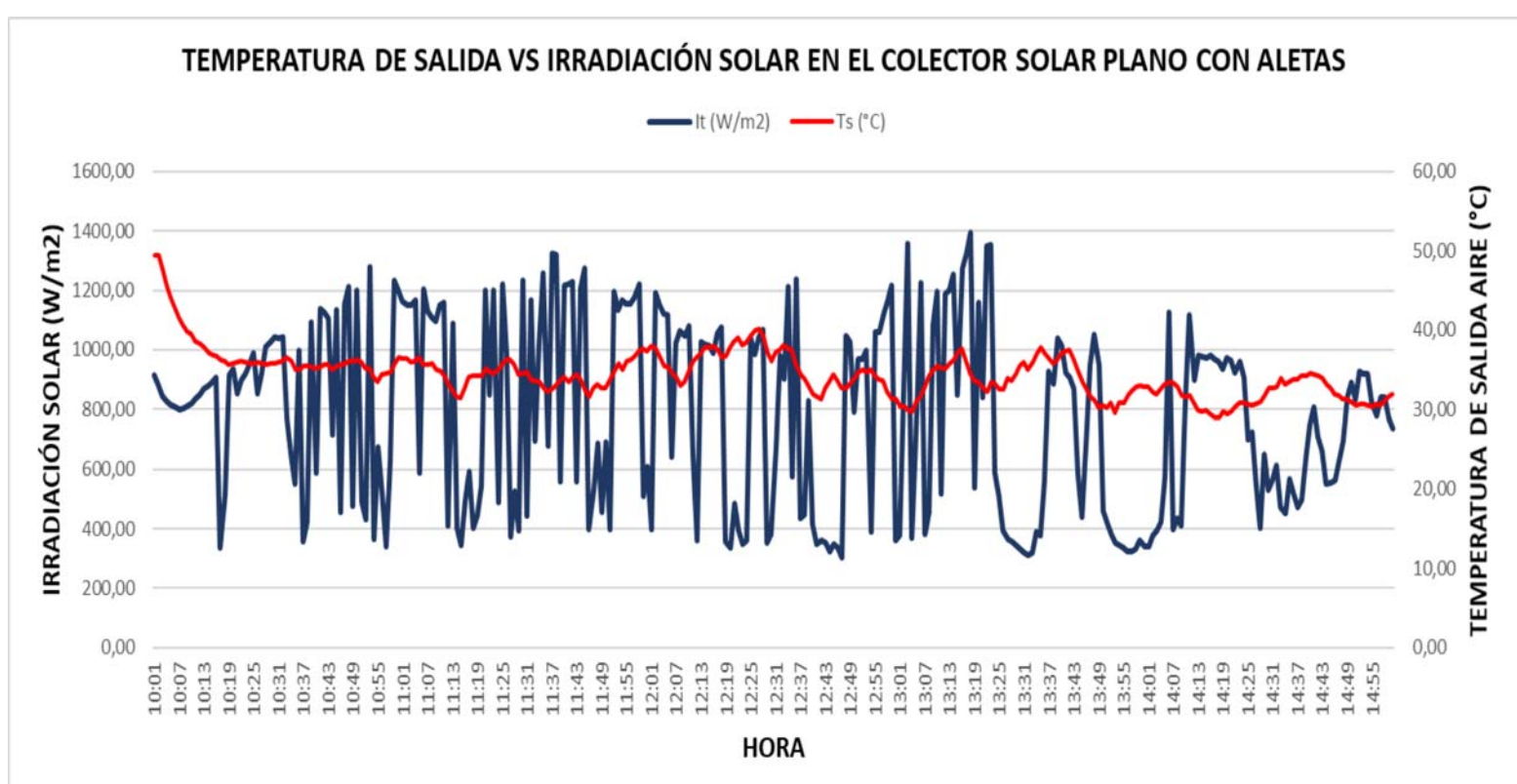


Fig. 23. Temperatura de salida vs radiación solar 5 horas (P5).

En la figura 24, Tabla XIII se presenta la temperatura de salida del colector solar con aleta vs el colector solar sin adhesión de aletas en función de la radiación solar donde se hace evidente que el colector con aletas tiene una temperatura de salida más alta con una temperatura máxima de 49,44°C que la temperatura de salida sin aleta con una temperatura máxima de 48,14°C teniendo una diferencia de temperatura aproximada de 1,3 °C más elevada, estos valores varían de acuerdo a la radiación solar incidente.

TABLA XIII. TEMPERATURA DE SALIDA (P5) VS TEMPERATURA DE SALIDA (P6) 5 HORAS EN FUNCIÓN DE LA RADIACIÓN EN 5 HORAS.

Radiación solar (w/m2)	Tem. Salida Con aleta °C	Tem. Salida sin aleta °C
913,8	49,42	48,14
881,2	49,44	45,46
846,3	47,64	42,73
827,4	45,51	40,95
817,1	44,06	39,36
807,8	42,71	38,34
800,9	41,54	37,66
803,8	40,65	36,58
811,2	39,80	36,44
820,4	39,45	35,83
837,6	38,58	35,43
846,8	38,23	35,25
867,9	37,75	34,76
876	37,25	33,94

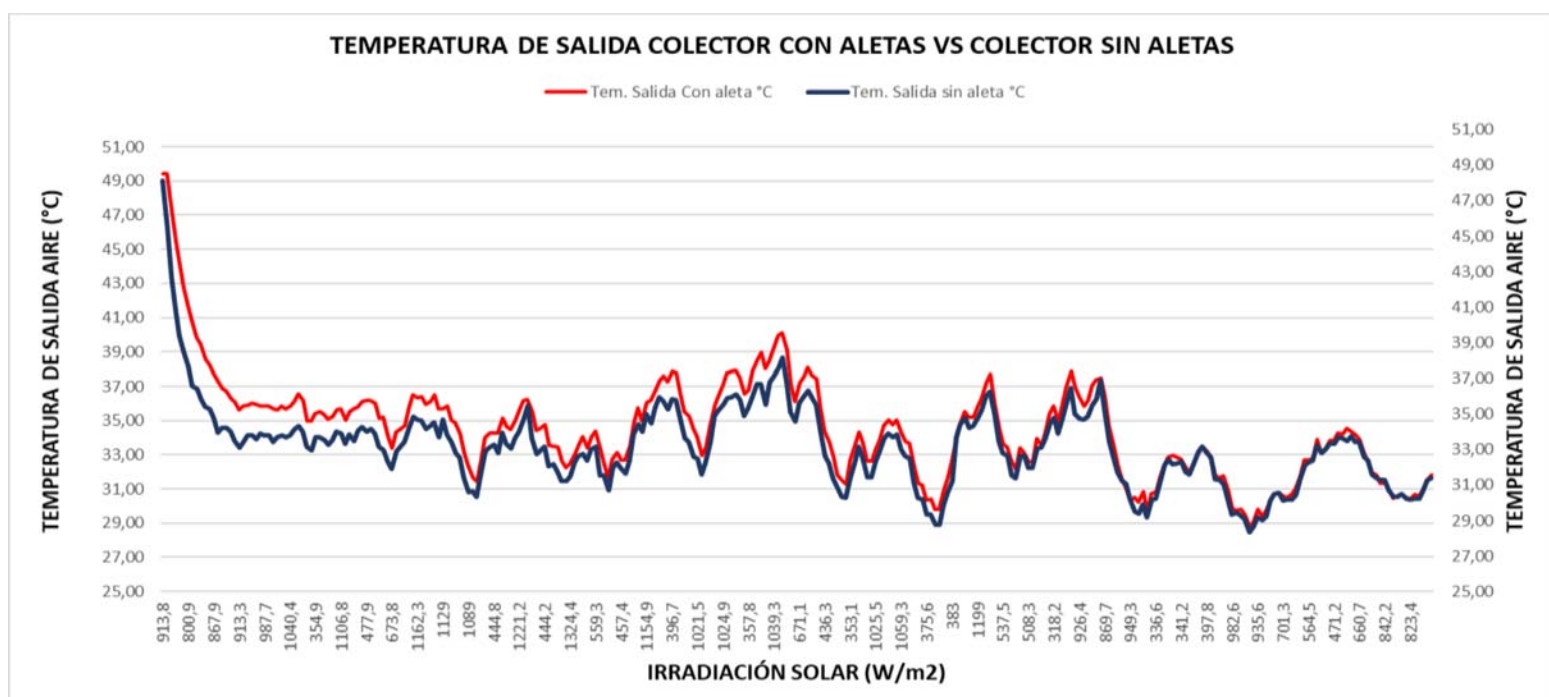


Fig. 24. Temperatura de salida (p5) vs temperatura de salida (p6) 5 horas en función de la radiación en 5 horas.

En la figura 25, Tabla XIV se presenta el calor útil ganado por los colectores con aleta vs el colector solar sin aletas en función de la radiación solar donde se hace evidente que el colector con aletas tiene un calor útil ganado más alta con un flujo de calor máxima de 635,14 W que el flujo de calor máximo sin aleta 609,46 W teniendo una diferencia de flujo de calor de 25,69 W más elevada, estos valores varían de acuerdo a la radiación solar incidente.

TABLA XIV. CALOR ÚTIL GANADO POR EL FLUIDO COLECTOR CON ALETAS VS COLECTOR SIN ALETAS.

Radiación solar (w/m2)	Qc W con aleta	Qc W sin aleta
913,8	634,57	609,46
881,2	635,14	556,59
846,3	599,53	502,89
827,4	557,57	467,75
817,1	527,04	434,46
807,8	498,46	412,48
800,9	475,51	399,12
803,8	459,87	379,70
811,2	447,22	381,04
820,4	440,25	368,90
837,6	423,15	361,14
846,8	414,25	355,59
867,9	396,96	338,07
876	381,16	315,96

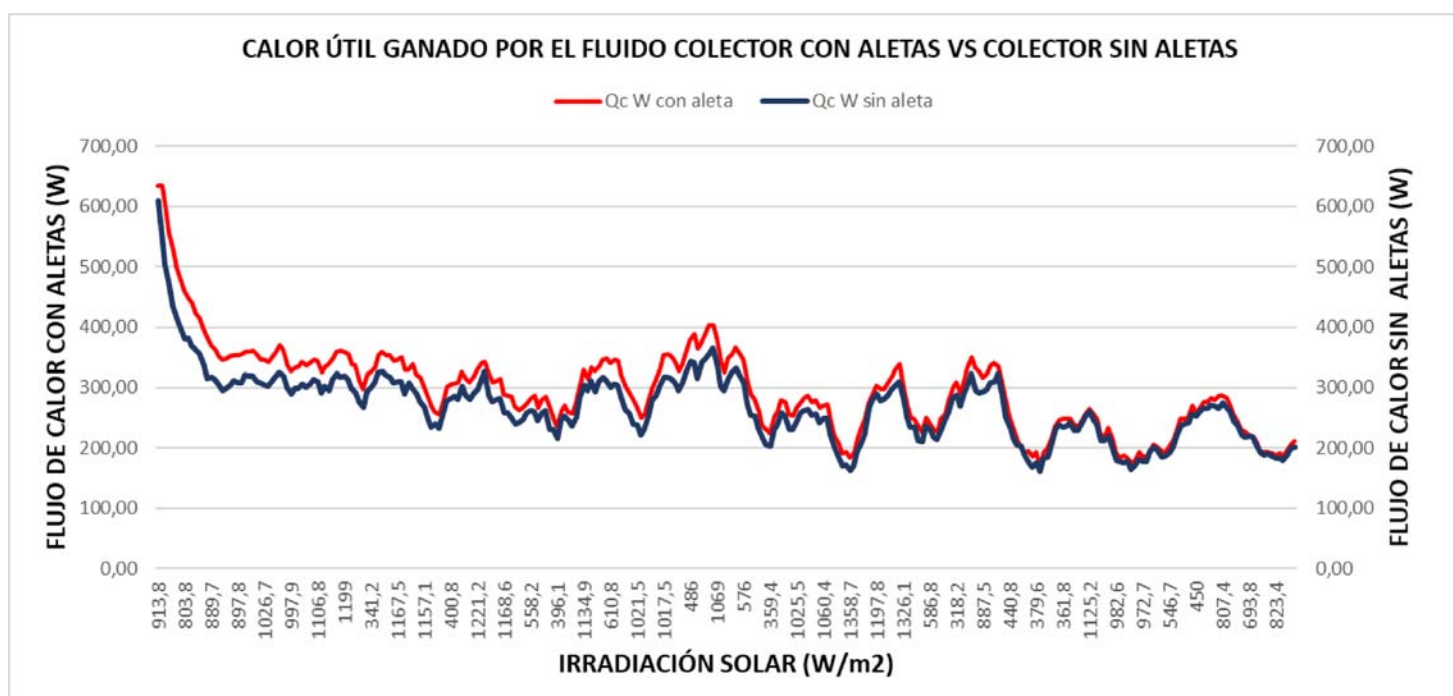


Fig. 25. Calor útil ganado por el fluido colector con aletas vs colector sin aletas.

En la investigación se utilizó un colector solar plano con adhesión de aletas de fabricación local con flujo de aire forzado por este motivo se calculó la eficiencia con la ecuación 42, alcanzando resultados importantes para el desarrollo de secado de productos agrícolas, se llegó a tener una eficiencia media de 64,74 % con valores mínimos de eficiencia de 50,34% y máximos de 71,91% en un día de análisis de 5 horas, estos resultados se obtuvieron en condiciones climatológicas no favorables como se puede observar en las figuras de temperatura en relación con la radiación solar.

TABLA XV. EFICIENCIA DEL COLECTOR SOLAR CON ALETAS.

T ambiente °C	SALIDA TS °C	Radiación solar (w/m2)	Eficiencia %
17,20	49,42	913,8	0,59
17,20	49,44	881,2	0,59
17,20	47,64	846,3	0,59
17,20	45,51	827,4	0,60
17,30	44,06	817,1	0,60
17,40	42,71	807,8	0,61
17,40	41,54	800,9	0,61
17,30	40,65	803,8	0,62
17,10	39,80	811,2	0,62
17,10	39,45	820,4	0,63
17,10	38,58	837,6	0,63
17,20	38,23	846,8	0,64
17,60	37,75	867,9	0,65
17,90	37,25	876	0,65

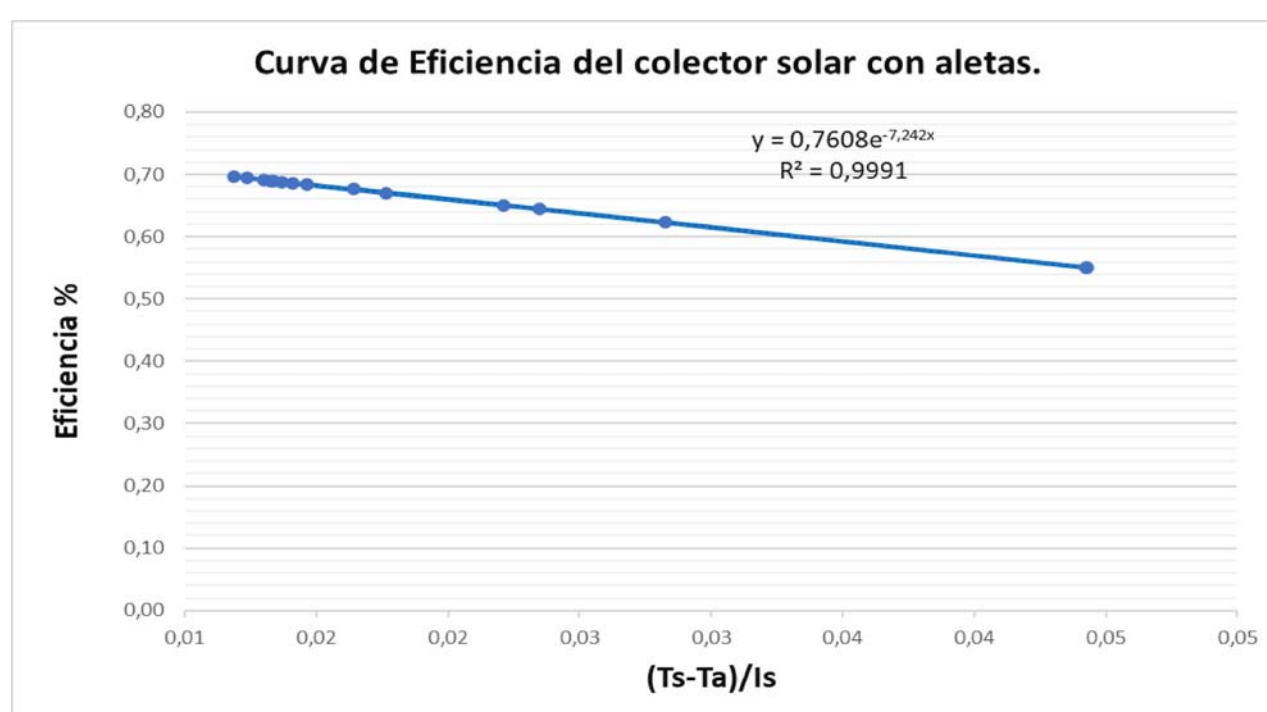


Fig. 26. Eficiencia del colector solar con aletas.

La eficiencia alcanzada en el día 20-09-2021 con un flujo másico de 0,00709 Kg/s y una radiación solar máxima de 1496,17 (W/m²) es del 55%, con una radiación mínima del 533,50 (W/m²) tenemos una eficiencia del 40 % y un promedio general del rendimiento de 53 %, mientras que en el colector sin aletas tenemos un rendimiento máximo de 51% y un rendimiento mínimo de 38% y un promedio general del 51%, esto se puede observar en la tabla XVI, figura 27.

TABLA XVI. EFICIENCIA DEL COLECTOR SOLAR DÍA 20 CON ALETA Y SIN ALETA.

Radiación solar (w/m2)	Eficiencia Aleta%	Eficiencia sin Aleta%
338,9	0,51	0,50
296,4	0,52	0,51
280	0,53	0,51
278,2	0,54	0,51
286,3	0,55	0,51
1323,8	0,55	0,52
318,2	0,54	0,52
376	0,53	0,51
324	0,49	0,48
273,7	0,47	0,46
244,4	0,44	0,42
227,8	0,44	0,41
231,8	0,41	0,39
240,9	0,40	0,38

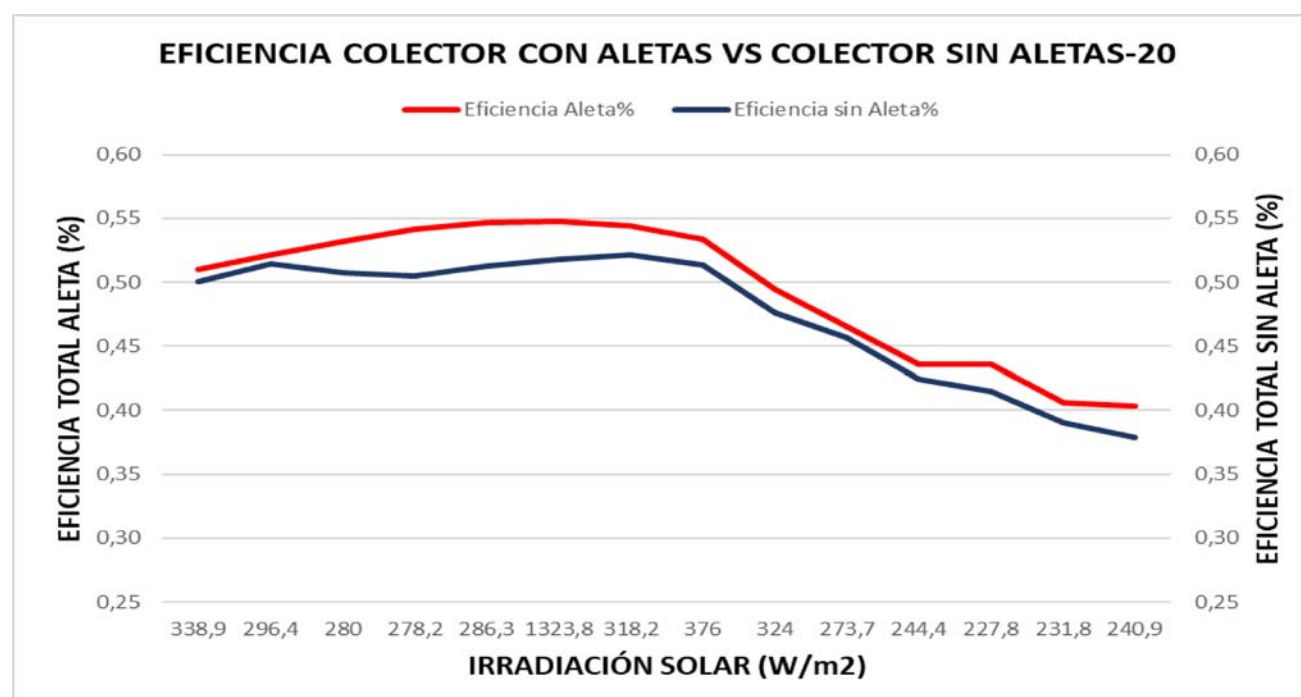


Fig. 27. Eficiencia del colector solar día 20 con aleta y sin aleta.

La eficiencia el día 22-09-2021 con un flujo másico de 0,01202 Kg/s y una radiación solar máxima de 1519,7 (W/m²) es del 70%, con una radiación mínima del 651,14 (W/m²) tenemos una eficiencia del 65 % y un promedio general del rendimiento de 64 %, mientras que en el colector sin aletas tenemos un rendimiento máximo de 68% y un rendimiento mínimo de 62% y un promedio general del 51%, esto se puede observar en la tabla XVII, figura 28.

TABLA XVII. EFICIENCIA DEL COLECTOR SOLAR DÍA 22 CON ALETA Y SIN ALETA.

Radiación solar (w/m2)	Eficiencia Aleta%	Eficiencia sin Aleta%
428,2	0,57	0,57
440,8	0,56	0,55
440,2	0,58	0,57
471,6	0,59	0,57
525,6	0,60	0,59
577,1	0,62	0,61
537,5	0,60	0,58
526,7	0,59	0,57
620,5	0,62	0,61
530,7	0,59	0,58
537	0,60	0,58
545,6	0,63	0,60
610,4	0,64	0,62
582,3	0,64	0,62

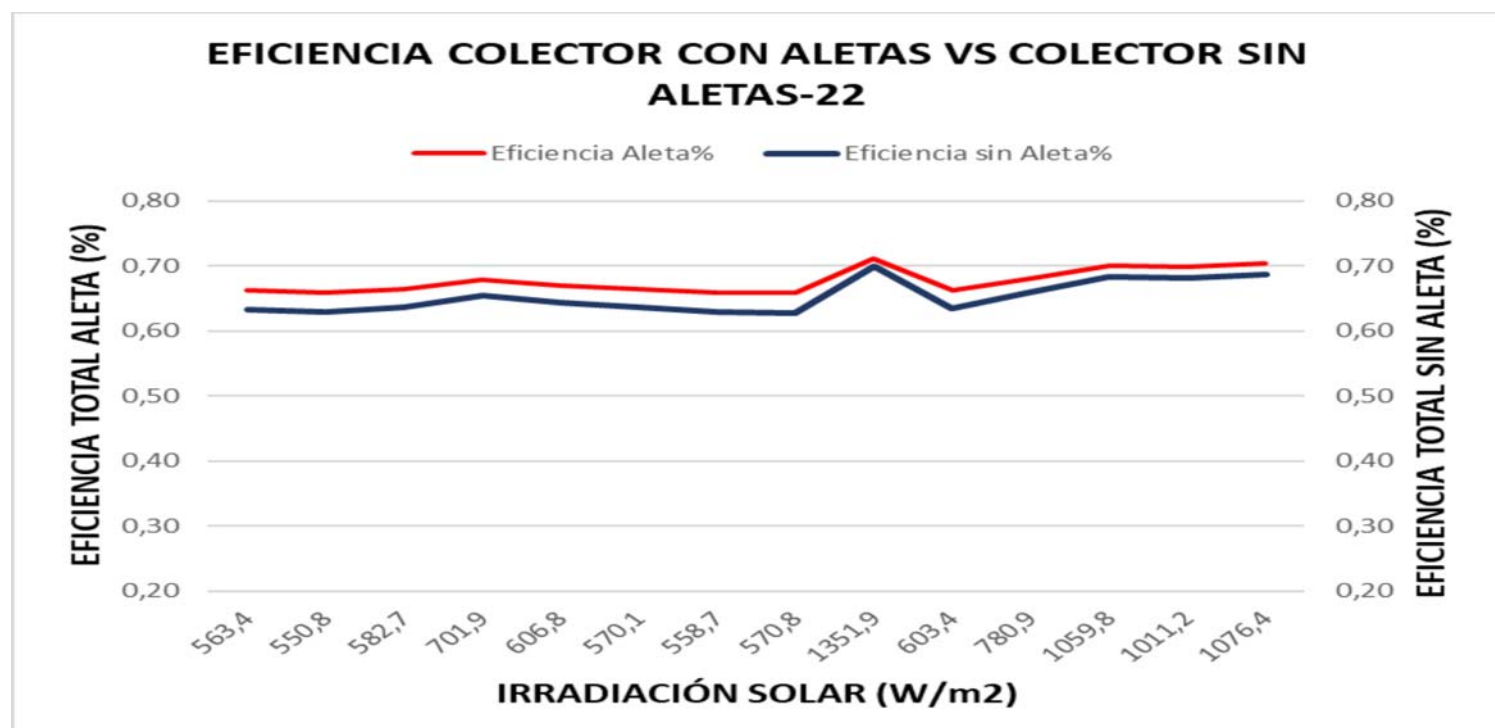


Fig. 28. Eficiencia del colector solar día 22 con aleta y sin aleta.

El día 24-09-2021 con un flujo másico de 0,01604 Kg/s y una radiación solar máxima de 788,30 (W/m²) el rendimiento es del 68%, con una radiación mínima del 315,74 (W/m²) tenemos una eficiencia del 64 % y un promedio general del rendimiento de 52 %, mientras que en el colector sin aletas tenemos un rendimiento máximo de 68% y un rendimiento mínimo de 64% y un promedio general del 51%, esto se puede observar en la tabla XVIII, figura 29, el rendimiento es similar en la mayoría de los puntos de referencia el promedio total varía en el 1%.

TABLA XVIII. EFICIENCIA DEL COLECTOR SOLAR DÍA 24 CON ALETA Y SIN ALETA.

Radiación solar (w/m2)	Eficiencia Aleta%	Eficiencia sin Aleta%
228,90	0,65	0,66
233,50	0,64	0,65
239,30	0,65	0,62
255,90	0,64	0,63
259,80	0,64	0,63
260,40	0,64	0,64
259,30	0,64	0,64
266,70	0,64	0,64
273,70	0,65	0,65
290,10	0,66	0,65
313,10	0,66	0,66
329,20	0,67	0,67
334,20	0,67	0,67
329,20	0,67	0,67

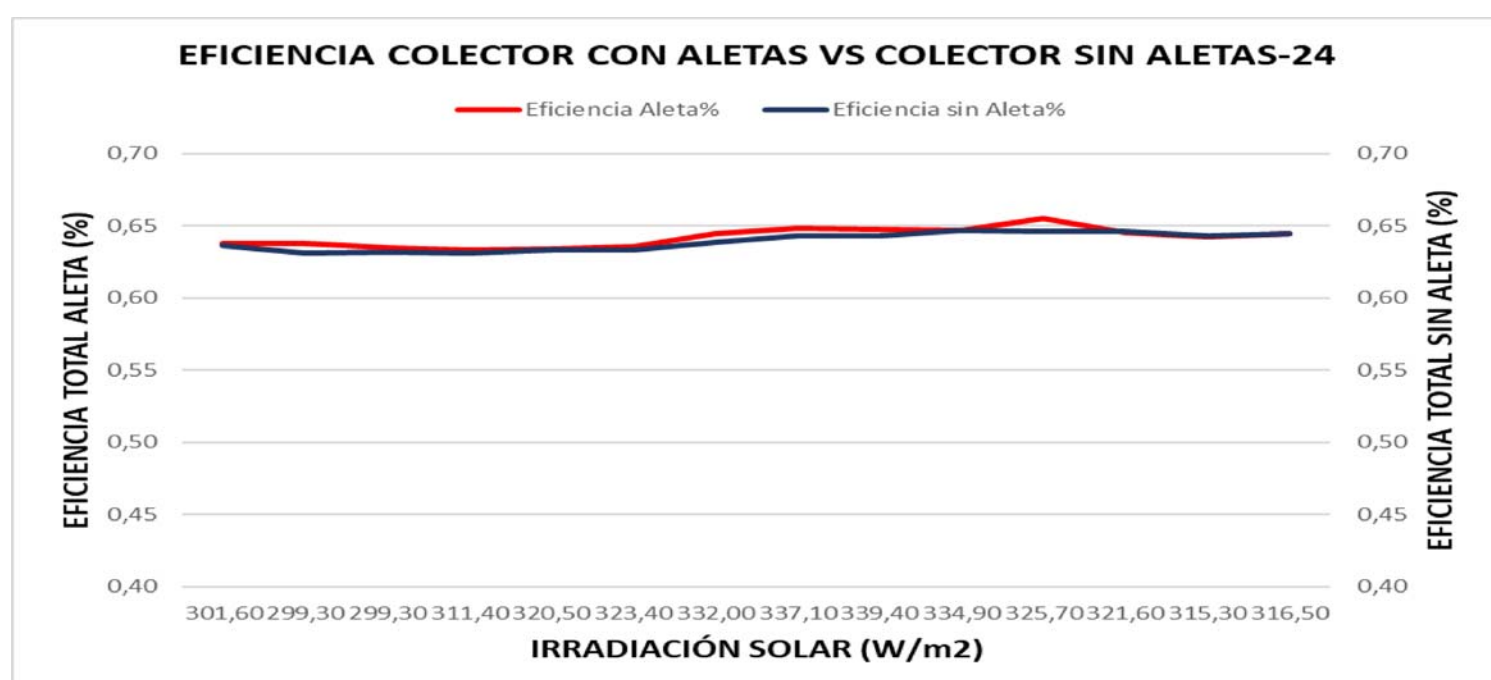


Fig. 29. Eficiencia del colector solar día 24 con aleta y sin aleta.

El día 27-09-2021 con un flujo másico de 0,0196 Kg/s y una radiación solar máxima de 1394,20 (W/m²) el rendimiento es del 71%, con una radiación mínima del 302,20 (W/m²) tenemos una eficiencia del 50 % y un promedio general del rendimiento de 65 %, mientras que en el colector sin aletas tenemos un rendimiento máximo de 68% y un rendimiento mínimo de 46% y un promedio general del 62%, esto se puede observar en la tabla XIX, figura 30, en la figura 20 se puede observar que con una radiación de 1351,90 (W/m²) se llega a una eficiencia del 70% siendo similar a la indicada en el análisis del día 27 pero un punto fundamental es recalcar que las nubosidades se desplazaron quedando el cielo despejado justo en esa lapso de tiempo, las eficiencias dependen de las variantes climáticas, más adelante se presentará las eficiencias de los colectores solares en la misma tabla.

TABLA XIX. EFICIENCIA DEL COLECTOR SOLAR DÍA 27 CON ALETA Y SIN ALETA.

Radiación solar (w/m2)	Eficiencia Aleta%	Eficiencia sin Aleta%
913,8	0,59	0,57
881,2	0,59	0,58
846,3	0,59	0,59
827,4	0,60	0,59
817,1	0,60	0,60
807,8	0,61	0,60
800,9	0,61	0,61
803,8	0,62	0,61
811,2	0,62	0,61
820,4	0,63	0,62
837,6	0,63	0,62
846,8	0,64	0,63
867,9	0,65	0,63
876	0,65	0,64

En la figura 30 se puede observar que el día 27-09-2021 las condiciones climatológicas varían drásticamente llegando a eficiencias mínimas del 50 % aproximadamente en el colector con aletas y en el colector sin aletas la eficiencia mínima llega al 46 %, con radiaciones del 359,40 (W/m²).

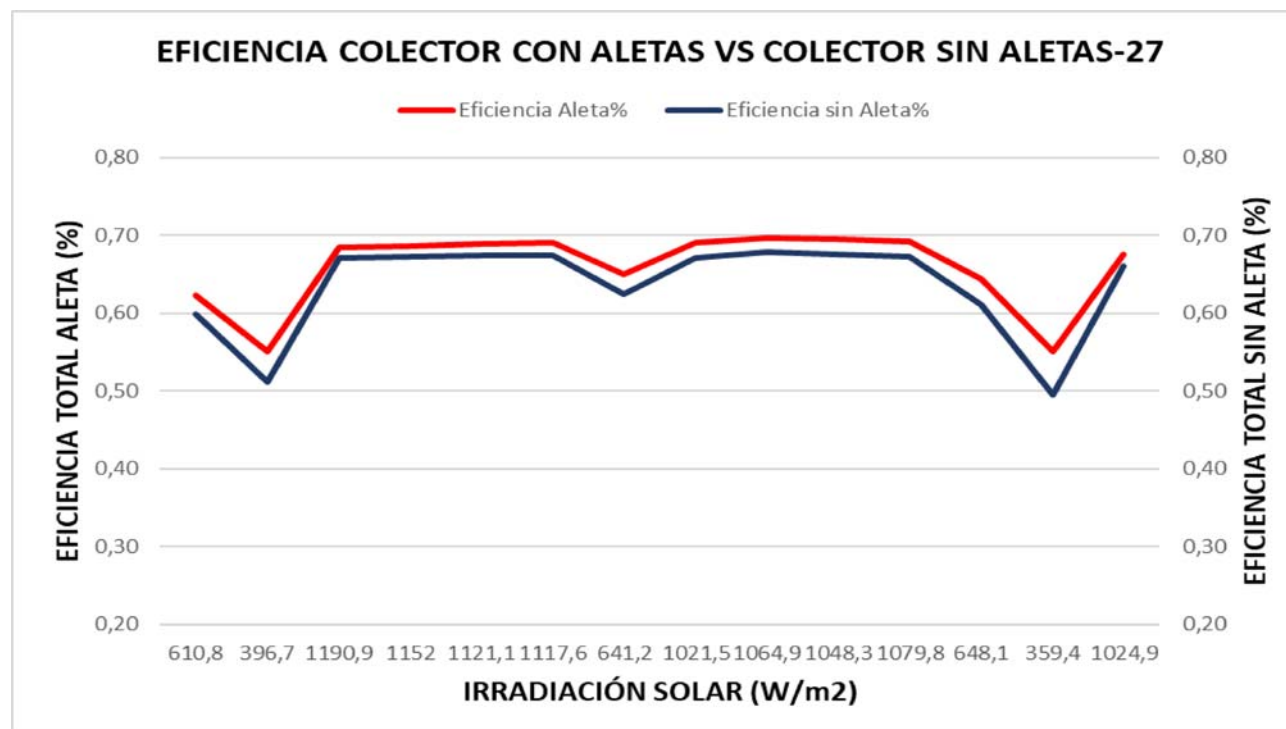


Fig. 30. Eficiencia del colector solar día 27 con aleta y sin aleta.

Se procede a sacar datos promedio en horas de funcionamiento para muestra del comportamiento de la eficiencia con los diferentes flujos máscicos (0, 00709 Kg/s, 0,01202 Kg/s, 0,01604 Kg/s, 0,0196 Kg/s), de funcionamiento del mes de septiembre del 2021 tabla XX, se observa que los máximos valores de eficiencia promedio son para el caudal de 0,0196 Kg/s cabe recalcar que son tomados en días distintos.

TABLA XX. EFICIENCIA DEL COLECTOR EN LOS DISTINTOS DÍAS (HORAS DE FUNCIONAMIENTO).

HORA	Eficiencia 0,00709 Kg/s	Eficiencia 0,01202 Kg/s	Eficiencia 0,01604 Kg/s	Eficiencia 0,0196 Kg/s
	Eficiencia Aleta% (día 20)	Eficiencia Aleta% (día 22)	Eficiencia Aleta% (día 24)	Eficiencia Aleta% (día 27)
10:00	0,40	0,64	0,63	0,69
11:00	0,46	0,66	0,64	0,69
12:00	0,55	0,70	0,68	0,71
13:00	0,54	0,63	0,63	0,67
14:00	0,53	0,61	0,60	0,68
15:00	0,49	0,61	0,60	0,67

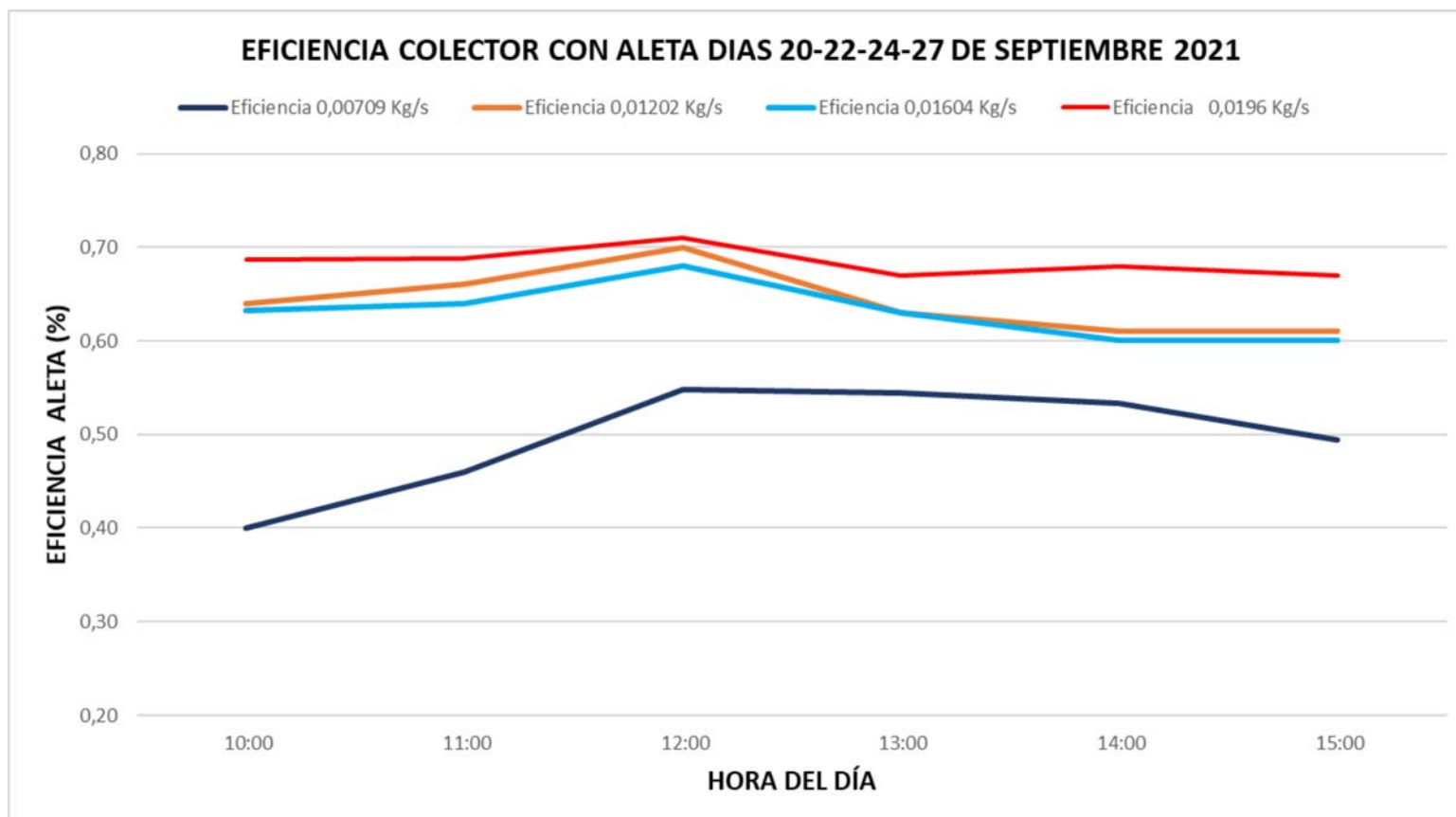


Fig. 31. Eficiencia del colector en los distintos días (horas de funcionamiento).

En la figura 31 se muestran el comportamiento de la eficiencia del colector solar con la adhesión de aletas para los diferentes caudales (0, 00709 Kg/s, 0,01202 Kg/s, 0,01604 Kg/s, 0,0196 Kg/s), donde se observa el comportamiento de la radiación solar en función del tiempo, tenemos un rendimiento del 70 al 71 % con radiaciones solares aproximados de 1394,20 (W/m²).

3.4. Valoración económica de la propuesta del colector solar con el uso de aletas.

TABLA XXI. VALORACIÓN ECONÓMICA COLECTOR SIN ALETAS.

Material colector sin aletas.				
Denominación	Unidad	Cantidad	Precio unitario [USD/Unidad]	Precio total [USD]
Ángulo de acero 40x40x3 mm	m	6	7,5	45,0
Lámina estándar de acero galvanizado.	u	1	24	24,0
Vidrio de L=1m X A=0,5	u	1	5	5,0
Aislante térmico poliuretano.	m	1	20	20,0
Plancha Estándar de aluminio 1.1mm L=1mX0,5	u	1	25	25,0
Silicon	u	5	2,1	10,5
Autoroscantes 5/32X3/4"	u	40	0,03	1,2
			Total materiales:	130,7
Insumos				
Denominación	Unidad	Cantidad	Precio unitario [USD/Unidad]	Precio total [USD]
Electrodo E 6011 1/8	kg	2	5	10,0
Remaches pop 3/16 x 1/4	u	50	0,02	1,0
Pintura al horno	u	1	18	18,0
Imprevistos	u	1	80	80,0
			Total insumos:	109,0
Equipamiento				
Denominación	Unidad	Cantidad	Precio unitario [USD/Unidad]	Precio total [USD]
Ventilador	Unidad	1	58,0	58,0
Termómetro infrarrojo	Unidad	1	350,0	350,0
Estación meteorología	Unidad	1	540,0	540,0
			Total equipamiento:	948,0
			Total gastos:	1187,7

TABLA XXII. VALORACIÓN ECONÓMICA COLECTOR CON ALETAS.

Material colector con aletas.				
Denominación	Unidad	Cantidad	Precio unitario [USD/Unidad]	Precio total [USD]
Ángulo de acero 40x40x3 mm	m	6	7,5	45,0
Lámina estándar de acero galvanizado.	u	1	24	24,0
Vidrio de L=1m X A=0,5	u	1	5	5,0
Aislante térmico poliuretano.	m	1	20	20,0
Plancha Estándar de aluminio 1.1mm L=1mX0,5	u	2	25	50,0
Silicon	u	5	2,1	10,5
Autoroscantes 5/32X3/4"	u	40	0,03	1,2
Total materiales:				155,7
Insumos				
Denominación	Unidad	Cantidad	Precio unitario [USD/Unidad]	Precio total [USD]
Electrodo E 6011 1/8	kg	2	5	10,0
Remaches pop 3/16 x 1/4	u	50	0,02	1,0
Pintura al horno	u	1	18	18,0
Imprevistos	u	1	80	80,0
Total insumos:				109,0
Equipamiento				
Denominación	Unidad	Cantidad	Precio unitario [USD/Unidad]	Precio total [USD]
Ventilador	Unidad	1	58,0	58,0
Termómetro infrarrojo	Unidad	1	350,0	350,0
Estación meteorología	Unidad	1	540,0	540,0
Total equipamiento:				948,0
Total gastos:				1212,7

En la tabla XVI y XVII se exponen los costos de fabricación de los colectores solares, el colector sin aletas tiene un costo de 1187,7 USD y el colector con aletas 1212,7 USD como se puede observar la diferencia económica entre la fabricación del colector solar con la adhesión de aletas y sin aletas es de 25,0 USD, la diferencia de energía producida es 8,47 W con una radiación mínima de 302,20 W/m², con una radiación máxima 1394,20 W/m² tenemos una diferencia energética de 25,65 W, la máxima energía producida del colector solar con aletas es de 635,14 W (0,635 kJ).

CONCLUSIONES

- La eficiencia media del colector solar de placa plana con la adhesión de aletas rectangulares con aire forzado fue de 64,75 %, el valor mencionado se consiguió luego de haber realizado las pruebas de funcionamiento en un tiempo de 5 horas día con distintos flujos máxicos en sus días respectivos, las condiciones meteorológicas no fueron favorables en los meses de agosto, septiembre y octubre del 2021, en los días que se realizaron las pruebas el clima varió significativamente a pesar de eso la respuesta del colector solar fue favorable obteniendo un calor útil medio de 292.51 W en el colector de placa plana con aletas con una temperatura de salida que varía entre 301,14 K (27,99 °C) a 322,59 K (49.44 °C), por los valores expuestos se entiende la relación directa del clima con el rendimiento del colector solar con la adhesión de aletas rectangulares, ya que influye directamente a la superficie de la placa colectora.
- La temperatura media del aire a la salida conseguidas en un área de 0.563 m² del colector solar térmico con aletas es 307,67 K (34,52°C) a diferencia del colector solar sin aletas con un área de 0.5 m² es 305,44 K (32,29°C) muestra características favorables para la aplicabilidad en secado de semillas, evitando consumos energéticos elevados por combustible fósiles.
- El colector solar estudiado fue construido con la idea de aplicarlo en el secado de semillas para el beneficio de las comunidades, aprovechando la energía solar disponible, para disminuir el tiempo de secado ya que en la actualidad los realizan al aire libre, creando un ahorro económico en las comunidades.

RECOMENDACIONES

- Para mejorar el funcionamiento se debe tener en cuenta las dimensiones del colector, es decir el área total de la placa colectora, mientras más grande sea el área de captación mayor energía térmica se transfiere al fluido.
- Se recomienda utilizar colectores solares de agua desechados, modificarlos y adaptarlos para que trabajen con flujo de aire forzado para disminuir pérdidas.
- Siempre utilizar flujo forzado para tener temperaturas aceptables a la salida del colector, el aire forzado es el factor primordial para incrementar la transferencia de calor en la cámara colectora.
- El estudio se realizó con un ángulo de inclinación de 15° , se recomienda analizar el estudio variando los ángulos de inclinación de la instalación, esto nos permitirá mejorar la orientación y mayor exposición de la placa colectora a la energía solar incidente.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] Secretaría Nacional de Planificación 2021, «Plan de Creación de Oportunidades 2021-2015,» *Plan de Creación de Oportunidades 2021-2015*, vol. I, nº I, p. 122, 2021.
- [2] S. Abhishek, Varun y . A. El-Sebaili, «A thermodynamic review of solar air heaters,» *ELSEVIER*, vol. 1, nº 43, pp. 863-890, 2015.
- [3] Z. Said, M. Alim y I. Janajreh, «Exergy efficiency analysis of a flat plate solar collector using graphene based nanofluid,» *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, vol. 92, nº 1, pp. 1-15, 2015.
- [4] S. Kumar, «Thermal Analysis of Solar Air Heater in Natural Convection,» *International Journal of Engineering and Techniques*, vol. 4, nº 1, pp. 36-38, 2018.
- [5] S. N. S. S. P. Sharma, «Exergy Based Performance Analysis of Double Flow Solar Air Heater with Corrugated Absorber,» *International Scholarly and Scientific Research & Innovation*, vol. 11, nº 12, pp. 1212-1218, 2017.
- [6] E. C. Okoroigwe y S. N. Agbo, «Analysis of Thermal Losses in the Flat-Plate Collector of a Thermosyphon Solar Water Heater,» *Research Journal of Physics*, vol. 1, nº 1, pp. 35-41, 2007.
- [7] O. Valladares Garcia y I. Pilatowsky Figueroa, *Aplicaciones térmicas de la energía solar*, México: Instituto de Energías Renovables, UNAM, 2017, pp. 22-24.
- [8] J. J. H. Villalobos, «Energía Solar,» de *Notas sobre el curso Energía Solar*, Tlaquepaque-Jalisco, 1995.
- [9] P. O. J. Antonio, «Tesis fin de Master “VARIANTES DE DISEÑO DE UN PROTOTIPO DE COLECTOR SOLAR PLANO PARA EL MEJORAMIENTO DE LA EFICIENCIA ENERGÉTICA”,» Universidad Técnica de Cotopaxi, Latacunga, 2017.
- [10] E. A. L. Cedeño, *ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA Y TÉRMICA- UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI*, Latacunga, 2019.
- [11] Instituto Tecnológico de Canarias, S.A., *Energías renovables y eficiencia energética*, Merida-Canarias: ISBN 978-84-69093-86-3, 2008.

- [12] M. F. Atienza, «Óptica geométrica-La óptica sin ondas,» PID_00159137, Catalunya, 2020.
- [13] J. P. Holman, TRANSFERENCIA DE CALOR, Aravaca-Madrid: McGRAW-HILL/INTERAMERICANA, 1998.
- [14] Y. A. CENGEL, TRANSFERENCIA DE CALOR Y MASA, MÉXICO: McGRAW-HILL/INTERAMERICANA EDITORES, S.A. DE C.V., 2007.
- [15] Department of Mechanical Engineering, Dr. A.P.J. Abdul Kalam Centre for Advanced Research, Adhi College of Engineering and Technology, Kanchipuram, Tamil Nadu, India, «EXPERIMENTAL INVESTIGATION OF FLAT PLATE COLLECTOR WITH CYLINDRICAL FINS IN A SOLAR AIR HEATER,» *Jr. of Industrial Pollution Control*, vol. 33, nº 2, pp. 1128-1131, 2017.
- [16] H. T. R. M. a. J. R. R. Ehsan MOHSENI-LANGURI, «AN ENERGY AND EXERGY STUDY OF A SOLAR THERMAL AIR COLLECTOR,» *THERMAL SCIENCE*, vol. 13, nº 1, pp. 205-216, 2009.
- [17] A. Koulibaly y J. J. González Bayón, «Modelación de un colector solar para calentamiento de aire,» *Ingeniería Energética*, vol. 36, nº 3, pp. 282-293, 2015.
- [18] H. F. O. A. H. Fatih Bayrak, «Energy and exergy analyses of porous baffles inserted solar air heaters for building applications,» *Energy and Buildings*, vol. 57, nº 1, pp. 338-345, 2013.
- [19] «Numerical study on thermal performance of a solar air collector with fins and baffles attached over the absorber plate,» *INTERNATIONAL JOURNAL OF HEAT AND TECHNOLOGY*, vol. 35, nº 2, pp. 289-296, 2017.
- [20] R. A. K. S. T Bhattacharyya, «Heat Transfer Analysis on Finned Plate Air Heating Solar Collector for its Application in Paddy Drying,» *ELSEVIER*, vol. 109, nº 1, pp. 353-360, 2017.
- [21] C.-D. H. J.-Z. H. H.-M. Yeh, «Collector efficiency of double-flow solar air heaters with fins attached,» *Pergamo*, vol. 27, nº 251, p. 715–727, 2002.
- [22] D. R. D. J. A. S. S Dogra, «Study of Performance Enhancement of Single and Double Pass Solar Air Heater with Change in Surface Roughness,» *Journal of Physics: Conference Series*, vol. 1531, nº 012091, pp. 107-138-185, 2020.
- [23] S. Rai, C. Prabha y S. P. Sharma, «Thermal and Thermohydraulic Performance Analysis on Offset Finned Absorber Solar Air Heater,» *International Journal of*

Mechanical & Mechatronics Engineering IJMME-IJENS, vol. 16, nº 05, pp. 14-22, 2016.

- [24] N. M. S. B. Foued Chabane, «Effect of the Tilt Angle of Natural Convection in A Solar Collector with Internal Longitudinal Fins,» *Science and Engineering Investigations*, vol. 1, nº 7, pp. 13-17, 2012.
- [25] J. A. Duffie y A. B. William, *Solar Engineering of Thermal Processes*, New Jersey: Published by John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, 2013.
- [26] I. Zabala ribian y A. A. Usón, *Energía Solar Térmica y Fotovoltaica*, Zaragoza: Servicio de Publicaciones. Universidad de Zaragoza, 2009.
- [27] C. A. S. D. T. Nouri Alkishriwi, «The International Standards for Solar Thermal Collectors and Components as a Medium of Quality Assurance,» *Solar Energy And Sustainable Development*, vol. 3, nº 45, pp. 11-27, 2016.
- [28] S. I. E. M. Cortez Vega Willian Alexander, «Implementación de un sistema de adquisición de datos de un proceso de secado de cacao y visualización de parametros en HMI.,» Universidad Técnica de Cotopaxi, Latacunga, 2020.
- [29] R. G. Kurt Gieck, «Manual de fórmulas técnicas,» Alfaomega Grupo Editor, S.A. de C.V, México, 2000.
- [30] NORMA ECUATORIANA DE CONSTRUCCIÓN NEC-11 CAPÍTULO 14 ENERGÍAS RENOVABLES, NORMA ECUATORIANA DE CONSTRUCCIÓN NEC-11 CAPÍTULO 14 ENERGÍAS RENOVABLES, Quito: N/A, 2011.
- [31] F. P. Incropera y D. P. Dewitt, *Fundamentals of Heat and Mass Transfer*, United States of America: John Wiley & Sons, Inc., 2011.
- [32] DIRECCIÓN DE PLANIFICACIÓN URBANA Y RURAL DEL GADM LATACUNGA., PLAN DE DESARROLLO Y ORDENAMIENTO TERRITORIAL (PDyOT) 2016-2018 DEL CANTÓN LATACUNGA, Latacunga: Secretaría Nacional de Planificación y Desarrollo -SENPLADES, 2016.
- [33] O. G. Valladares y I. P. Figueroa, *APLICACIONES TÉRMICAS DE LA ENERGÍA SOLAR*, México: Instituto de Energías Renovables, 2017, pp. 22, 24.

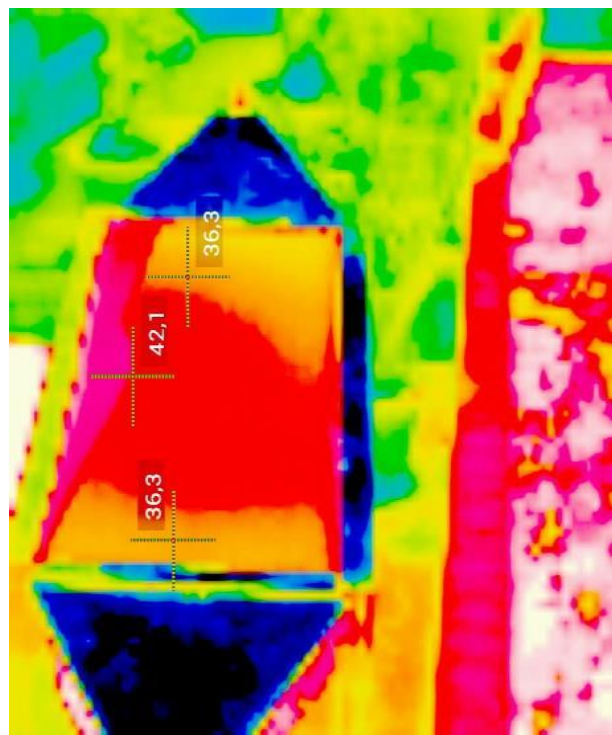
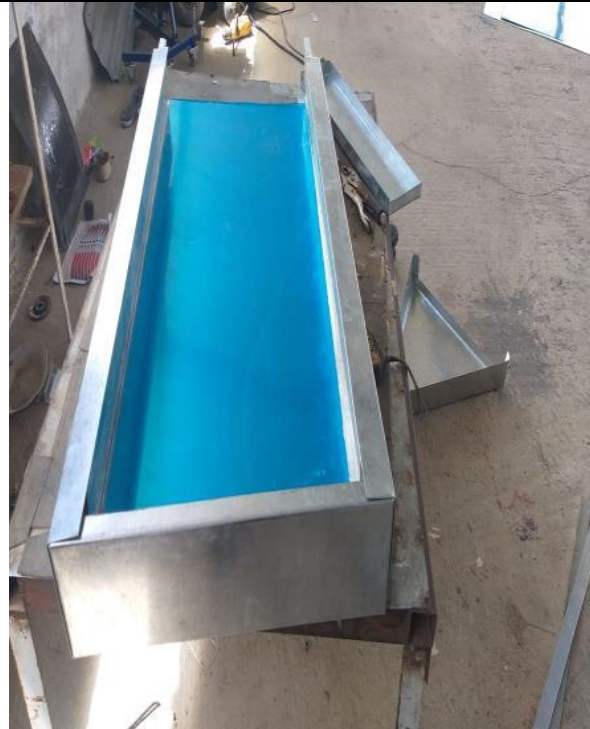
- [34] Universidad Oberta de Cataluña, «Óptica geométrica-La óptica sin ondas,» PID_00159137, Cataluña, 2021.
- [35] S. Sharma y S. N. Saha, «Exergy Based Performance Analysis of Double Flow Solar Air Heater with Corrugated Absorber,» *International Journal of Energy and Power Engineering*, vol. 11, n° 12, pp. 1212-1218, 2017.
- [36] T. Bhattacharyya, A. Anandalakshmi y K. Srinivasan, «Heat Transfer Analysis on Finned Plate Air Heating Solar Collector for its Application in Paddy Drying,» *ScienceDirect*, vol. 1, n° 109, p. 353 – 360, 2017.
- [37] S. Dogra, R. D. Jilte y A. Sharma, «Study of Performance Enhancement of Single and Double Pass Solar Air Heater with Change in Surface Roughness,» *Journal of Physics: Conference Series* , vol. 012091, n° 1531, pp. 107-138-185, 2020.
- [38] F. Chabane, N. Moumimi y S. Benramache, «Effect of the Tilt Angle of Natural Convection in A Solar Collector with Internal Longitudinal Fins,» *Science and Engineering Investigations* , vol. 1, n° 7, pp. 13-17, 2012.
- [39] H. M. Yeh, C. D. Ho y J. Z. Hou, «Collector efficiency of double-flow solar air heaters with fins attached,» *Pergamon*, vol. 251, n° 27, pp. 715-725, 2002.
- [40] KingFrigo, «Ficha técnica-Sistemas de paneles aislados,» Proyecto: Frozen , Nariño, 2019.

ANEXOS

ANEXO 1 FOTOS SENSORES



ANEXO 2 FOTOS COLECTOR

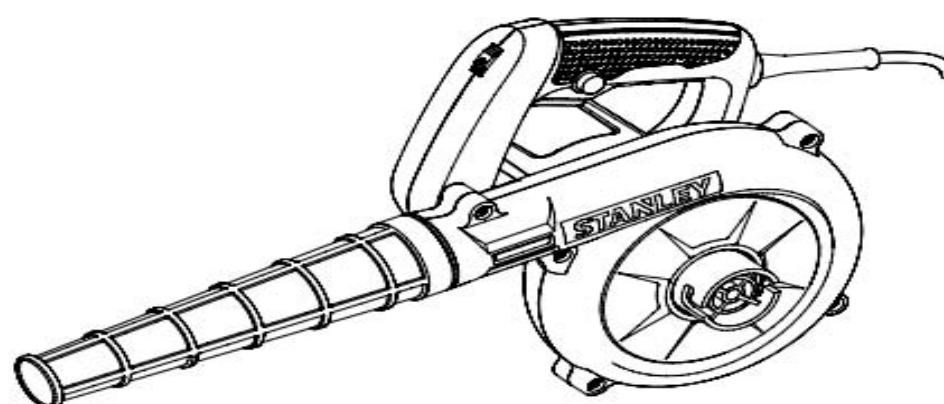


ANEXO 3	Datasheet soplador Stanley	1 de 2
-------------------	-----------------------------------	---------------

STANLEY®

Sopladora/Aspiradora de Velocidad Variable
Soprador/Aspirador de Velocidade Variável
Variable Speed Blower/Vacuum

STPT600



Español 3
Português 6
English 9

MANUAL DE INSTRUCCIONES **MANUAL DE INSTRUÇÕES** **INSTRUCTION MANUAL**

ADVERTENCIA: LEASE ESTE INSTRUCTIVO ANTES DE USAR EL PRODUCTO.
ADVERTÊNCIA: LEIA ESTAS INSTRUÇÕES ANTES DE USAR O PRODUTO.
WARNING: READ INSTRUCTION MANUAL BEFORE USING PRODUCT.

ESPAÑOL • 5

CARACTERÍSTICAS (Fig. A)

1. Tubo
2. Orificio de soplado
3. Gatillo interruptor
4. Control de velocidad
5. Botón de traba
6. Orificio de succión
7. Colector de polvo

MONTAJE

⚠ **¡Atención!** Antes de proceder al montaje, compruebe que la herramienta está apagada y desenchufada.

USO

Montaje del tubo para aspirado (Fig. A)

- ▶ Introduzca la patilla ubicada en el interior del tubo en la ranura del orificio de soplado (1).
- ▶ Para trabar el tubo en el local, gire el tubo en la dirección indicada.
- ▶ Para retirar el tubo, gire al mismo, en sentido contrario.

Montaje del tubo y colector de polvo para aspirado de polvo (Fig. B)

- ▶ Para aspirado de polvo, monte el colector de polvo en el orificio de soplado (2) y el tubo en el orificio de succión (6).
- ▶ Para retirar el colector de polvo y el tubo, simplemente tire después de girar en la dirección opuesta.
- ▶ Vacíe el colector de polvo frecuentemente para asegurar una máxima eficiencia de aspirado.

Operación del soplador (Fig. C)

- ▶ Para encender el soplador, presione el interruptor (3). Para pararlo, suelte el interruptor.
- ▶ Ajuste la velocidad con el control de velocidad (4).
- ▶ Para una operación continua, primero presione el interruptor y después el botón de traba (5), suelte el interruptor. Para desactivar la traba, presione y libere el gatillo interruptor.
- ▶ Si el cable se daña durante el uso, desconecte el cable de alimentación de la red inmediatamente. **No toque el cable antes de desconectar la fuente.**
- ▶ No transporte el aparato por el cable.
- ▶ Desconecte el aparato de la red eléctrica
 - a. Cada vez que salen de la máquina;
 - b. Antes de eliminar una obstrucción;
 - c. Antes de inspeccionar, limpiar o trabajar en el aparato;
 - d. Si el aparato comienza a vibrar de manera anormal.

⚠ **¡Atención!** El funcionamiento continuo de la herramienta no debe superar los 30min.

Substitución de las escobillas de carbón (Fig. D)

- ▶ Utilice un destornillador para retirar la tapa de la escobilla.
- ▶ Retire la escobilla de carbón usada, instale una nueva y recolóque la tapa.

⚠ **¡Atención!** Sustituya y verifique las escobillas de carbón regularmente. Sustitúyalas cuando el desgaste llegue a la marca límite.

MANTENIMIENTO

Su herramienta fue diseñada para operar por largo tiempo con un mínimo de mantenimiento. La operación satisfactoria continua depende de cuidados adecuados y limpieza regular.

⚠ **¡Advertencia!** Antes de realizar cualquier tipo de mantenimiento, apague y desenchufe la herramienta.

- ▶ Limpie periódicamente las ranuras de ventilación de la herramienta con un cepillo suave o un paño seco.
- ▶ Limpie periódicamente la carcasa del motor con un paño húmedo. No utilice ninguna sustancia limpiadora abrasiva o que contenga disolventes.

PROTECCIÓN DEL MEDIO AMBIENTE



Separación de desechos. Este producto no debe desecharse con la basura doméstica normal. Si llega el momento de reemplazar su producto STANLEY o éste ha dejado de tener utilidad para usted, no lo deseche con la basura doméstica normal. Asegúrese de que este producto se deseche por separado.



La separación de desechos de productos usados y embalajes permite que los materiales puedan reciclarse y reutilizarse. La reutilización de materiales reciclados ayuda a evitar la contaminación medioambiental y reduce la demanda de materias primas. La normativa local puede ofrecer la separación de desechos de productos eléctricos de uso doméstico en centros municipales de recogida de desechos o a través del distribuidor cuando adquiere un nuevo producto.

INFORMACIÓN DE SERVICIO

Todos los Centros de Servicio de STANLEY cuentan con personal altamente capacitado dispuesto a brindar a todos los clientes un servicio eficiente y confiable en la reparación de herramientas eléctricas. Para mayor información acerca de nuestros centros de servicio autorizados y si necesita consejo técnico, reparaciones o piezas de repuesto originales de fábrica, comuníquese a su oficina local.

ESPECIFICACIONES

	STPT600
Potencia	600W
Velocidad sin carga	0 - 16000/min (rpm)
Volumen de Aire	3,5 m ³ /min
Peso	1,7kg



5.3 Sensor Array Set Up

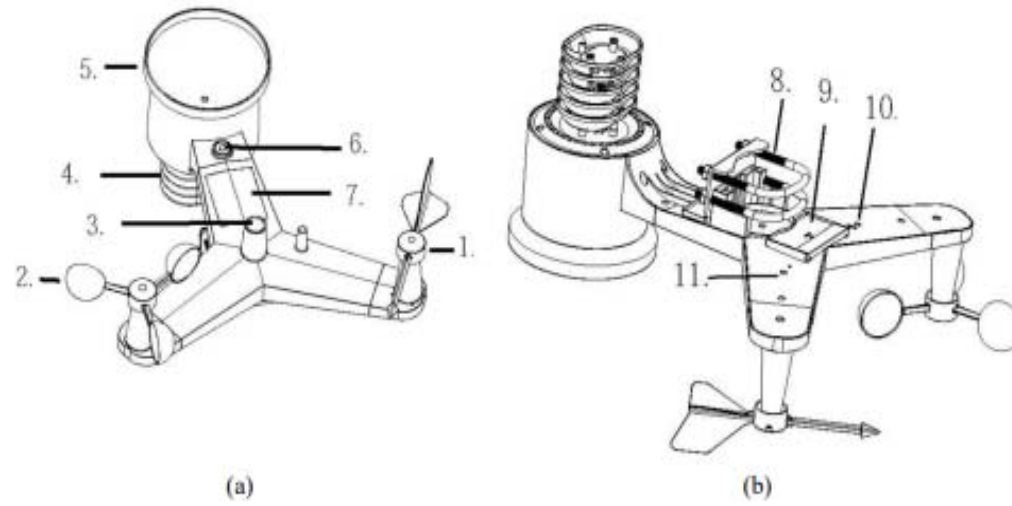


Figure 1

No	Description	No	Description
1	Wind Vane (measures wind direction)	7	Solar panel
2	Wind Speed Sensor (measures wind speed)	8	U-Bolt
3	UV sensor/ Light sensor	9	Battery compartment
4	Thermometer-hygrometer sensor (measures temperature and humidity)	10	Reset button
5	Rain collector	11	LED transmitter Indicator
6	Bubble level		

5.3.1 Install Wind Vane

Reference Figure 2. (a) Locate and align the flat key on the wind vane shaft to the flat key on the wind vane and push the vane on to the shaft. (b) tighten the set screw with a precision screwdriver and make sure the wind vane spins freely.

Note: You may need to back out the set screw first before sliding the vane onto the shaft.

Note: The wind vane shaft does not spin as freely as the wind cups. This is by design. The dampening prevents the wind vane from spinning with the slightest breeze, which will result in variable wind all the time. The added resistance allows the wind vane to change direction with 2 – 3 mph, providing a much better wind direction tracking.

ANEXO 6	Datasheet WS-2000	2 de 2
--------------------	--------------------------	---------------



Parameter	Type of Calibration	Default	Typical Calibration Source
Temperature	Offset	Current Value	Red Spirit or Mercury Thermometer (1)
Humidity	Offset	Current Value	Sling Psychrometer (2)
ABS Barometer	Offset	Current Value	Calibrated laboratory grade barometer
REL Barometer	Offset	Current Value	Local airport (3)
Wind Direction	Offset	Current Value	GPS, Compass (4)
Solar Radiation	Gain	1.00	Calibrated laboratory grade solar radiation sensor
1 w/m ²	Gain	126.7 lux	Solar radiation conversion from lux to w/m ² for wavelength correction (5)
Wind	Gain	1.00	Calibrated laboratory grade wind meter (6)
Rain	Gain	1.00	Sight glass rain gauge with an aperture of at least 4" (7)
Daily Rain	Offset	Current Value	Apply an offset if the weather station was not operating for the entire day.
Weekly Rain	Offset	Current Value	Apply an offset if the weather station was not operating for the entire week.
Monthly Rain	Offset	Current Value	Apply an offset if the weather station was not operating for the entire month.
Yearly Rain	Offset	Current Value	Apply an offset if the weather station was not operating for the entire year.

(1) Temperature errors can occur when a sensor is placed too close to a heat source (such as a building structure, the ground or trees).

To calibrate temperature, we recommend a mercury or red spirit (fluid) thermometer. Bi-metal (dial) and digital thermometers (from other weather stations) are not a good source and have their own margin of error. Using a local weather station in your area is also a poor source due to changes in location, timing (airport weather stations are only updated once per hour) and possible calibration errors (many official weather stations are not properly installed and calibrated).

Place the sensor in a shaded, controlled environment next to the fluid thermometer, and allow the sensor to stabilize for 48 hours. Compare this temperature to the fluid thermometer and adjust the tablet to match the fluid thermometer.

(2) Humidity is a difficult parameter to measure electronically and drifts over time due to contamination. In addition, location has an adverse effect on humidity readings (installation over dirt vs. lawn for example).

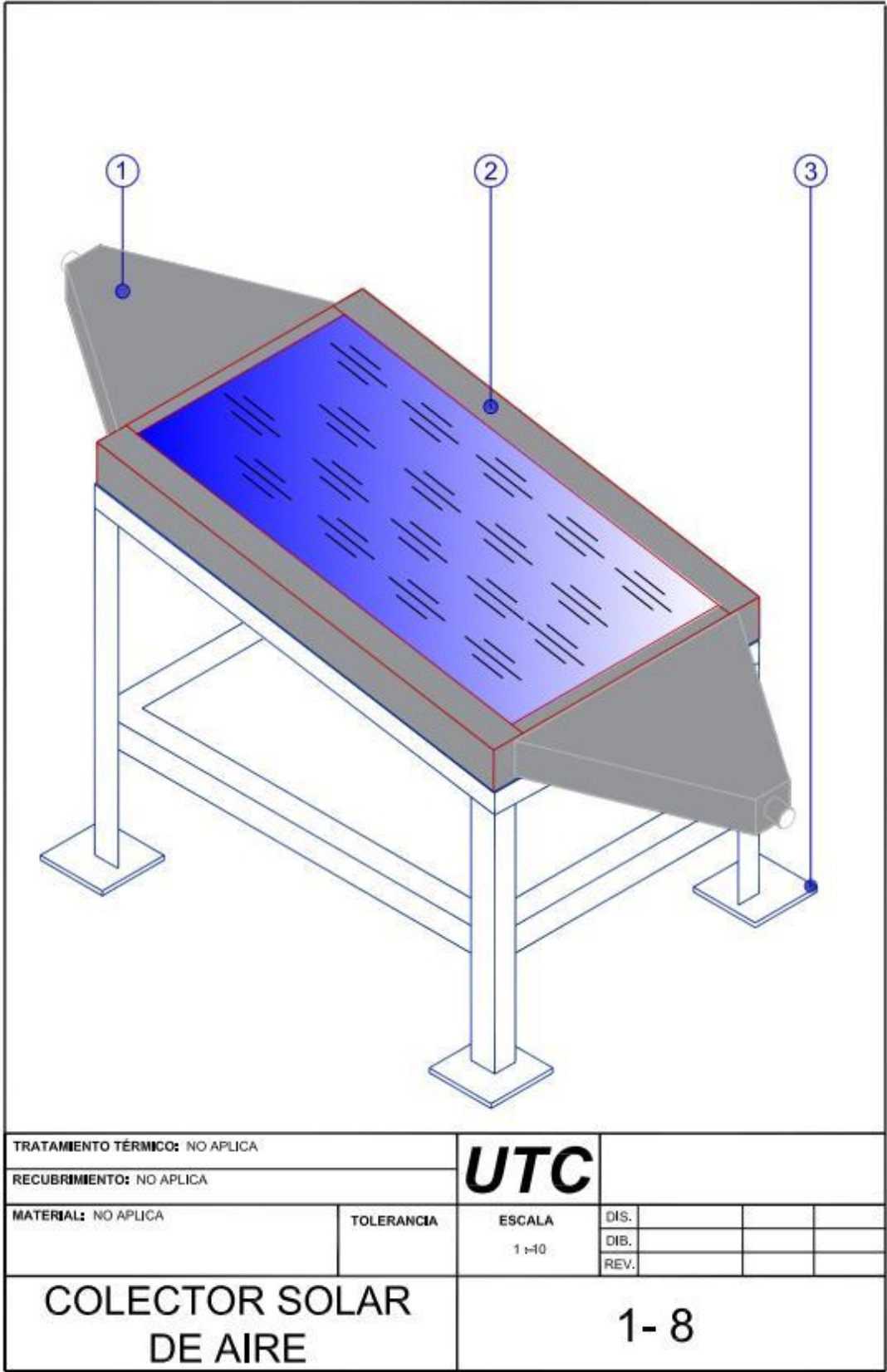
Official stations recalibrate or replace humidity sensors on a yearly basis. Due to manufacturing tolerances, the humidity is accurate to $\pm 5\%$. To improve this accuracy, the indoor and outdoor humidity can be calibrated using an accurate source, such as a sling

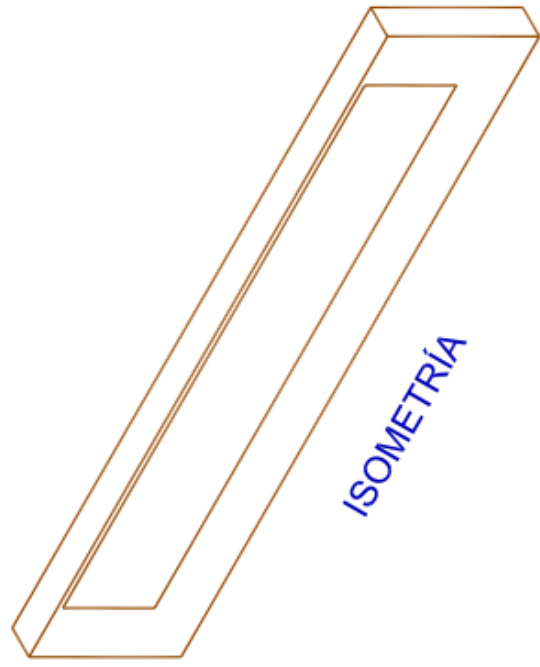
*Infrared Thermometer
Specifications*

Specifications

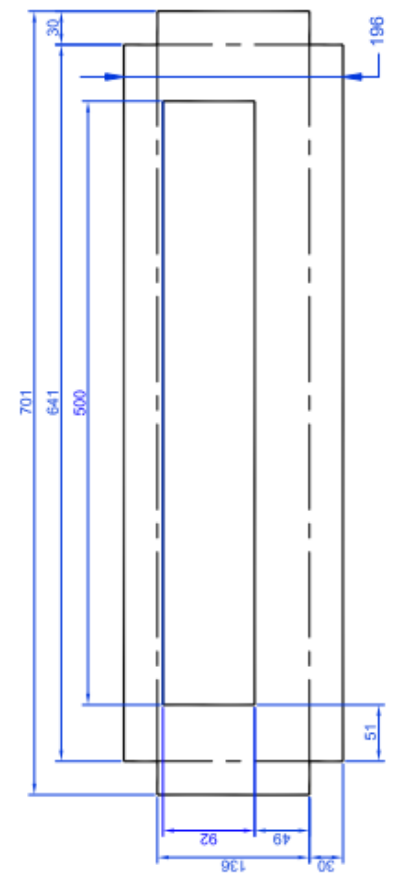
	62 MAX	62 MAX +
Temperature Range	-30 °C to 500 °C (-22 °F to 932 °F)	-30 °C to 650 °C (-22 °F to 1202 °F)
Accuracy (Calibration geometry with ambient temperature 23 °C ±2 °C)	≥0 °C: ±1.5 °C or ±1.5 % of reading, whichever is greater (≥32 °F: ±3 °F or ±1.5 % of reading, whichever is greater) ≥ -10 °C to <0 °C: ±2 °C (≥14 °F to <32 °F: ±4 °F) < -10 °C: ±3 °C (<14 °F: ±6 °F)	≥0 °C: ±1 °C or ±1 % of reading, whichever is greater (≥32 °F: ±2 °F or ±1 % of reading, whichever is greater) ≥ -10 °C to <0 °C: ±2 °C (≥14 °F to <32 °F: ±4 °F) < -10 °C: ±3 °C (<14 °F: ±6 °F)
Response Time (95 %)	<500 ms (95 % of reading)	<300 ms (95 % of reading)
Spectral Response	8 to 14 microns	
Emissivity	0.10 to 1.00	
Temperature Coefficient	±0.1 °C/°C or ±0.1 %/°C of reading (whichever is greater)	
Optical Resolution	10:1 (calculated at 90 % energy)	12:1 (calculated at 90 % energy)
Display Resolution	0.1 °C (0.2 °F)	
Repeatability (% of reading)	±0.8 % of reading or ±1.0 °C (2 °F), whichever is greater	±0.5 % of reading or ±0.5 °C (1 °F), whichever is greater
Power	1 AA IEC LR06 Battery	
Battery Life	10 hours with laser and backlight on	8 hours with laser and backlight on
Weight	255 g (8.99 oz)	
Size	(175 x 85 x 75) mm (6.88 x 3.34 x 2.95) inches	
Operating Temperature	0 °C to 50 °C (32 °F to 122 °F)	
Storage Temperature	-20 °C to 60 °C (-4 °F to 140 °F), (without battery)	
Operating Humidity	10 % to 90 % RH non-condensing @ 30 °C (86 °F)	
Operating Altitude	2000 meters above mean sea level	
Storage Altitude	12,000 meters above mean sea level	
Drop Test	3 meters	
IP Rating	IEC 60529: IP 54	
Implement Standard	Q/SXAV37	
Laser Safety	IEC 60825-1, Class 2	
Electromagnetic Environment	IEC 61326-1: Portable	
Electromagnetic Compatibility	Applies to use in Korea only: Class A Equipment (Industrial Broadcasting & Communication Equipment) ^[1] [1] This product meets requirements for industrial (Class A) electromagnetic wave equipment and the seller or user should take notice of it. This equipment is intended for use in business environments and is not to be used in homes.	

ANEXO 8	Planos	1 de 1
--------------------	---------------	---------------





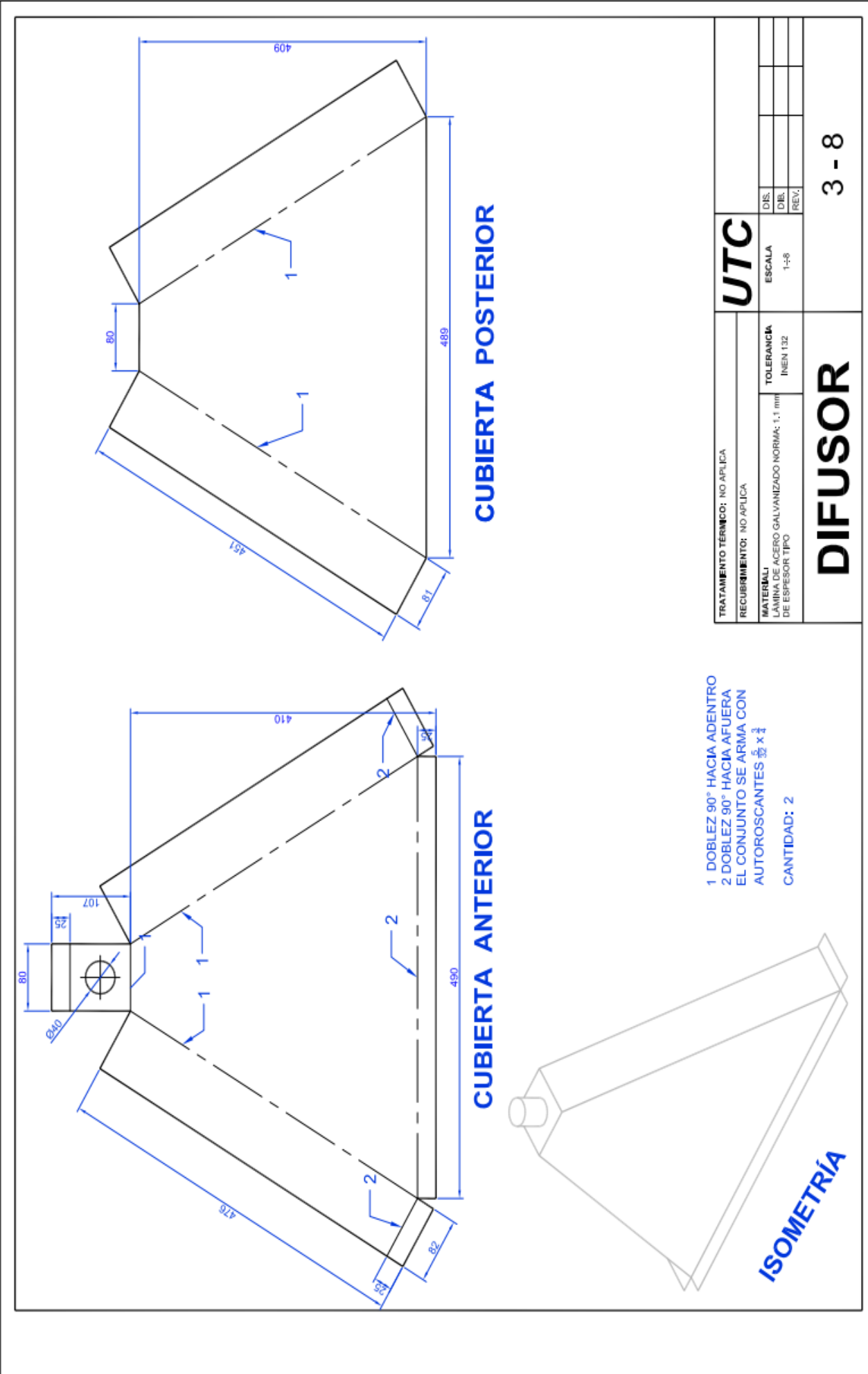
ISOMETRÍA

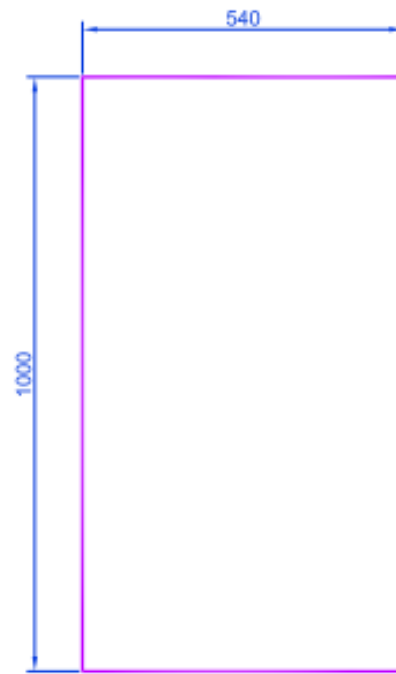


(———) DOBLEZ 90° HACIA ADEENTRO
CANTIDAD: 2

DESARROLLO

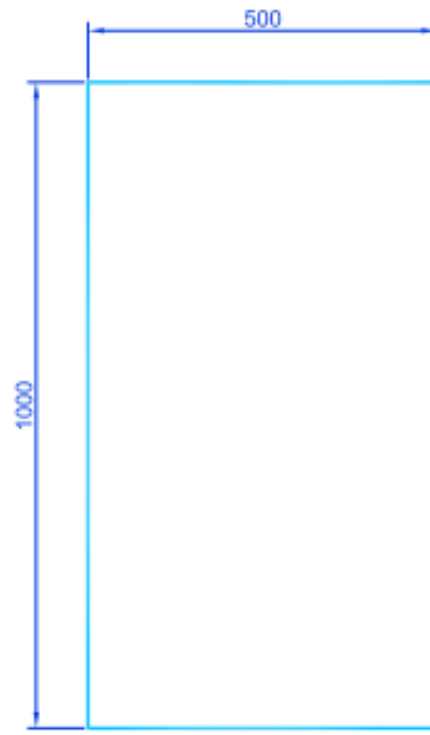
TRATAMIENTO TÉRMICO: NO APLICA		UTC	
RECUBRIMIENTO: NO APLICA			
MATERIAL: LAMINA DE ACERO GALVANIZADO NORMA: DE 1.1 mm DE ESPESOR TIPO	TOLERANCIA: NEN 132	ESCALA 1:4	DIS. DIB. REV.
TAPA DE COLECTOR		2-8	





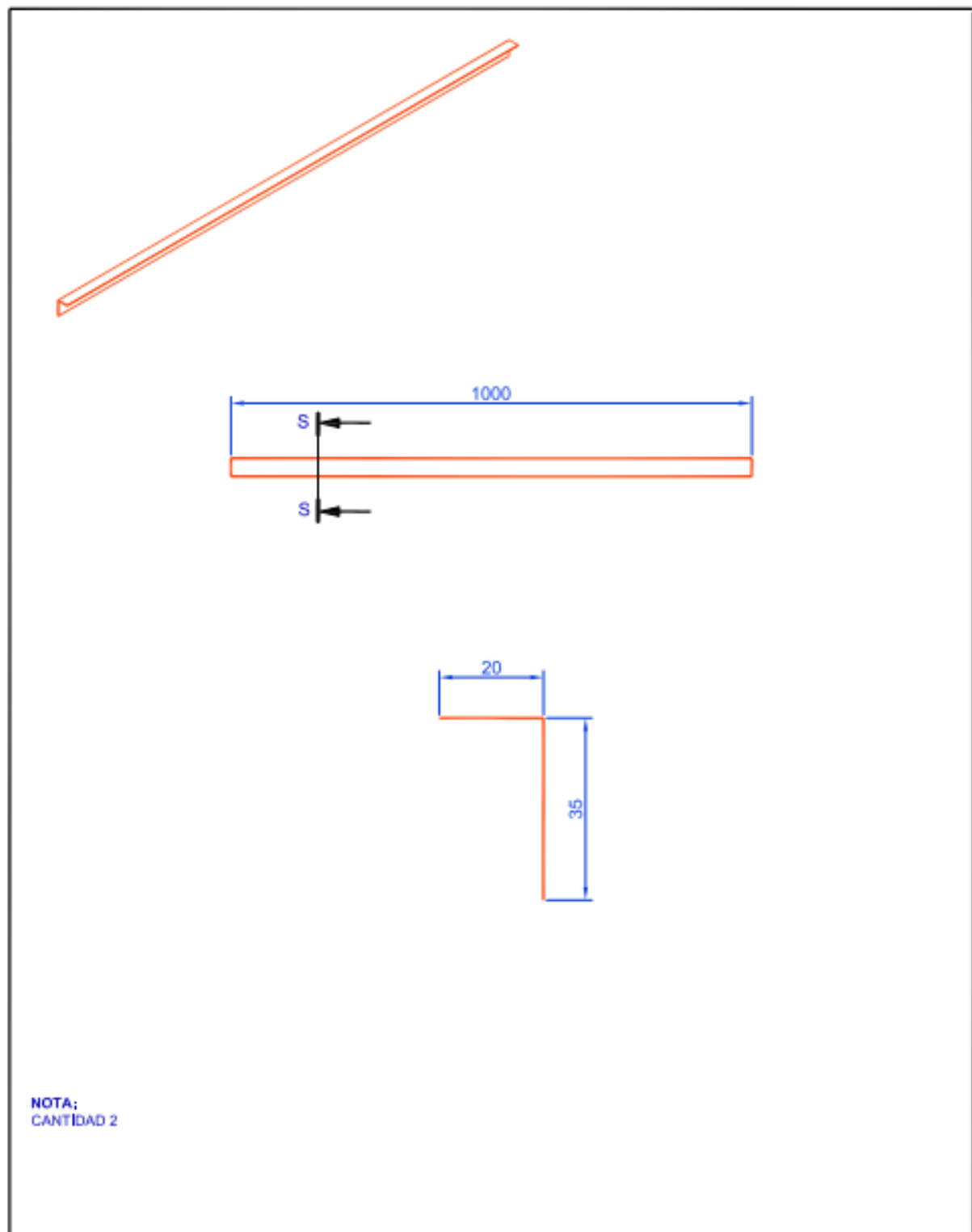
NOTA:
CANTIDAD 1

TRATAMIENTO TÉRMICO: NO APLICA		UTC			
RECUBRIMIENTO: NO APLICA					
MATERIAL: LÁMINA DE ALUMINIO de 01.1 mm DE ESPESOR	TOLERANCIA INEN 132	ESCALA 1÷8	DIS.		
			DIB.		
			REV.		
PLACA ABSORVEDORA		4 - 8			



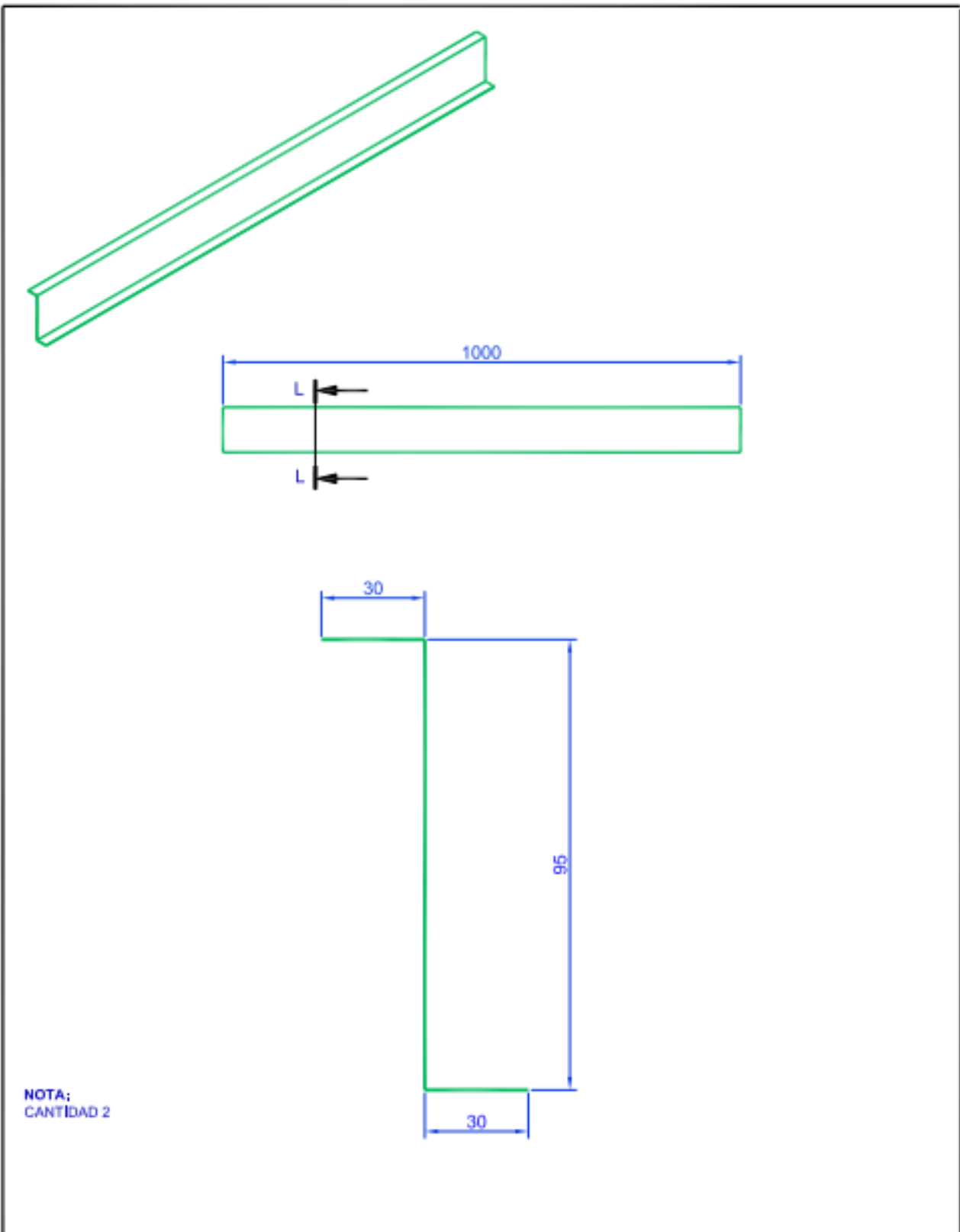
NOTA;
CANTIDAD 1

TRATAMIENTO TÉRMICO: NO APLICA		UTC			
RECUBRIMIENTO: NO APLICA					
MATERIAL; VIDRIO FLOTADO PLANO DE 4 mm DE ESPESOR	TOLERANCIA INEN 132	ESCALA 1:8	DIS.		
			DIB.		
			REV.		
PLACA DE CUBIERTA		5 - 8			



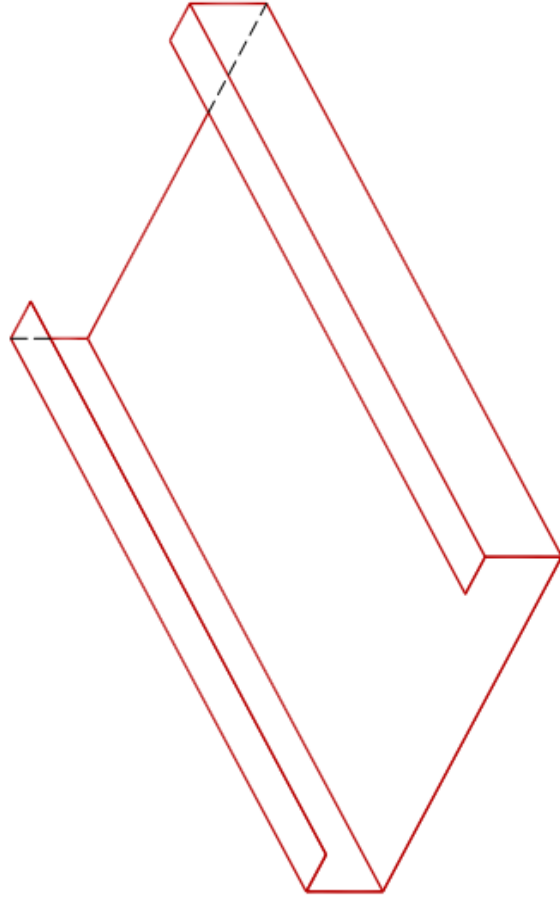
NOTA:
CANTIDAD 2

TRATAMIENTO TÉRMICO: NO APLICA		<i>UTC</i>			
RECUBRIMIENTO: NO APLICA					
MATERIAL: LÁMINA DE ACERO GALVANIZADO NORMA: 1.1 mm DE ESPESOR TIPO.	TOLERANCIA INEN 132	ESCALA 1:8	DIS.		
			DIB.		
			REV.		
ÁNGULO SUPERIOR		6 - 8			



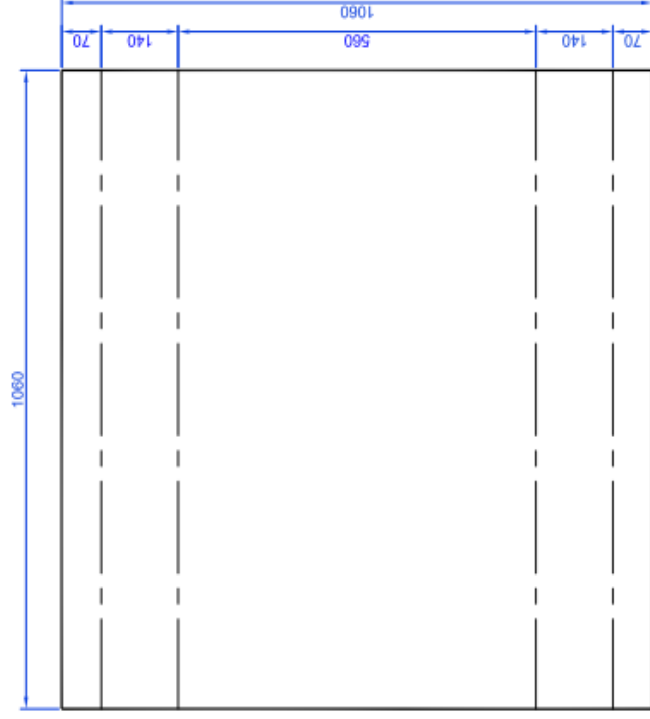
NOTA:
CANTIDAD 2

TRATAMIENTO TÉRMICO: NO APLICA		UTC			
RECUBRIMIENTO: NO APLICA					
MATERIAL: LÁMINA DE ACERO GALVANIZADO NORMA: 1.1 mm DE ESPESOR TIPO.	TOLERANCIA INEN 132	ESCALA 1÷10	DIS.		
			DIB.		
			REV.		
PERFIL Z			7 - 8		



ISOMETRÍA

• DOBLEZ 90° HACIA
ADENTRO



DESARROLLO

TRATAMIENTO TÉRMICO: NO APLICA		UTC	
RECUBRIMIENTO: NO APLICA		ESCALA	DIS.
MATERIAL: LAMINA DE ACERO GALVANIZADO NORMA: 1.1 mm DE ESPESOR TIPO.		1:8	DIB.
TOLERANCIA INEN 132			REV.
CANALETA CENTRAL		8 - 8	

ANEXO 9 FOTOS ESTACIÓN METEOROLÓGICA

