



UNIVERSIDAD INTERNACIONAL SEK

FACULTAD DE CIENCIAS AMBIENTALES

Trabajo de Fin de Carrera Titulado:

**“COLECTOR SOLAR TERMICO, CON AIRE DE SUPERFICIE PLANA
PARA CALEFACCION Y VENTILACION DE AREAS INTERNAS EN
VIVIENDAS Y EDIFICIOS”**

Realizado por:

DAVID ALEJANDRO ARGUELLO BRAVO

Director del proyecto:

Dr. JAVIER MARTINEZ GOMEZ, Ph.D.

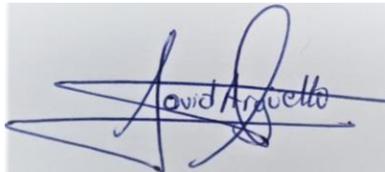
Como requisito para la obtención del título de:
**MAGISTER EN ECOEFICIENCIA INDUSTRIAL – MENCIÓN EN EFICIENCIA
ENERGETICA**

Quito, 16 de marzo del 2020

DECLARACIÓN JURAMENTADA

Yo, DAVID ALEJANDRO ARGUELLO BRAVO, con cédula de identidad # 171864036-8, declaro bajo juramento que el trabajo aquí desarrollado es de mi autoría, que no ha sido previamente presentado para ningún grado a calificación profesional; y, que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

A través de la presente declaración, cedo mis derechos de propiedad intelectual correspondientes a este trabajo, a la UNIVERSIDAD INTERNACIONAL SEK, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su reglamento y por la normativa institucional vigente.

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'David Arguello', is centered on the page. The signature is stylized and somewhat abstract, with overlapping loops and lines.

FIRMA

171864036-8

DECLARATORIA

El presente trabajo de investigación titulado:

**“COLECTOR SOLAR TERMICO, CON AIRE DE SUPERFICIE PLANA PARA
CALEFACCION Y VENTILACION DE AREAS INTERNAS EN VIVIENDAS Y
EDIFICIOS”**

Realizado por:

DAVID ALEJANDRO ARGUELLO BRAVO

Como Requisito para la Obtención del Título de:

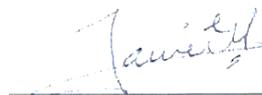
MAGISTER EN ECOEFICIENCIA INDUSTRIAL

– MENCION EN EFICIENCIA ENERGETICA

Ha sido dirigido por el profesor

JAVIER MARTINEZ GOMEZ

Quien considera que constituye un trabajo original de su autor



FIRMA

LOS PROFESORES INFORMANTES

Los Profesores Informantes:

MSc. Diego Bustamante
MSc. Paolo Salazar

Después de revisar el trabajo presentado,
lo han calificado como apto para su defensa oral ante
el tribunal examinador



FIRMA



FIRMA

Quito, 16 de marzo del 2020

DEDICATORIA

A Dios.

AGRADECIMIENTO

A mi familia, a mi esposa y amigos.

a mi tutor Javier Martínez, profesores

Mónica Delgado y la comunidad Universitaria por su apoyo y colaboración en el desarrollo de

Este trabajo.

14/02/2020 08:30:00

Para someter a:

To be submitted:

Colector solar térmico, con aire de superficie plana para calefacción y ventilación de áreas internas en viviendas y edificios.

David Alejandro Arguello Bravo¹, Javier Martínez¹, Mónica
Delgado^{1*}

¹ Universidad Internacional SEK, Facultad de Ciencias Naturales y Ambientales, Quito,
Ecuador. 16/03/2020 08:00:00

*AUTOR DE CORRESPONDENCIA: Edilberto Antonio LLanes Cedeño PhD, Universidad
Internacional SEK, Facultad de Ciencias Ambientales y Naturales, Quito, Ecuador.
Teléfono: +593-; email: antonio.llanes@uisek.edu.ec

Título corto o Runningtitle: Colector solar térmico, con aire de superficie plana

TABLA DE CONTENIDO

Resumen	4
Abstract	5
Introducción.....	5
Objetivos	19
Objetivo General	19
Objetivos Específicos	19
Materiales y Método.....	19
Materiales.....	19
Colector Solar Térmico	19
Partes del Colector Solar Térmico.....	20
Método	23
Análisis de la Energía Solar Térmica en el Colector	23
Balance de energía en la cubierta del colector.....	25
Balance de energía en la placa absorbadora del colector.....	26
Balance del aire interno del colector.....	27
Resultados.....	31
Discusión de Resultados.....	35
Conclusiones.....	39
Recomendaciones.....	40
Bibliografía.....	41

INDICE DE FIGURAS

Figura 1 Esquema del colector solar de lazo convectivo y su funcionamiento (Tipo et al., 2007).....	7
Figura 2 Colector plano de aire (Anica, Civil, Anico, An, & Gonzalez, n.d.)	8
Figura 3 (a) Calentador solar de placa desnuda. (b) Calentador solar de una sola cubierta. (c) Calefactor solar de doble tapa. (d) Calentador solar de una sola cubierta. (e)Doble paso tipo calentador solar de aire. (f) Colector solar transpirado(Shukla, Nchelatebe, Cho, Stevenson, & Jones, 2012)	9
Figura 4 Esquema de un colector solar (Koulibaly, 2015)	11
Figura 5 . Detalles del colector de placa perforada donde se observa la placa colectora y las aberturas y conductos para la circulación del aire (Salvo & Capital, 2008)	14
Figura 6 Componentes de un colector solar de superficie plana (Lammardo & Baritto, 2010)	15
Figura 7 Elementos de un colector solar de placa plana (Gómez et al., 2010).....	16
Figura 8 Cara frontal de superficie plana absorbadora de energía solar de un colector solar térmico obtenido del conjunto de un calentador de agua.....	20
Figura 9 Cara frontal de superficie plana absorbadora de energía solar de un colector solar térmico obtenido del conjunto de un calentador de agua, en donde se puede apreciar que la cubierta es transparente por ser de material de vidrio.....	20
Figura 10 Cara frontal de superficie plana absorbadora de energía solar de un colector solar térmico obtenido del conjunto de un calentador de agua, en donde se puede apreciar que la cubierta es transparente por ser de material de vidrio y que en su interior posee una placa metálica que transforma la	

energía solar en térmica de color negro tipo serpentín por donde fluye el aire	21
Figura 11 Dentro del interior del colector solar térmico obtenido del conjunto de un calentador de agua, se puede apreciar el aislamiento térmico, el cual recubre la parte inferior del mismo para evitar pérdidas de energía térmica al exterior, el material con el que se reviste esta base es lana de vidrio (Tipo et al., 2007).....	22
Figura 12 Comportamiento energético del colector solar térmico, en el cual se evidencia la energía solar incidente en la superficie y como esta es absorbida para generar un calor útil a través de las resistencias térmicas de cada parte en el interior del colector (Enrique et al., 1903).....	23
Figura 13 Temperatura Ambiente vs Irradiación solar en el colector solar, durante los 12 ensayos comprendidos de noviembre a diciembre del 2019	31
Figura 14 Temperatura de Salida, Entrada y Ambiente durante los 12 ensayos comprendidos de noviembre a diciembre del 2019.....	33
Figura 15 Temperatura de Salida vs Irradiación Solar en el colector solar, durante los 12 ensayos comprendidos de noviembre a diciembre del 2019	34
Figura 16 Grafica de la curva de la Eficiencia del colector solar funcionando por convección forzada, durante los 12 ensayos comprendidos de noviembre a diciembre del 2019	35

INDICE DE TABLAS

Tabla 1 Principales técnicas y eficiencias en colectores solares térmicos, con aire de superficie plana para calefacción.....	17
Tabla 2 Resumen de los principales estudios en los colectores solares térmicos, con aire de superficie plana	17
Tabla 3 Calculo de la superficie del colector solar térmico, en función de la superficie de cada componente del colector	22
Tabla 4 Resultados obtenidos en cada ensayo.....	32

COLECTOR SOLAR TERMICO, CON AIRE DE SUPERFICIE PLANA

Resumen.

El colector solar térmico, con aire de superficie plana es la idea que se potenciara en un futuro, al desarrollar la calefacción en el país, para áreas internas mediante energía solar y bajo condiciones climáticas bondadosas. Esta investigación tiene como objetivo analizar la eficiencia de un colector solar térmico con aire para calefacción y ventilación de áreas internas en viviendas y edificios, este sistema es limpio y amigable con la naturaleza ya que no afecta al medio ambiente con gases de efecto invernadero (CO₂) los cuales son los principales causantes del calentamiento global del mundo producidos por la quema de combustibles fósiles convencionales finitos, por lo tanto el propósito de esta investigación es desarrollar una aplicación que está dentro de las energías alternativas o verdes, ya que se utiliza el recurso natural sol en todo su esplendor. Obteniendo así 94°C en el aire a la salida del colector, otra ventaja de esta innovación es que es portátil y fácil de instalar en lugares donde el problema es el espacio, por ejemplo se pueden colocar en la parte exterior de un edificio de apartamentos como si fueran ventanas propias del inmueble, esta ubicación permite que se mantenga limpio el colector lo cual mejora el rendimiento en el calentamiento del fluido caloportador, de esta manera está dentro del concepto de edificios sostenibles porque reduce un consumo energético innecesario. El resultado final del estudio fue la obtención del cálculo de la eficiencia del colector solar térmico, con aire de superficie plana, el valor medio alcanzado en su eficiencia fue de 59.09% después de los ensayos realizados en un lapso de tiempo y bajo diferentes condiciones meteorológicas, este dato importante se consiguió con varias etapas en la metodología las cuales son: Análisis de la energía solar térmica en el colector, balances de energía en cada sección del mismo para determinar los modelos matemáticos, aplicación de fórmulas de la teoría de transferencia de calor y elaboración de una tabla resumen con los datos calculados a partir de los de la experimentación. Esta eficiencia lograda habla bien de un adelanto inmediato que se le puede dar a esta aplicación al ponerla ya en marcha y cubrir la demanda de quienes más lo necesitan.

Palabras clave: Colector, Solar, Térmico, Sostenible, Ahorro, Energético

COLECTOR SOLAR TERMICO, CON AIRE DE SUPERFICIE PLANA

Abstract.

The solar thermal collector, with flat surface air, is the idea that will be enhanced in the future, by developing heating in the country, for internal areas using solar energy and in good weather conditions. This research aims to analyze the efficiency of a solar thermal collector with air for heating and ventilation of internal areas in homes and buildings, this system is clean and nature friendly since it does not affect the environment with greenhouse gases (CO₂) which are the main causes of global warming in the world caused by the burning of finite conventional fossil fuels, therefore the purpose of this research is to develop an application that is within the alternative or green energies, since the resource is used Natural sun in all its splendor. Obtaining 94 ° C in the air at the exit of the collector, another advantage of this innovation is that it is portable and easy to install in places where the problem is space, for example they can be placed on the outside of an apartment building as if they were the building's own windows, this location allows the collector to be kept clean, which improves the heating performance of the carrier heat fluid, in this way it is within the concept of sustainable buildings because it reduces unnecessary energy consumption. The final result of the study was to obtain the calculation of the efficiency of the solar thermal collector, with flat surface air, the average value reached in its efficiency was 59.09% after the tests carried out in a period of time and under different weather conditions, this important data was achieved with several stages in the methodology which are: Analysis of solar thermal energy in the collector, energy balances in each section of it to determine mathematical models, application of formulas of heat transfer theory and elaboration of a summary table with the data calculated from those of the experimentation. This efficiency achieved speaks well of an immediate advance that can be given to this application by starting it up and covering the demand of those who need it most.

Key words: *Collector*, Solar, Thermal, Sustainable, Savings, Energy

Introducción.

COLECTOR SOLAR TERMICO, CON AIRE DE SUPERFICIE PLANA

Las aplicaciones que utilizan energía solar térmica son relevantes en factibilidad, viabilidad ya que tienen muchos usos industriales, domésticos y científicas, siendo una fuente de energía renovable importante para la disminución de los efectos del cambio climático a nivel global, ya que se ha realizado en los últimos años la investigación, desarrollo y aplicación de la misma (Ferrer, 2013)

Los colectores solares son instrumentos que sirven para realizar las siguientes actividades con la energía que reciben del sol, estas son coleccionar, absorber y transferir este poder calorífico al fluido caloportador, denominado así porque al elevar su temperatura este transporta calor de un lugar a otro, esta acción hace que su aprovechamiento sea ideal en sus aplicaciones.

El colector solar más utilizado en aplicaciones por los seres humanos en el aprovechamiento del recurso solar es el del tipo plano por su eficiencia promedio que va desde los 40 a 60% y por las temperaturas que puede entregar a la salida de entre los 50° – 200°C, el objetivo esencial del colector es absorber al máximo la radiación directa y la difusa para ser convertida en energía térmica alcanzando temperaturas altas en el aire del interior, llamado también efecto invernadero (Nandwani, 2005).

La radiación solar directa de acuerdo al estudio realizado por (Behnke, 2008), menciona que "es reflejada por la atmosfera de vuelta al espacio, es absorbida por la humedad presente en el aire o es dispersada por las nubes o por objetos en su paso, por lo tanto para poder medir es necesario usar un piranometro así se obtiene un dato real debido a que este instrumento toma en cuenta la meteorología local, el nivel de humedad en el aire y la contaminación atmosférica, los cuales son factores preponderantes en el nivel de radiación directa".

Hay varios usos que se les da a los colectores solares, entre los más comunes son el

COLECTOR SOLAR TERMICO, CON AIRE DE SUPERFICIE PLANA

calentamiento de agua, calefacción de lugares, procesos industriales y muchos más; tienen varios tipos, formas y clases lo que hace fácil poder elegir uno de ellos de acuerdo a la necesidad requerida y al tipo de condiciones en las que deben trabajar.

Una de las aplicaciones de mayor interés el día de hoy es la calefacción de viviendas o edificios con energía solar, utilizando exclusivamente el aire de nuestro entorno; la cual es una alternativa con mucho potencial para futuras innovaciones en actividades que satisfagan la comodidad de las personas con la climatización de sus áreas internas, todo esto se lleva a cabo por el consumo elevado de energía y dinero.

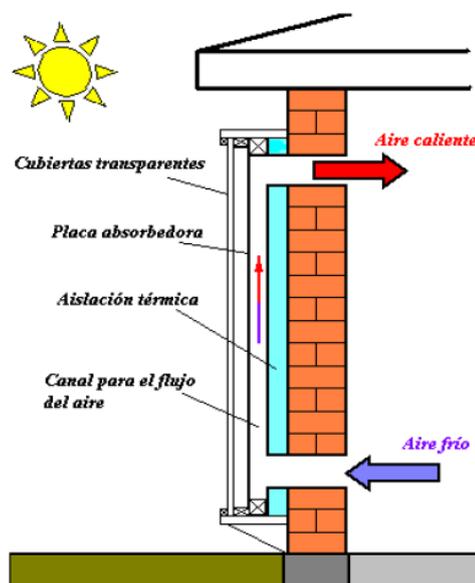


Figura 1 Esquema del colector solar de lazo convectivo y su funcionamiento (Tijo et al., 2007).

El aire es el fluido que se encuentra en el exterior de toda vivienda o edificio; a una temperatura ambiente, este fluido al entrar por un ducto al colector solar térmico de superficie plana va absorbiendo en su interior energía térmica, producto de la radiación solar que actúa directamente sobre la forma del colector, ya que se crea una cámara térmica para su aprovechamiento.

COLECTOR SOLAR TÉRMICO, CON AIRE DE SUPERFICIE PLANA

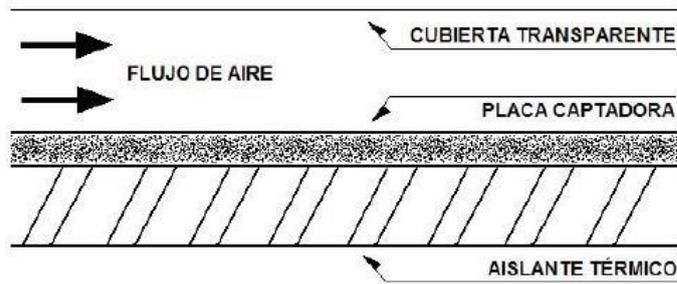


Figura 2 Colector plano de aire (Anica, Civil, Anico, An, & Gonzalez, n.d.)

De esta manera el fluido al pasar por todo el colector solar térmico, de superficie plana aumenta su temperatura considerablemente en su salida del mismo, con respecto a la del medio ambiente; ya que la geometría en su placa absorbidora y la estructura de todo el conjunto hacen posible potenciar de manera eficiente el intercambio de energía y destinarla a la calefacción y ventilación de áreas internas.

Existen varios tipos de colectores solares de aire los cuales tienen el mismo resultado final con el fluido, es decir el aumento de su temperatura para su aprovechamiento, por lo tanto es necesario tener en cuenta la ubicación de las partes importantes del colector ya que de estas dependen el evitar pérdidas de energía y proporcionar una mejor eficiencia al proceso de transferencia de calor en el interior del mismo.

Las partes importantes de un colector solar son: la placa absorbidora, el aislante térmico y la cubierta transparente, la posición correcta de estas proporcionan la forma y estructura del colector solar, teniendo varias opciones de circulación del aire como: desplazamiento delantero, placa intermedia con doble vidrio, movimiento trasero y sin vidrio. De esta opción la más recomendable es la primera ya que el colector solar térmico, con aire de superficie plana utiliza esta forma para conseguir un adecuado calor útil él, cual genera el debido incremento en la temperatura de salida del fluido y en la eficiencia del mismo.

COLECTOR SOLAR TERMICO, CON AIRE DE SUPERFICIE PLANA

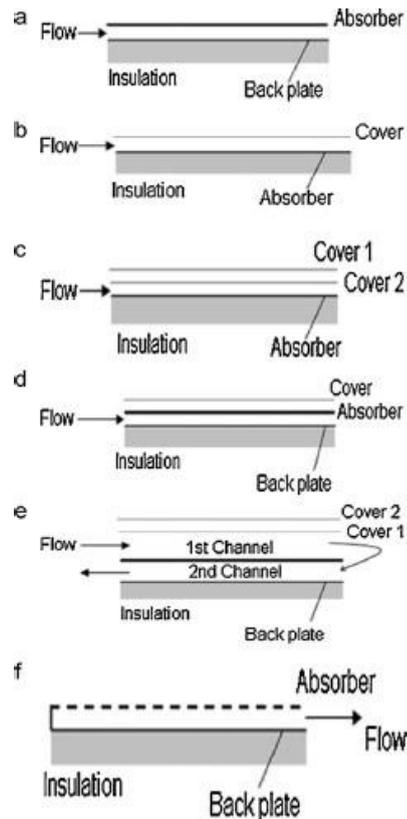


Figura 3 (a) Calentador solar de placa desnuda. (b) Calentador solar de una sola cubierta. (c) Calefactor solar de doble tapa. (d) Calentador solar de una sola cubierta. (e) Doble paso tipo calentador solar de aire. (f) Colector solar transpirado (Shukla, Nchelatebe, Cho, Stevenson, & Jones, 2012).

Otra parte esencial del proceso del colector solar térmico, con aire de superficie plana es como suministrar el aire del exterior al interior del mismo y con un flujo constante, esta función se la realiza por medio de un blower de 2hp, el cual es un equipo que proporciona un flujo volumétrico o caudal permanente del fluido por el colector.

La ventaja de desarrollar esta innovación es que en el Ecuador existe un clima óptimo para el funcionamiento del colector durante todo el año, ya que se cuenta con dos de las cuatro estaciones climáticas, como el invierno y el verano, cuando se presenta el invierno su comportamiento en un día puede ser tan variable como tener sol en la mañana y lluvia por la tarde, de esta manera queda demostrada la factibilidad de plantear esta idea magnífica para la calefacción de áreas internas.

COLECTOR SOLAR TERMICO, CON AIRE DE SUPERFICIE PLANA

Los gases de efecto invernadero aumentan cada día más de manera considerable y significativa, los mismos que pasan factura de forma directa al lugar en donde los seres vivos se desarrollan llamado tierra, esto se debe al consumo excesivo de energías habituales generadas por combustibles fósiles, como la electricidad y la calefacción de viviendas o edificios.

Los recursos energéticos inagotables e inoocuos como la energía solar es el cambio que necesita el planeta al ser transmitidas en las políticas energéticas para parar la devastación masiva y cruel de los ecosistemas al evitar realizar actividades que contaminen el aire y el agua, la deforestación y la excesiva generación de CO₂, son problemas ecológicos que aparecen al obtener recursos energéticos (Cardozo, Fernández, & Duarte, 2005).

Entre el 45 y el 55 % de la energía consumida en un edificio corresponde a su calefacción y/o refrigeración y, por ende, resulta imprescindible mejorar las eficiencias energéticas tanto de los equipos de acondicionamiento térmico como de las envolventes edilicias.(Quiñonez et al., 2012), por ende el reto es cambiar las energías usuales por fuentes de energías alternativas y evitar los niveles de contaminación atmosférica.

En la Unión Europea de acuerdo a (Shukla et al., 2012), se puede evidenciar valores de entre 39-40% en el consumo bruto de energía en Europa y se emite un 35% aproximadamente de dióxido de carbono, al presentar estas cifras se requiere dar soluciones con nuevos métodos de rendimiento energético al implementar auditorías energéticas, inspecciones de calderas y certificaciones energéticas, pero la que tiene mayor peso de desarrollo es la energía renovable solar térmica.

En los colectores solares es normal hablar de radiación solar y de cómo esta es aprovechada de mejor manera cuando se toma en cuenta el ángulo óptimo de inclinación del equipo, la nubosidad, albedo y de las distintas cosas que puedan proyectar una sombra en la superficie del mismo en el momento de colectar, ya que son variables que afectan directamente al rendimiento del sistema.

COLECTOR SOLAR TERMICO, CON AIRE DE SUPERFICIE PLANA

Para analizar la influencia del ángulo de inclinación, es necesario utilizar ecuaciones de transportación que difieren fundamentalmente en las expresiones que se utilizan para descomponer la misma en irradiación directa y difusa, dado que en general se dispone de datos de irradiación global sobre plano horizontal medidos o estimados (Gallegos & Righini, 2013), este estudio es aplicable cuando el colector no se encuentra en la línea ecuatorial y depende de una inclinación para seguir al sol, ya que al encontrarse en esa posición los rayos solares caen perpendicularmente en la superficie sin tener problema alguno con el sol.

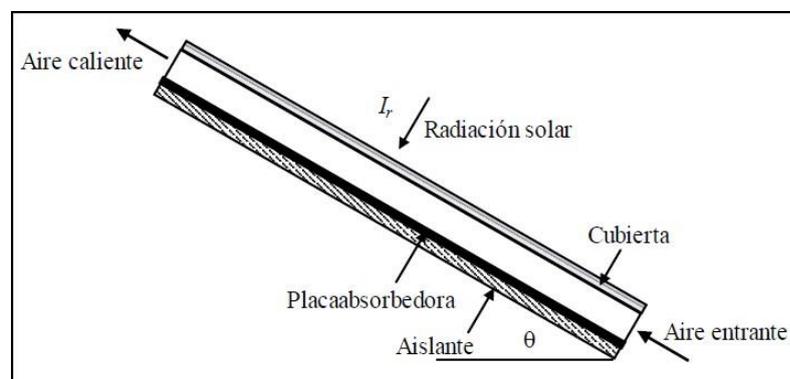


Figura 4 Esquema de un colector solar (Koulibaly, 2015).

La aislación térmica en los sistemas de calefacción solar (colectores solares térmicos) se convierte en algo indispensable para el desempeño del sistema, pero se está tomando en cuenta que esta variable también debería ser aplicada a la envolvente de una edificación por el intercambio de energía con el medio ambiente a través de sus elementos (Mercado, Esteves, & Larsen, 2009). Así no se tiene pérdida de energía térmica en las áreas que se mantienen con calefacción, creando un confort óptimo para el ser humano.

Cuando no existe el confort en el aspecto térmico de una vivienda o edificio se pueden originar varias calamidades en los usuarios como enfermedades pulmonares, humedad en las paredes internas del hogar y hasta la presencia de agentes bacterianos que ocasionan un problema a los niños y ancianos por el frío que se maneja en los espacios internos de los hogares. Para eso hay que pensar en una solución que considere estos aspectos de la temperatura del aire, temperatura media radiante, velocidad del aire y humedad del aire.

COLECTOR SOLAR TERMICO, CON AIRE DE SUPERFICIE PLANA

Es por eso que el rendimiento de un colector no solo depende de su diseño sino también de la calidad de los materiales utilizados para su construcción (Arturo, Arturo, & Figueredo, n.d.), así también su durabilidad puede superar fácilmente los diez años y el mantenimiento tener bajos costos de acuerdo a la estructura del equipo, con una inversión inicial del sistema de calentamiento recuperada en un lapso de tiempo.

Este tipo de colectores solares de superficie plana y de flujo constante pueden ser utilizados también en la industria ya que el aire caliente que produce se lo lleva a varios procesos dentro de una planta como por ejemplo, el deshidratado de frutos y hortalizas en sus secadores solares de flujo forzado de aire (Solar, Con, Aire, Para, & Humahuaca, 2006), y en la destilación solar asistida por colector acumulador (Nacional, Luis, & San, 1984).

El aprovechamiento de forma racional de las energías renovables son pilares fundamentales que deben ser insertadas en la sociedad como cultura general, para eso se debe impartir información a los más pequeños y crear una comunidad educada para evitar en un futuro retrasos en el desarrollo de estos temas por eliminación de subsidios de los gobierno de turno.

Educar a las nuevas generaciones en estas temáticas será de más provecho, que intentar educar a sus mayores, ya acostumbrados a los combustibles fósiles y al derroche energético (Tijo et al., 2007), por lo tanto los seres humanos se encuentran en la necesidad de estar siempre investigando nuevas fuentes de energía para estar preparados al cambio que se avecina en la tierra.

La eficiencia térmica -costo es una relación del colector que se han ido desarrollando durante algunos años, realizando varios estudios acerca del tema para encontrar la mejor correlación entre las dos partes. A continuación se presentan ciertos análisis que explicaran lo más importante sobre esta temática que es beneficiosa hoy en día para poder implementar y conseguir lo máximo en sus aplicaciones.

COLECTOR SOLAR TERMICO, CON AIRE DE SUPERFICIE PLANA

Algunos estudios se basaron en simulaciones para obtener datos que respalden el tipo de colector usado y así poder explicar cómo alcanzar eficiencias que superen el 75%, esto se logra cuando se tiene una placa absorbadora en medio de la cubierta y el fondo del colector adquiriendo un doble flujo en contracorriente en su operación (Mohamad,1997).

Impulsando la turbulencia al emplear baffles sujetos a la placa absorbadora, obstáculos y aletas, las cuales incrementan la transferencia de calor alrededor del fluido caloportador, son resultados obtenidos de estudios anteriores donde manifiestan que se puede sobrepasar eficiencias del 75% (Pottler *et al*, 1999; Ammari ,2003; Moummiet *al*, 2004; Romdhane, 2007).

Dentro de lo que implica la construcción de un colector se puede disminuir el costo de acuerdo al estudio hecho por (Kutscher *et al*, 1993,1994; Summers, 1995; Gunnewiek *et al*, 1996; Leon y Kumar, 2007) que manifiestan que se puede obviar la cubierta transparente y denominarlos colectores solares de aire de "placa transpirada". También el desempeño en colectores es un área de mucho interés que fue estudiada por (C. Ho *et al*, 2009), en el cual aporta comentando que esta característica es influenciada por el doble paso de aire y el uso de baffles.

En la siguiente investigación de (B.M Ramani, AkhileshGupta, RaviKumar, 2010), se puede visualizar una "comparación entre la eficiencia térmica de un colector calentador de aire de paso simple, con un colector de doble paso con y sin matriz absorbadora en el segundo canal, obteniendo como resultado que la eficiencia térmica de un colector solar de aire de doble paso es mayor en un 10 % a la de uno de paso simple, y el colector de doble paso con matriz absorbadora es mayor en un 25% del colector sin matriz"(Larsen, 2011).

COLECTOR SOLAR TERMICO, CON AIRE DE SUPERFICIE PLANA

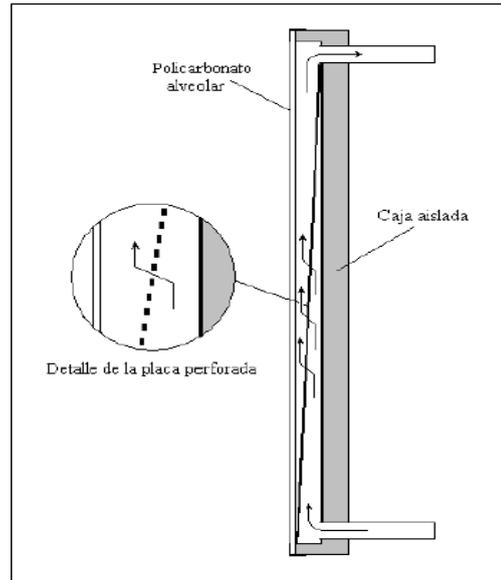


Figura 5 . Detalles del colector de placa perforada donde se observa la placa colectora y las aberturas y conductos para la circulación del aire (Salvo & Capital, 2008).

En las mismas condiciones de operación con un rango de intensidad de radiación que va desde los 550 W/m² a los 850 W/m² se puede evidenciar una alteración entre la eficiencia con respecto a la intensidad en un colector de doble paso con matriz absorbedora, obteniendo valores entre los 65 a 75 %, de 45 a 50% en un colector de doble paso sin matriz y de 35 a 40% en un colector de paso simple (Larsen, 2011).

Estos estudios son muy bien empleados y aprovechados por su eficiencia alta, pero en este tipo de proyectos para lograr tener esas cantidades mencionadas anteriormente deben empezar desde el diseño y construcción para dar garantía de lo expuesto, es una ventaja pero a la misma vez es una desventaja por su costo elevado, convirtiéndose en un problema antes que una solución a las personas que más lo necesitan.

Por lo tanto se propone en este siglo XXI elaborar colectores solares térmicos con la optimización de recursos y sacar todo el beneficio posible de ellos sin generar residuos sólidos, lo que hace incrementar la ecoeficiencia industrial, artesanal y ambiental. El colector solar térmico, con aire de superficie plana y de flujo forzado convectivo posee esta forma de pensar y alcanza una eficiencia razonable para el desarrollo de su aplicación.

COLECTOR SOLAR TERMICO, CON AIRE DE SUPERFICIE PLANA

En este colector solar de superficie plana, se debe tomar en cuenta el tipo de material que se utiliza, para lograr el mejor resultado térmico de cada elemento que conforma el colector, como por ejemplo se tiene la cubierta transparente la cual debe tener una alta transmitividad a la radiación de longitudes de onda corta y según (Lammardo & Baritto, 2010) dice que "debe ser opaco a radiación de longitudes de onda larga, además de tener baja conductividad térmica para disminuir la pérdida de calor por conducción desde el aire, sin mencionar un bajo peso para consideraciones estructurales".

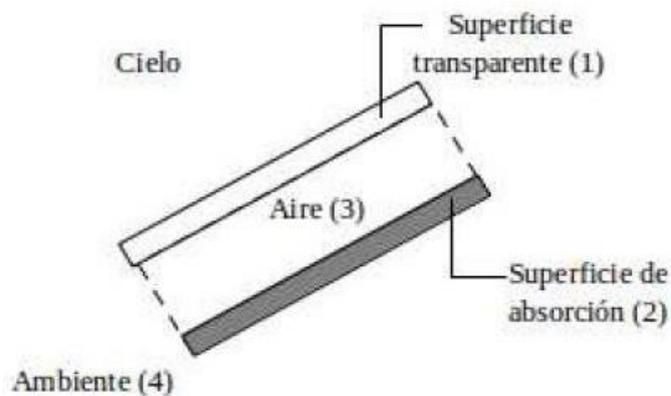


Figura 6 Componentes de un colector solar de superficie plana (Lammardo & Baritto, 2010)

Para obtener cantidades considerables de energía solar y de energía radiante emitidas por ella mismo, la placa absorbidora debe recubrirse con pinturas absorbedoras solares que trabajen como cuerpos negros y faciliten contar con una propiedad alta en absorción en su superficie lo cual garantiza rangos abundantes en longitud de onda larga, esto ocurre también al ser reflejada por la cubierta transparente.

El color negro en la placa absorbidora en los colectores solares térmicos planos están señalados según (Colangelo, Favale, Miglietta, & Risi, 2016), para entender los diversos comportamientos de su eficiencia al tener un 83% para un absorbedor negro con absorción del 95% y una emisión del 10% y 76% para capa coloreada con absorción del 85% y emisión del 10%; estos datos se comparan con los que son diferentes en el color del absorbedor.

COLECTOR SOLAR TERMICO, CON AIRE DE SUPERFICIE PLANA

La convección forzada al flujo de aire es un tipo de transferencia de calor creada por la energía interna que se produce en la superficie de la placa de color negro al ser elevada su temperatura por la radiación solar directa que recae sobre ella, de esta manera se explica más a detalle lo que ocurre en el interior del colector y cómo influye el funcionamiento de cada elemento en el fluido que circula incesantemente por las paredes de la cámara, (S, 2016).

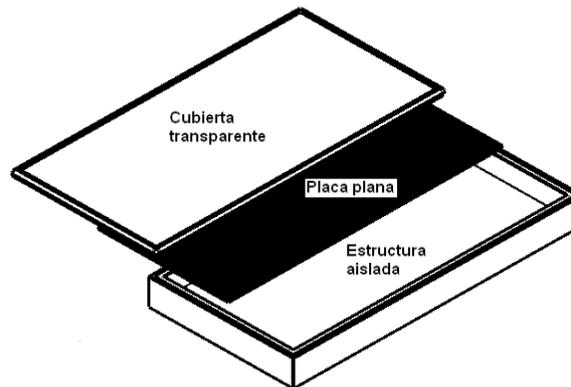


Figura 7 Elementos de un colector solar de placa plana (Gómez et al., 2010).

En el estudio del colector solar térmico de aire del tipo plano se evidencian las constantes y variables del modelo, teniendo como constantes los siguientes parámetros de ingreso como son los coeficientes de transferencia de calor, áreas, masas y temperaturas iniciales del lugar determinado y como variables de entrada tenemos la radiación, temperatura exterior y el suministro del fluido, estableciendo así el calor útil del colector (Anica et al., n.d.).

Por otro lado, ante cada modificación de la radiación incidente o de los aspectos ambientales se estropean seriamente las condiciones de salida de un colector, al tener una convección forzada se debe valorar las condiciones no estacionarias de comportamiento en su balance energético, (Koulibaly, 2015).

A continuación se presenta un resumen de las investigaciones más importantes que se han realizado durante los años, las cuales consisten en estudios de eficiencia y rendimiento térmico en formas y técnicas realizadas en colectores solares térmicos, con aire y superficie plana.

COLECTOR SOLAR TERMICO, CON AIRE DE SUPERFICIE PLANA

Tabla 1 Principales técnicas y eficiencias en colectores solares térmicos, con aire de superficie plana para calefacción

PUBLICACIONES/ REFERENCIAS	TIPO DE COLECTOR SOLAR	APLICACIONES	RENDIMIENTO/EFICIENCIA
(Quiñonez et al., 2012)	Doble flujo en Contracorriente	Calefacción de Edificios	Eficiencia del 45% en el experimento, con una media de 38%
(Tipo et al., 2007)	Bucle Convectivo	Calentamiento de Edificios	Eficiencia media del 20%, con valores de entre 7 y 28%
(Salvo & Capital, 2008)	Placa Perforada	Calefacción de Edificios	Eficiencia diaria es del 60%

Tabla 2 Resumen de los principales estudios en los colectores solares térmicos, con aire de superficie plana

PUBLICACIONES/ REFERENCIAS	OBJETIVO Y METODO UTILIZADO	CONCLUSIONES	VENTAJAS E INCOMVENIENTES
(Quiñonez et al., 2012)	Evaluación termoenergética de un colector solar calentador de aire de doble paso en contracorriente	Se comprobó que la posición vertical del colector permite obtener un mayor rendimiento termoenergético durante los meses más fríos del invierno (junio y julio)	Para aumentar el valor promedio de la eficiencia será necesario emplear un ventilador que permita establecer un mayor flujo másico en toda la instalación
(Para & Calefaccion, 2013)	Evaluación y simulación computacional de un modelo físico-matemático del colector solar calentador de aire de doble paso en contracorriente	El programa CLOE resulta ser una herramienta muy valiosa para el diseño y evolución termo-energética de este tipo de tecnología solar	Además el programa presenta la ventaja de poder simular el desempeño del colector en distintos sitios geográficos y bajo distintas condiciones de funcionamiento con datos climáticos
(Tipo et al., 2007)	Diseño, construcción y primeros ensayos de un colector solar calentador de aire tipo loopconvectivo	En los climas templados cálidos será necesario cubrir el colector durante el verano y el otoño a fin de evitar el sobrecalentamiento del aire interior ya que los colectores verticales pueden coleccionar mucha radiación difusa en esas épocas del año si el albedo del entorno es de 0,25 o superior.	La máxima temperatura alcanzada por el aire a la salida fue de 74 °C al mediodía solar (13:27 hs), cuando la temperatura ambiente era de 19 °C, logrando elevar 55 °C la temperatura del aire dentro del colector. Resulta conveniente su utilización en lugares donde no se dispone del gas natural para emplear en calefacción.
(Salvo & Capital, 2008)	Diseño y evaluación térmica de un colector solar calentador de aire de placa perforada	La determinación de su curva de eficiencia se realizó evaluando su funcionamiento bajo régimen de convección natural y forzada.	Esto indica que 1 sólo colector de este tipo es suficiente para lograr condiciones de confort térmico interior en locales del orden de 9 m ² de área
(Larsen, 2011)	Simulación del comportamiento térmico de un colector solar de aire de doble flujo mediante el software simusol	Se destaca la flexibilidad del modelo, ya que permite variar fácilmente los parámetros de diseño y dimensionamiento para realizar comparaciones entre diversos equipos colectores de aires.	Se puede realizar, el análisis de sensibilidad de un determinado prototipo respecto de las principales variables que afectan su eficiencia y determinar así el valor óptimo de dicha variable.
(Lamardo & Baritto, 2010)	Modelo matemático del comportamiento térmico de un colector solar de	En este trabajo se planteó un modelo matemático que permite determinar la	El modelo planteado fue resuelto considerando condiciones ambientales

COLECTOR SOLAR TERMICO, CON AIRE DE SUPERFICIE PLANA

	placas planas inclinadas para calentamiento de aire	distribución espacial y temporal de temperaturas en un colector solar de placas planas bajo ciertas condiciones de operación e idealizando algunos aspectos del comportamiento térmico de sus componentes	encontrándose que describe adecuadamente el comportamiento de un colector solar de magnitud y tendencias de las temperaturas en sus componentes y en el fluido de operación
(Gómez et al., 2010)	Evaluación energética de un colector solar de placa plana de doble cubierta	La eficiencia del colector se ve más afectada cuando se encuentra bajo régimen de flujo turbulento que bajo régimen de flujo laminar, debido a que la primera condición implica mayores tasas de transferencia de calor	El incremento de la eficiencia con el aumento de flujo másico de aire también es más evidente para el flujo turbulento debido a que al aumentar la relación de aspecto, el área transversal del ducto por donde fluye el aire se reduce
(Anica et al., n.d.)	Diseño de un sistema de calefacción solar para un edificio publico	Al desarrollar una solución así en una vivienda o edificio, la estrategia natural es primero aislar la vivienda y luego ver las necesidades térmicas para dimensionar el sistema colector solar.	El costo de implementar un sistema de estas características en una vivienda o edificio que no tiene buena aislación térmica, es muy alto y tiene un plazo de recuperación de la inversión muy largo
(Koulibaly, 2015)	Modelación de un colector solar para calentamiento de aire	El análisis no estacionario realizado ha permitido conocer el comportamiento dinámico del colector ante variaciones de la radiación solar ofreciendo el rendimiento instantáneo del colector y además dando la posibilidad de obtener la constante de tiempo característica del colector.	Con el incremento del espesor del aire en el colector la temperatura del aire decrece, mientras el rendimiento térmico del colector y el flujo de aire se incrementan.

Como resumen se puede concluir diciendo que el colector solar térmico, es una idea novedosa a la cual hay que sacarle mucho provecho, porque ecuador no desarrolla calefacción mediante energía solar por sus condiciones ideales hasta cierto modo en el clima, pero por los cambios bruscos en temperaturas se está viendo de manera más acelerada el calentamiento global lo que hace pensar en nuevos hábitos de vida para ahorrar energía y optimizar recursos.

COLECTOR SOLAR TERMICO, CON AIRE DE SUPERFICIE PLANA

Objetivos:

Objetivo General:

Analizar la eficiencia del colector solar térmico, con aire de superficie plana para calefacción y ventilación de áreas internas en viviendas y edificios.

Objetivos Específicos:

- Analizar la geometría del colector solar térmico, para determinar el área total del mismo
- Evaluar al colector solar térmico en un lapso de tiempo para entender su comportamiento bajo diferentes condiciones climáticas

Materiales y Método.

Materiales.

Colector Solar Térmico

El colector solar térmico empleado para este estudio de calefacción con aire caliente, es uno de superficie plana con forma de prisma rectangular que normalmente es parte de un calentador solar de agua que fue una colaboración del pueblo Japonés al Instituto de Investigación Geológico y Energético y donado a la Facultad de Mecánica de la Universidad Internacional SEK, la idea es utilizar este instrumento para la investigación ya que al hacer esto se está optimizando los recursos energéticos que se tiene a la mano y a su vez obteniendo resultados valiosos para futuras aplicaciones en el calentamiento y ventilación del aire.

COLECTOR SOLAR TERMICO, CON AIRE DE SUPERFICIE PLANA



Figura 8 Cara frontal de superficie plana absorbadora de energía solar de un colector solar térmico obtenido del conjunto de un calentador de agua

Partes del Colector Solar Térmico:

Cubierta Transparente – Vidrio:

La cubierta transparente del colector solar térmico está constituida por vidrio de forma rectangular y superficie plana, ya que esto permite aumentar la transmitancia es decir el paso de una cantidad de energía por una superficie transparente en un determinado tiempo.



Figura 9 Cara frontal de superficie plana absorbadora de energía solar de un colector solar térmico obtenido del conjunto de un calentador de agua, en donde se puede apreciar que la cubierta es transparente por ser de material de vidrio.

Placa Absorbadora – Metal:

La placa absorbadora del colector solar térmico es una placa metálica de color negro con forma rectangular y en su superficie tiene un diseño de tubos verticales y horizontales que son parte de la misma placa metálica distribuidos de tal manera para que el fluido utilizado recorra por su interior al entrar y al salir de esta, la suma de todas estas configuraciones

COLECTOR SOLAR TERMICO, CON AIRE DE SUPERFICIE PLANA

geométricas hacen una sola pieza con una sola área de transferencia de calor, esta placa actúa como un cuerpo negro al tener la propiedad de absorción en su espacio, esto quiere decir cuánto un material puede absorber radiación incidente en su área o plano y fundamentalmente depende del acabado y color de los materiales.



Figura 10 Cara frontal de superficie plana absorbadora de energía solar de un colector solar térmico obtenido del conjunto de un calentador de agua, en donde se puede apreciar que la cubierta es transparente por ser de material de vidrio y que en su interior posee una placa metálica que transforma la energía solar en térmica de color negro tipo serpentín por donde fluye el aire.

Aislante Térmico - Lana de vidrio:

El Colector solar térmico utilizado para esta investigación es hermético y sellado de fábrica en todas sus partes por lo cual hace imposible poder desarmar el conjunto ya que si esto se llevara a cabo se estaría incrementando las pérdidas energéticas en el mismo aparte de las que ya tiene y peor aún para visualizar el aislante térmico con su espesor empleado para esta aplicación, de acuerdo a referencias lo más adecuado en aislantes térmicos para este tipo de colectores es la lana de vidrio por sus buenas propiedades térmicas.

COLECTOR SOLAR TERMICO, CON AIRE DE SUPERFICIE PLANA



Figura 11 Dentro del interior del colector solar térmico obtenido del conjunto de un calentador de agua, se puede apreciar el aislamiento térmico, el cual recubre la parte inferior del mismo para evitar pérdidas de energía térmica al exterior, el material con el que se reviste esta base es lana de vidrio (Típo et al., 2007).

Este colector solar térmico presenta la siguiente superficie total.

Tabla 3 Calculo de la superficie del colector solar térmico, en función de la superficie de cada componente del colector

Componentes	Forma Geométrica	Formula	Area cm^2	Area m^2
Cubierta-Vidrio	Rectángulo	$b \times h$	16163,4	1,61634
Placa	Tubos Verticales	$\pi \times D \times L$	24247,92	2,424792
Absorbedora	Tubos Horizontales	$\pi \times D \times L$	1251,6	0,12516
	Rectángulo	$b \times h$	16163,4	1,61634
			41662,92	4,166292
Colector	Prisma Rectangular	$2(a \cdot b + a \cdot h + b \cdot h)$	35710,7	3,57107
	Cubierta	$b \times h$	16163,4	1,61634
	Placa Absorbedora	$\pi \times D \times L + b \times h$	41662,92	4,166292
			93537,02	9,353702

COLECTOR SOLAR TERMICO, CON AIRE DE SUPERFICIE PLANA

Método.

Análisis de la Energía Solar Térmica en el Colector

Al analizar la fuente de energía, el mecanismo de transformación y transferencia de energía como: conducción, convección y radiación, las resistencias que se oponen al proceso, la configuración del colector y el cuerpo absorbente final de la energía transformada; se obtiene la explicación del modelo matemático de colector solar térmico (Enrique et al., 1903).

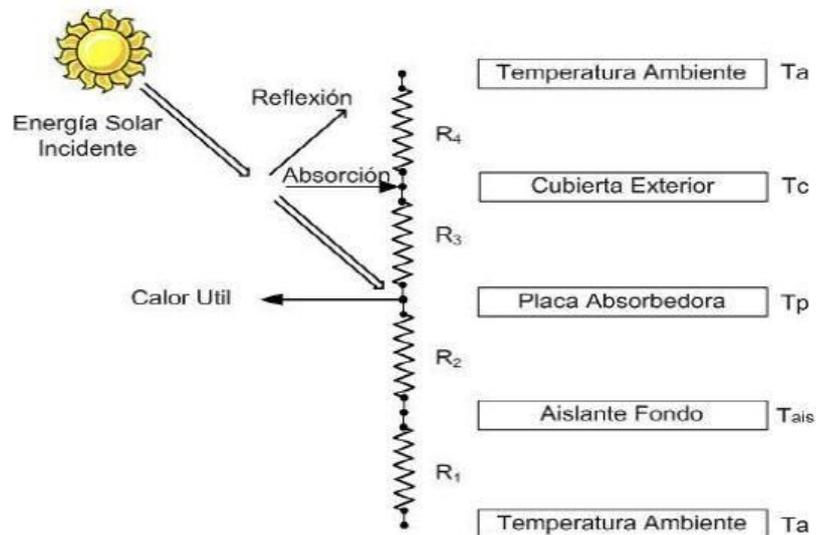


Figura 12 Comportamiento energético del colector solar térmico, en el cual se evidencia la energía solar incidente en la superficie y como esta es absorbida para generar un calor útil a través de las resistencias térmicas de cada parte en el interior del colector (Enrique et al., 1903).

- Calor Útil del colector , (Gómez et al., 2010).

$$\dot{Q}_{\text{calor absorbido}} = \dot{Q}_{\text{calor util}} + \dot{Q}_{\text{calor perdido}} \quad (1)$$

La energía solo se transforma de un tipo a otro. La primera ley de la termodinámica menciona que la energía total de un sistema aislado ni se crea ni se destruye, permanece constante. Cuando desaparece una clase de energía debe producirse una cantidad equivalente de otra clase.

$$\dot{Q}_{\text{abs}} = \dot{Q}_{\text{u}} + \dot{Q}_{\text{l}} \quad (2)$$

COLECTOR SOLAR TERMICO, CON AIRE DE SUPERFICIE PLANA

$$\dot{Q}_u = \dot{Q}_{abs} - \dot{Q}_l \quad (3)$$

$$\dot{Q}_u = A_{col} [S - U(T_{pm} - T_a)] \quad (4)$$

$$\dot{Q}_u = A_{col} [\tau_v \alpha_p I_t - U_l(T_{pm} - T_a)] \quad (5)$$

$$\dot{Q}_u = \dot{m} C_p (T_o - T_i) \quad (6)$$

$$\dot{Q}_u = A_{col} \cdot Fr [S - U_l(T_i - T_a)] \quad (7)$$

A_{col} = Es el área del colector

I_t = Es la radiación solar total

τ_{cv} = Son las propiedades de transmitancia del vidrio

α_p = Son las propiedades de absorción de la placa

U_L = Es el coeficiente global de pérdida térmica del colector

T_{pm} = Es la temperatura media de la placa ($T_{pm}=T_p$)

T_a = Es la temperatura ambiente

\dot{m} = Flujo másico

C_p = Calor específico

T_o = Es la temperatura del fluido en la salida

T_i = Es la temperatura del fluido en la entrada

S = Es la radiación solar absorbida por unidad de área

Fr = Es el factor de remoción de calor

U = Es el coeficiente Global de Transferencia de Calor

COLECTOR SOLAR TERMICO, CON AIRE DE SUPERFICIE PLANA

Balance de energía en la cubierta del colector

- La primera ley de la termodinámica, determina el balance de energía en la cubierta del colector solar térmico (Koulibaly, 2015)

$$E \text{ acumulada} = E \text{ entra} - E \text{ sale} \quad (8)$$

$$E \text{ entra} = Q1 + Q2 \quad \text{Energía que entra al colector solar térmico} \quad (9)$$

$$Q1 = h4Acv(Tp - Tc) \quad (10)$$

$$h4 = \frac{\sigma(Tp^2 + Tc^2)(Tp + Tc)}{\left(\frac{1}{\epsilon_p}\right) + \left(\frac{1}{\epsilon_{cv}}\right) - 1} = \frac{4\sigma Tm^3}{\left(\frac{1}{\epsilon_p}\right) + \left(\frac{1}{\epsilon_{cv}}\right) - 1} \quad (11)$$

$$Q2 = h3Acv(Tai - Tc) \quad (12)$$

$$E \text{ sale} = Q3 + Q4 \quad \text{Energía que sale del colector solar térmico} \quad (13)$$

$$Q3 = h1Acv(Tc - Taex) \quad (14)$$

$$h1 = 5.7 + 3.8 Vw \quad (15)$$

$$Q4 = h2Acv(Tc - Taex) \quad (16)$$

$$h2 = h4 = \frac{\sigma\epsilon_c(Tc^2 + Tsky^2)(Tc + Tsky)(Tc - Tsky)}{(Tc - Taex)} \quad (17)$$

$$E \text{ acumulada} = BEC \frac{dTc}{dt} \quad \text{Energía que se acumula en el colector solar térmico}$$

$$BEC \frac{dTc}{dt} = h4Acv(Tp - Tc) + h3Acv(Tai - Tc)$$

$$-h1Acv(Tc - Taex) - h4Acv(Tc - Taex) \quad (18)$$

Acv: Área de la cubierta de vidrio

Q1: Calor radiado por la placa absorbadora

Q2: Calor por convección de aire caliente

h4: Coeficiente de Transferencia de Calor por radiación entre la placa y la cubierta (vidrio)

(W/m²°C)

h3: Coeficiente de Transferencia de Calor entre el aire del interior y la cubierta

σ : Es la constante de Stefan-Boltzmann $5.67 \times 10^{-8} \left(\frac{W}{m^2K^4}\right)$

COLECTOR SOLAR TERMICO, CON AIRE DE SUPERFICIE PLANA

ϵ_p : Emisividad de la placa absorbadora

ϵ_{cv} : Emisividad de la cubierta (vidrio)

T_m : Temperatura media entre la T_p y T_c

T_{ai} : Temperatura del aire en el interior

Q_3 : Calor por convección al aire exterior

Q_4 : Calor por radiación al espacio exterior

T_{aex} : Temperatura del aire exterior

h_1 : Coeficiente de Transferencia de Calor – Velocidad del viento (m/s)

V_w : velocidad del viento

h_2 : Coeficiente del intercambio de Calor = h_4

T_{sky} : Temperatura de la bóveda celeste $0.0552T_{aex}^{1.5}$

$E_{acumulada} = BEC \frac{dT_c}{dt}$ = Energía acumulada por la cubierta caracterizada por la

variación de la energía interna

Balance de energía en la placa absorbadora del colector

$$E_{entra} = (\tau \nu \alpha_p) I_t A_p \quad \text{Energía que entra al colector solar térmico} \quad (19)$$

$$E_{sale} = Q_5 + Q_6 + Q_7 \quad \text{Energía que sale del colector solar térmico} \quad (20)$$

$$E_{sale} = h_5 A_p (T_p - T_{ai}) + U_b A_p (T_p - T_{aes}) + h_4 A_{cv} (T_p - T_c) \quad (21)$$

$$U_b = \frac{\dot{m} * C_p * (T_o - T_i)}{\frac{1}{h_6} + \frac{t}{k_{ais}} + R_p - a} \quad (22)$$

$$E_{acumulada} = BEP \frac{dT_p}{dt} \quad \text{Energía que se acumula en el colector solar térmico}$$

$$BEP \frac{dT_p}{dt} = (\tau \nu \alpha_p) I_t A_p h_5 A_p (T_p - T_{ai}) + U_b A_p (T_p - T_{aes}) + h_4 A_{cv} (T_p - T_c) \quad (23)$$

Q_5 : Calor entregado al aire interior

Q_6 : Calor que se pierde al ambiente a través del aislamiento del fondo del colector

COLECTOR SOLAR TERMICO, CON AIRE DE SUPERFICIE PLANA

Q7: Calor entregado por radiación a la cubierta del colector

h5: Coeficiente de transferencia de calor por convección natural entre el aire interior y la placa

Ub: Coeficiente global de transferencia entre la placa y el aire exterior a través del aislamiento

Ap: Área de la placa

Taes: Temperatura del aire exterior a través del aislamiento

h6: Coeficiente de transferencia de calor por convección entre el aislante y el aire exterior

Kais: Coeficiente de conductividad del calor del aislante

t: espesor del aislante

Rp-a: Resistencia al paso del calor en el contacto entre la placa absorbadora y el aislante

$E_{acumulada} = BEC \frac{dT_p}{dt}$ Energía acumulada por la placa absorbadora es dada por el

producto de la capacidad calorífica de la misma y la variación de la temperatura de la placa Tp en el tiempo

Balance del aire interno del colector

$$E_{entra} = \dot{m}C_p T_{aex} + h_5 A_p (T_p - T_{ai}) \quad \text{Energía que entra al colector solar térmico} \quad (24)$$

$$E_{sale} = \dot{m}C_p T_o + h_7 A_{cv} (T_{ai} - T_c) \quad \text{Energía que sale del colector solar térmico} \quad (25)$$

$$E_{acumulada} = B A_i C \frac{dT_{ai}}{dt} \quad \text{Energía que se acumula en el colector solar térmico}$$

$$T_{aex} = T_i$$

$$B A_i C \frac{dT_{ai}}{dt} = \dot{m}C_p T_i + h_5 A_p (T_p - T_{ai}) - h_7 A_{cv} (T_{ai} - T_c) - \dot{m}C_p T_o \quad (26)$$

h7: Coeficiente de convección natural entre el aire interior y la cubierta

$E_{acumulada} = B A_i C \frac{dT_{ai}}{dt}$ Energía acumulada en la masa de aire en el interior del colector

es dada por la variación de la energía interna del fluido

COLECTOR SOLAR TERMICO, CON AIRE DE SUPERFICIE PLANA

- Factor de Remoción del Calor (Para & Calefaccion, 2013).

$$Fr = \frac{\dot{m} * Cp * (To - Ti)}{Ac[S - Ul(Ti - Ta)]} \quad (27)$$

- Equivalencias Importantes (Fauroux, Diaz, Blanco, & Degaetani, 2016).

$$\alpha_p = 0.92 - 0.95$$

$$\tau_{cv} = 0.15 - 0.25$$

$$Fr = 0.8 - 0.9$$

Coefficiente global de perdida térmica del colector UL (Salim, 2015).

$$Ul = Ut + Ub + Ue \quad (28)$$

Ut: Coeficiente de pérdidas de calor superior

Ub: Coeficiente de pérdidas de calor inferior

Ue: Coeficiente de pérdidas de calor lateral

El coeficiente global de perdida térmica del colector tiene un rango de 7 a 10 (W/m²°K) en perdidas, de acuerdo a su forma de fabricación es decir si el colector es realizado de manera artesanal tiene un valor de 10 (W/m²°K) y si fue confeccionado de forma industrializada posee una cantidad de 7 (W/m²°K), esto facilita obtener los resultados con la constante establecida.

$$Ul = 7 - 10 \text{ (W/m}^2\text{°K)}$$

La fórmula es la siguiente:

$$F'_{Ul} = \frac{\dot{m} * cp}{Ac} \ln \left(1 - \frac{Fr * Ul * Ac}{\dot{m} * cp} \right) \quad (29)$$

El factor F' en la formula significa factor de eficiencia del colector, este se lo utiliza cuando no se presenta el flujo másico del aire en el interior del mismo en base a su geometría y diseño específico, este valor tiene menor exactitud y confiabilidad ya que es una cantidad estimada y varia de la realidad bajo estrictas condiciones. Por lo tanto F' no es necesario encontrar ya que el estudio correspondiente calcula el flujo del aire.

COLECTOR SOLAR TERMICO, CON AIRE DE SUPERFICIE PLANA

- Temperatura de placa media

$$T_{pm} = T_i + \frac{\dot{Q}}{Ac * Ul * Fr} * (1 - Fr) \quad (30)$$

- El rendimiento – eficiencia del colector se define de la siguiente manera :

$$\eta = \frac{Q_u}{Ac * I_t} \quad (31)$$

$$\eta = \frac{Q_u}{\eta_o * Ac * I_t} \quad (32)$$

$$\eta = 1 - \frac{Q_{perdidas}}{\eta_o * Ac * I_t} \quad (33)$$

$$\eta = Fr(\tau\alpha) - Fr * Ul * \frac{(T_{pm} - T_a)}{I_t} \quad (34)$$

η_o : Eficiencia óptica del colector

$Q_{perdidas}$: Perdidas de energía del colector

El flujo másico de aire que circula por el colector es fundamental para lograr el dato de calor útil en cada ensayo, este sale a partir del caudal o flujo volumétrico del equipo utilizado (blower de 2 hp), que suministra aire de forma constante en el interior del mismo y evalúa dos variables la velocidad y el área por el cual ingresa el fluido, este dato se verifica en la ficha técnica y se comprueba que tiene un valor de $V = 180 \text{ m}^3/\text{h}$ en su flujo volumétrico, de inmediato se transforma a $0.05 \text{ m}^3/\text{s}$ para poder aplicar la fórmula de flujo másico, teniendo en cuenta la densidad del aire y de esta manera conseguir una cantidad de 0.06125 kg/s .

$$Q = v \cdot A_s \quad (35)$$

$$\dot{m} = \rho \cdot V \quad (36)$$

COLECTOR SOLAR TERMICO, CON AIRE DE SUPERFICIE PLANA

V: Flujo volumétrico o caudal

v : Velocidad del fluido

As: Área de la sección por la cual va el fluido

ρ : Densidad del aire

\dot{m} : Flujo másico

El fluido al atravesar por el interior de una tubería circular presenta un número de Reynolds dado por la siguiente ecuación. En la cual se relacionan el flujo másico de 0.06125 kg/s, el diámetro de la tubería de 0.024 m, área de la sección por la que atraviesa el fluido la cual es de 0.0004524 m² y el valor de la viscosidad dinámica siendo esta de 0.0000174 Pa.s. La cantidad alcanzada en el número de Reynolds cumple la siguiente condición $Re \geq 4000$ con un valor de 186748 el mismo que es entendible ya que se utiliza un equipo de suministro de aire constante en el interior del colector.

$$Re = \frac{\dot{m} * D}{As * u} \quad (37)$$

As: Área de la sección por la cual va el fluido

\dot{m} : Flujo másico

u: Viscosidad dinámica del aire

D: Es el diámetro de la sección por la que atraviesa el fluido

Al ser un fluido turbulento el que atraviesa por el interior de la tubería circular presenta una característica fundamental que favorece a esta aplicación y la cual se llama procesos de mezcla que significa que existe un incremento destacado en el intercambio de calor, masa y cantidad de movimiento en la masa fluida por efectos de factores de velocidad transversales debido a la turbulencia presentada.

Por otro lado en esta grafica se puede observar el comportamiento de la temperatura ambiente con respecto a la irradiación solar durante los periodos de tiempo, al superar una hora establecida dentro del ensayo, es notorio ver que existe una conducta muy variable y se podría

COLECTOR SOLAR TERMICO, CON AIRE DE SUPERFICIE PLANA

entender en una relación inversamente proporcional y heterogénea en ciertos datos, debido a que en el mes de diciembre en su mayoría se registró nubosidad y precipitaciones siendo una época lluviosa, se alcanzó una temperatura ambiente de 17°C como máximo y 14°C como mínimo, así como también en irradiancia solar se tuvo 810 w/m² como máximo y 298 w/m² como mínimo.

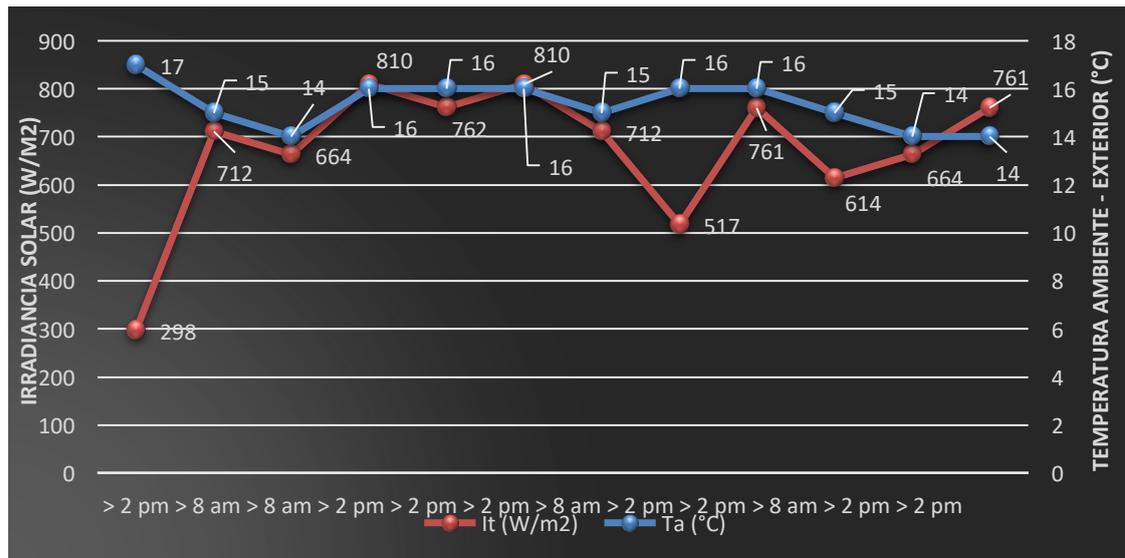


Figura 13 Temperatura Ambiente vs Irradiación solar en el colector solar, durante los 12 ensayos comprendidos de noviembre a diciembre del 2019

Resultados.

La experimentación se la llevo a cabo en un promedio de 12 días de acuerdo a estudios relacionados con la toma de datos (Salvo & Capital, 2008). Siendo este un tiempo prudente para evaluar al colector solar térmico en condiciones meteorológicas adversas ya que en los meses de noviembre y diciembre se pudo palpar los cambios bruscos del clima en la ciudad de Quito donde predomino la estación invernal (Quiñonez et al., 2012).

A continuación se presenta la tabla de resultados, obtenidos de los 12 ensayos realizados entre las fechas del 29 de noviembre al 15 de diciembre. En los cuales se registró datos de temperaturas de entrada T_i , salida T_o y ambiente T_a del fluido aire del colector solar térmico, así como también la Irradiación total I_t presentada en ese instante, fueron medidos diariamente a distintas horas del día después de las 8 am en fin de semanas y después de las 2

COLECTOR SOLAR TERMICO, CON AIRE DE SUPERFICIE PLANA

pm entre semana para ver como es el comportamiento por la mañana y en la tarde, estas variables permitirán realizar los cálculos de calor útil y de eficiencia del colector solar térmico, con aire de superficie plana para calefacción y ventilación de áreas internas en viviendas y edificios.

Para la realización de los diferentes cálculos en la tabla se tiene presente algunos datos y constantes, como la densidad del aire $\rho = 1.225 \text{ kg/m}^3$, caudal o flujo volumétrico del aire $V = 0.05 \text{ m}^3/\text{s}$, calor específico del aire $1.0052 \text{ KJ/kg}^\circ\text{K}$, el área total de colector solar térmico $A_c = 9.353702 \text{ m}^2$, el coeficiente global de pérdida térmica en el colector $U_l = 7 \text{ W/m}^2^\circ\text{K}$, la temperatura media de la placa absorbadora en un promedio es de $T_{pm} = 30,88 \text{ }^\circ\text{C}$, el flujo másico es de $\dot{m} = 0.06125 \text{ kg/s}$ un parámetro adimensional de rendimiento promedio del colector es $U_l(T_{pm}-T_a)/I_t = 0.16$, todos estos valores son utilizados para la obtención de la eficiencia del colector solar térmico.

Tabla 4 Resultados obtenidos en cada ensayo

ENSAYO	HORA	Ta (°C)	Ti (°C)	To (°C)	It (W/m2)	Qu (W)	η
1	> 2 pm	17	18	34,6	298	1022,04	0,37
2	> 8 am	15	16	82,6	712	4100,46	0,62
3	> 8 am	14	15	77	664	3817,25	0,62
4	> 2 pm	16	17	94	810	4740,77	0,63
5	> 2 pm	16	17	88,4	762	4395,99	0,62
6	> 2 pm	16	17	94	810	4740,77	0,63
7	> 8 am	15	16	82,6	712	4100,46	0,62
8	> 2 pm	16	17	60	517	2647,45	0,55
9	> 2 pm	16	17	88,33	761	4391,68	0,62
10	> 8 am	15	16	71,3	614	3404,74	0,59
11	> 2 pm	14	15	77	664	3817,25	0,62
12	> 2 pm	14	15	88,3	761	4512,97	0,63
PROMEDIO	> 8am , 2pm	15,33	16,33	78,18	674	3807,65	$\eta(\%) = 59,09\%$

COLECTOR SOLAR TERMICO, CON AIRE DE SUPERFICIE PLANA

Después de haber construido la tabla de resultados con datos calculados se obtuvo el siguiente producto, en el calor útil un valor promedio en los 12 ensayos de 3807.05 W y un máximo de 4740.44W y un mínimo de 1022.04 W, así como también una eficiencia diaria con un máximo del 63 % y un mínimo del 37 %. La eficiencia total del colector solar térmico después de las pruebas y de la experimentación del mismo bajo las diversas condiciones climáticas durante los 12 días fue del 59.09%.

Las pruebas que se realizaron muestran en la figura como en un lapso de tiempo las temperaturas presentes de salida, ingreso y ambiente en el colector solar térmico marcan su tendencia en cada punto, se nota claramente que las temperaturas de ambiente y de entrada son parejas ya que varían en 1°C como máximo una de la otra debido a la convección forzada que existe por el instrumento utilizado "blower 2 hp" para proporcionar el aire al interior, cuando sucede esta actividad el aire choca con los alabes de la máquina rotodinámica del instrumento creando fricción en la misma entre el fluido y las paredes internas del equipo por eso su incremento de temperatura. Mientras que la de salida se dispara considerablemente en una relación de 5 a 1 a diferencia de las otras temperaturas al pasar por el colector Solar térmico.

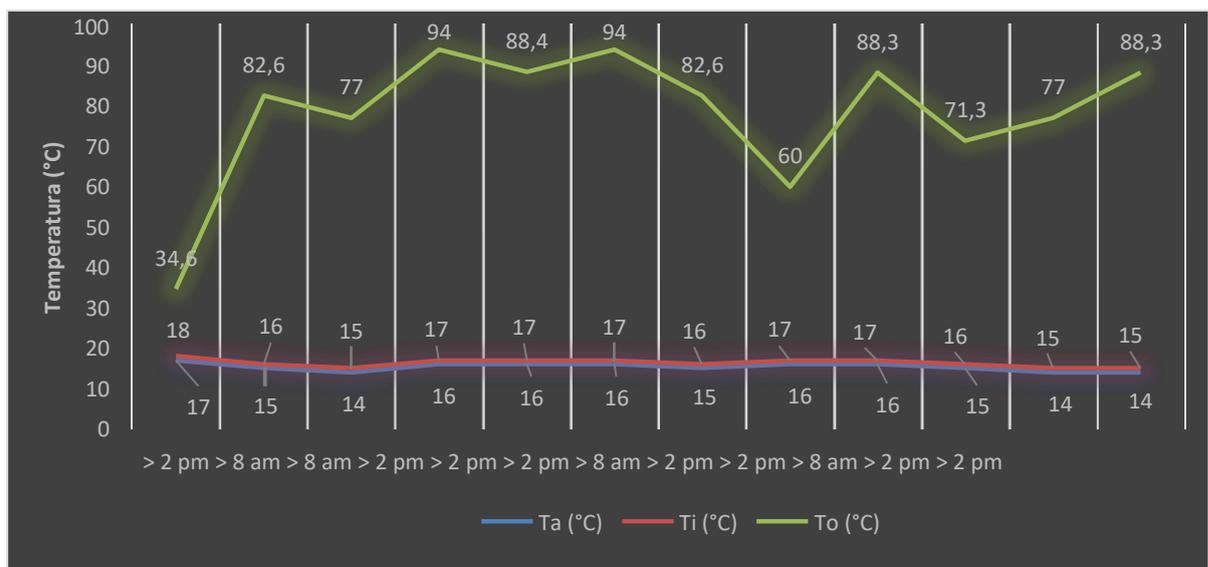


Figura 14 Temperatura de Salida, Entrada y Ambiente durante los 12 ensayos comprendidos de noviembre a diciembre del 2019

COLECTOR SOLAR TERMICO, CON AIRE DE SUPERFICIE PLANA

Las curvas mostradas en la siguiente figura explican de una forma sencilla la manera en la cual a lo largo del tiempo la temperatura de salida con respecto a la Irradiancia solar presentan una distribución directamente proporcional y homogénea en cada ubicación de acuerdo al rango de las horas establecidas, se tiene un máximo en temperatura de salida de 94°C e Irradiancia de 810 w/m² y un mínimo en temperatura de salida de 34.6°C e Irradiancia de 298°C.

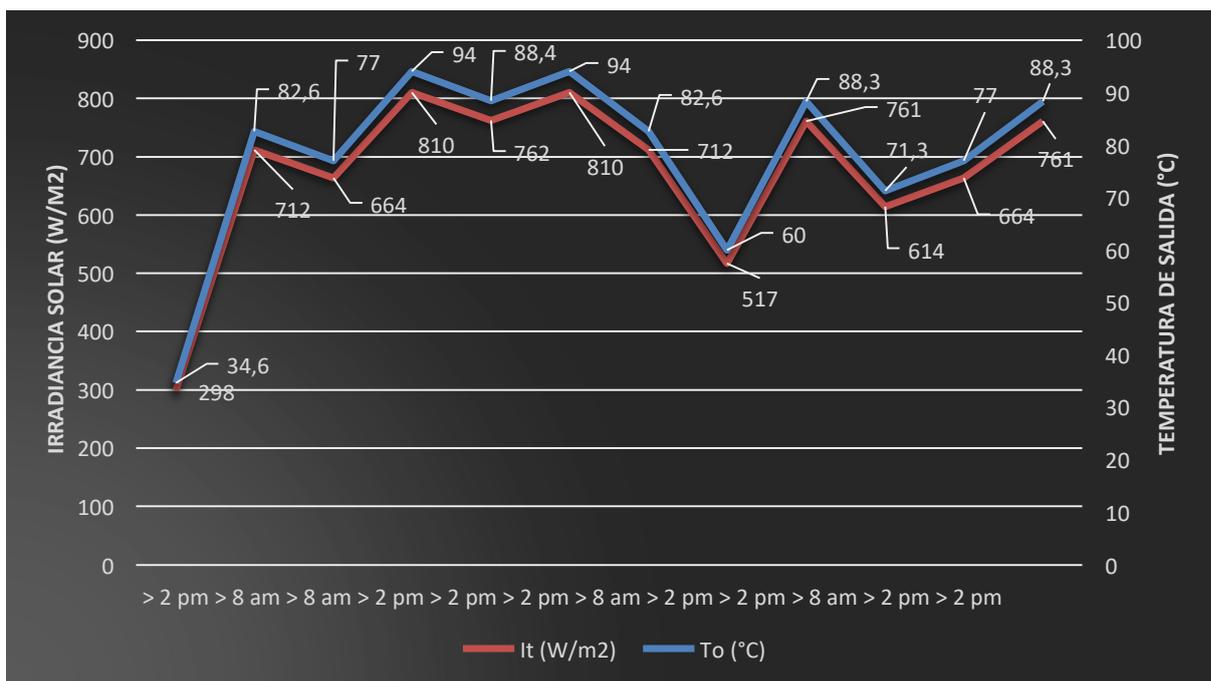


Figura 15 Temperatura de Salida vs Irradiación Solar en el colector solar, durante los 12 ensayos comprendidos de noviembre a diciembre del 2019

Estos valores se los puede apreciar de mejor manera en la siguiente gráfica, donde se presentan un grupo simple de datos lineales de eficiencia con respecto al parámetro a dimensional de rendimiento $U_i(t_{pm}-T_a)/I_t$. Los puntos de dispersión presentados son lineales por ende se aplica una tendencia lineal para mostrar el aumento de la eficiencia a un ritmo constante; el valor de R cuadrado es 0,9989 lo que explica el ajuste ideal de los datos a la línea por su buena proximidad a 1.

COLECTOR SOLAR TERMICO, CON AIRE DE SUPERFICIE PLANA

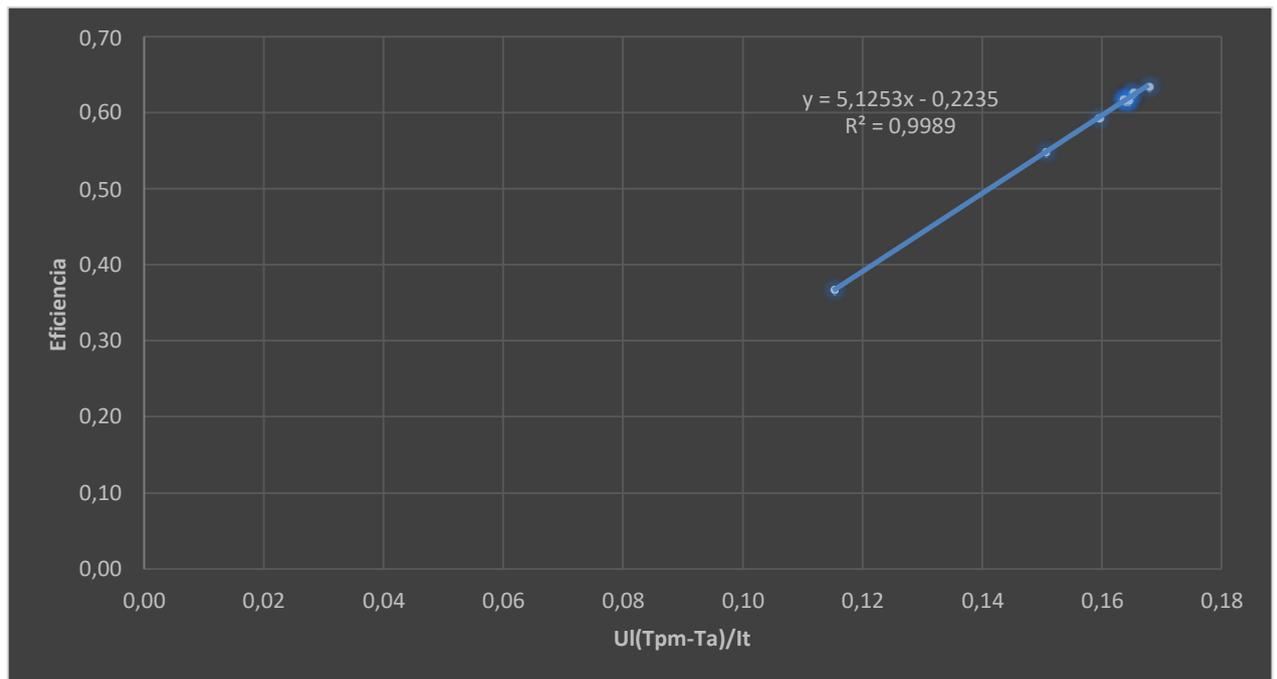


Figura 16 Grafica de la curva de la Eficiencia del colector solar funcionando por convección forzada, durante los 12 ensayos comprendidos de noviembre a diciembre del 2019

Discusión de Resultados.

En la presente investigación se utilizó un colector solar térmico industrializado del pueblo de Japón, un producto que fue donado a la universidad internacional "SEK". Es parte de un conjunto de piezas de un calentador de agua y es utilizado específicamente para caldear al líquido presente en el interior por radiación solar. Lo que se hizo fue cambiar el tipo de fluido, al pasar aire por el colector y conseguir así otra aplicación fundamental como la calefacción, para poderla destinar a las áreas internas de viviendas y edificios, de esta manera se ahorra energía y se optimiza los recursos que se tiene en el momento.

En este trabajo se alcanzó resultados importantes y determinantes para el desarrollo de esta aplicación en un futuro, se llegó a tener una eficiencia media del 59.09% y con cantidades de entre 37 a 63% en distintos ensayos del colector solar, estos datos se adquirieron en una experimentación bajo condiciones climáticas no favorables, con mucha incertidumbre en el comportamiento meteorológico del medio ambiente y con un tipo de colector de flujo forzado convectivo.

COLECTOR SOLAR TERMICO, CON AIRE DE SUPERFICIE PLANA

En otros estudios realizados sobre calefacción de áreas internas por colectores solares térmicos, se encuentra que en (Quiñonez et al., 2012), presenta una eficiencia del 45% en el experimento, con una media del 38% y con un tipo de colector de doble flujo en contracorriente. En (Tijo et al., 2007), tiene una eficiencia media del 20%, con valores de entre 7 y 28% con un tipo de colector de bucle convectivo y en (Salvo & Capital, 2008), aporta una eficiencia media del 58.5% y una diaria del 60% con un tipo de colector de placa perforada.

Al realizar el análisis de este contexto se encuentra expuesta la eficiencia conquistada, por cada técnica en el tipo de colector usado, de los valores presentados existe uno del 58.5% y el otro del 20%, siendo uno menor pero muy parecido al dato obtenido y el otro más bajo que los dos correspondientemente, en relación al número de la eficiencia alcanzada en el estudio, esto se debe en parte al método y al tipo de colector utilizado, para el primer caso, este presenta una placa absorbidora perforada por el cual atraviesa el aire por convección natural.

Al ser diferente que el empleado para esta investigación, se determina que el que se usó lleva una placa absorbidora tipo membrana compuesta por tubería circular en ramales y plancha metálica, siendo un solo cuerpo convectivo al paso del aire, adheridos por soldadura y con las mismas propiedades térmicas en toda su superficie plana, creando así más área de transferencia de calor, para que atraviese el aire suministrado por el interior de la placa absorbidora; en conclusión lo que hace la diferencia en las eficiencias es la forma de proporcionar el flujo al colector solar.

Por otra parte en el segundo caso, se presenta un valor medio del 20% en la eficiencia del colector y con un tipo de bucle convectivo en el mismo, está claro que tiene disimilitudes con el tratado en la experimentación actual como se manifestó anteriormente, pero además de las mencionadas existe otra causa que influye rotundamente en el 39.09% faltante a este caso y que presenta el colector de flujo forzado convectivo.

COLECTOR SOLAR TERMICO, CON AIRE DE SUPERFICIE PLANA

Esta causa es muy importante y debe ser tomada en cuenta cuando se construya un colector solar, ya que esto influye notablemente en su eficiencia; las pérdidas de energía térmica se presentan cuando la fabricación es de modo artesanal y no se ocupan materiales que den garantía al rendimiento del sistema de calentamiento, por eso al ser industrializado presenta procesos de fabricación diferentes que proporcionan confinamiento hermético en el conjunto de piezas y partes del colector solar térmico.

Este tipo de colector solar, al tener esta ventaja proporciona que su flujo forzado convectivo pueda trabajar en óptimas condiciones, esto quiere decir que eleva el flujo másico del aire en el interior de la tubería y alcanza un fluido turbulento que permite el intercambio de calor, masa y cantidad de movimiento en la masa fluida por efectos de factores de velocidad transversal.

Esta teoría también se manifiesta en el siguiente estudio (Gómez et al., 2010) con un tipo de colector de placa plana de doble cubierta el cual dice en palabras textuales, que el incremento de la eficiencia con el aumento de flujo másico de aire también es más evidente para el flujo turbulento debido a que al aumentar la relación de aspecto, el área transversal del ducto por donde fluye el aire se reduce.

De esta manera se concluye diciendo que si las tasas de transferencia de calor son mayores, tendrán más incidencia en la eficiencia del colector, para conseguir esta parte es necesario tener un flujo turbulento que circule por el interior del colector, antes que laminar ya que este produce una disminución notoria en el rendimiento del mismo.

Todo esto hace que el comportamiento del colector en los días de evaluación, dé frutos en sus datos más importantes y con tiempos en el clima no ideales; es muy necesario entender que de acuerdo al tipo de colector solar, este genera un calor útil que posibilita tener alta la temperatura de salida del mismo, a partir de una temperatura baja de ingreso, en base a la temperatura ambiente que se presenta en el lugar.

COLECTOR SOLAR TERMICO, CON AIRE DE SUPERFICIE PLANA

Por esto el colector un rango de temperatura de 34.6 a 94°C en su salida, siendo el pico más alto 94°C en su tiempo de prueba, con una temperatura de ingreso que oscila entre los 15 a 18°C, temperatura ambiente de entre los 14 a 17 °C e irradiancia de 298 a 810 W/m², con una media de 674W/m². Como se observa el calor útil generado en el interior del colector tiene valores que fluctúan de 1022.04 a 4740.77 W siendo la cantidad media de 3807.65 W, lo cual hace que se incremente la temperatura en el colector solar de flujo forzado convectivo en un 77°C y con un flujo másico de aire de 0.06125kg/s.

Comparando con varios estudios ya realizados para este tipo de aplicación se encuentra que en (Para & Calefaccion, 2013), llega a conseguir una temperatura de salida de 63°C, con una temperatura de entrada de 34°C, de esta manera el colector solar calentador de aire de doble paso en contracorriente aumenta en 29°C, con un flujo másico de 0.024kg/s y con una irradiancia superior e inferior a los 700 W/m² dependiendo el clima presentado en esa ciudad.

En (Larsen, 2011), de acuerdo al análisis que se llevó cabo se muestra que el aire que ingresa al colector solar de aire de doble flujo desarrolla un incremento en la temperatura de 31°C, alcanzando los 78°C en el mediodía solar y con mínimos de 55°C en las primeras y últimas horas del día, con una irradiancia de 543.5 w/m² y con una eficiencia máxima en el colector de 48%.

Por otro lado en (Lammardo & Baritto, 2010), argumenta que la temperatura del aire en el colector de placas planas inclinadas es menor en las primeras y últimas horas del día por los valores bajos de la irradiancia presentadas en esas horas, sin embargo presento una temperatura de salida máxima de 54.85°C y una mínima de 24.85°C. En (Koulibaly, 2015), proporciona un dato importante sobre lo que sucede si se trabaja con una irradiancia constante de 900W/m², la temperatura de salida del aire tiene un incremento si la longitud de calentador es fija, ya que el espesor de aire disminuye, es decir es directamente proporcional si la distancia del calentador aumenta lo hace también la temperatura del aire de salida.

COLECTOR SOLAR TERMICO, CON AIRE DE SUPERFICIE PLANA

Haciendo un análisis comparativo entre los datos del colector solar térmico, con aire de superficie plana y de flujo forzado convectivo, con respecto a las investigaciones que se encuentran, se determina que este colector es por mucho el mejor para ser empleado en esta aplicación llamada calefacción para áreas internas, ya que su metodología, forma y tipo crean un comportamiento magnifico en cada parte del mismo, consiguiendo valores que se destaquen en condiciones meteorológicas adversas, optimizando recursos y generando ahorros energéticos amigables con el medio ambiente.

Conclusiones.

- La eficiencia media del colector solar térmico, con aire de superficie plana fue de 59.09%, este valor se obtiene después de haber hecho en un lapso de tiempo la respectiva experimentación bajo condiciones meteorológicas no favorables entre los meses de noviembre y diciembre; los días en los que se midieron fueron tan variables en el clima que en cuestión de horas se evidenciaron los cambios. Sin embargo el rendimiento del colector fue aceptable logrando un calor útil medio de 3807,65W en el interior entre la placa absorbadora y la cubierta, esto permitió alcanzar valores de temperaturas de salida del aire de entre 34.6 a 94°C, por lo que se entiende que hay una relación directamente proporcional entre el clima y el rendimiento del colector por su repercusión en el resultado final al influir directamente en la superficie plana del mismo.
- La eficiencia alcanzada y la temperatura de salida del aire conseguida por la geometría y el área de 9.35 m² del colector solar térmico, indican que al tener resultados de estas características prometen en un futuro la aplicabilidad de la calefacción para áreas internas en varios lugares como escuelas, centros médicos, oficinas, talleres y galpones industriales al evitar el consume excesivo de energía y al reducir los gases de efecto invernadero perjudiciales para el

COLECTOR SOLAR TERMICO, CON AIRE DE SUPERFICIE PLANA

medio ambiente, desarrollando energía renovable con recursos naturales.

- Este colector solar térmico nace de la idea de aplicar varios conceptos importantes hoy en día, como la ecoeficiencia y la optimización de recursos. Estos términos tratan sobre la forma de aprovechar de mejor manera lo que se dispone para crear un ahorro y poder beneficiarse del mismo. Cuando se cumplen estas condiciones se puede brindar calidad de vida a las personas ya que se satisfacen sus necesidades y se reducen los impactos ambientales. El colector solar cumple todos estos requisitos al generar calefacción, ventilación y deshumidificación en las áreas internas de una vivienda o edificio.

Recomendaciones.

- Se recomienda usar el colector solar térmico siempre con flujo forzado para tener buenas temperaturas de salida del aire al aumentar su eficiencia, ya que es un factor que incrementa la transferencia de calor en el interior del colector y crea así el confort necesario en calefacción en el interior de una vivienda o edificio.
- Tener un colector solar fabricado de forma industrial disminuye las pérdidas de energía térmica en su rendimiento, por lo que se sugiere conseguir colectores de agua ya elaborados y adaptarlos para la calefacción, de esta manera se garantiza tener un conjunto hermético sin fallas que desarrolle sin ningún problema la aplicación
- Tener en cuenta la geometría y el área total del colector solar, ya que al ser de superficie plana tiene una mejor captación de energía solar y mientras más grande sea su área fomenta mayor intercambio de energía térmica al fluido que atraviesa por su interior, existe la posibilidad también de conectar en serie o en paralelo varios colectores para generar mayor aire caliente de acuerdo al lugar

COLECTOR SOLAR TERMICO, CON AIRE DE SUPERFICIE PLANA

en el cual se requiera calentar su interior.

Bibliografía.

- Anica, M. E. C., Civil, D. E. I., Anico, M. E. C., An, R. R. O. M., & Gonzalez, F. (n.d.). *SOLAR PARA UN ~ DE UN SISTEMA DE CALEFACCIÓN Resumen*.
- Arturo, J., Arturo, F., & Figueredo, G. (n.d.). No Title, 10–12.
- Behnke, R. P. (2008). SOLAR PARABOLICO PARA GENERACION EL ECTRICA MEMORIA PARA OPTAR AL T ´ JORGE QUINTEROS GRIJALVA PROFESOR GU ´ MIEMBROS DE LA COMISION : LUIS VARGAS D ´.
- Cardozo, V., Fernández, F., & Duarte, J. (2005). Diseño y construcción de un calentador solar didáctico. *Revista Colombiana de Física*, 37(2), 338–348. Retrieved from <http://www.icesi.edu.co/blogs/analisisciclodevida/files/2008/10/disenodeuncalentador-solar-didactico.PDF>
- Colangelo, G., Favale, E., Miglietta, P., & Risi, A. De. (2016). Innovation in flat solar thermal collectors : A review of the last ten years experimental results. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 57, 1141–1159. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.12.142>
- Enrique, L., Ingeniería, D. De, Medio, I. De, Nacional, U., Matanza, D. La, Varela, F., ... Aires, B. (1903). “Diseño y Análisis de Colectores Solares Planos,” 1903(1).
- Fauroux, L. E., Diaz, D. O., Blanco, G. E., & Degaetani, O. J. (2016). “Modelado , y análisis económico de colectores solares planos ” " Modeling , and economic analysis of flat solar collectors ”, 1.
- Ferrer, J. M. I. (2013). APLICACIONES INDUSTRIALES Dimensionado de un sistema térmico solar mediante simulación y su validación energética Sizing of a solar thermal system by means of simulation and their energy validation, XXXIV(1), 55–65.
- Gallegos, H. G., & Righini, R. (2013). ÁNGULO ÓPTIMO PARA PLANOS COLECTORES DE ENERGÍA SOLAR OPTIMUM ANGLE FOR FLAT SOLAR COLLECTORS INTEGRATED BUILDING, 31(1992), 45–50.
- Gómez, Á., Enrique, A., Fandiño, M., Mario, J., Sarmiento, B., & Fernando, J. (2010). Disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=85215207006>.
- Koulibaly, A.-. (2015). APLICACIÓN DE LA COMPUTACIÓN Modelación de un colector solar para calentamiento de aire Modelling of a solar collector for air heating, XXXVI, 282–293.
- Lammardo, A., & Baritto, M. (2010). Modelo matemático del comportamiento térmico de un colector solar de placas planas inclinadas para calentamiento de aire Mathematical model for describe the thermal behavior of a flat plate solar collector for air heating.
- Larsen, S. F. (2011). DOBLE FLUJO MEDIANTE EL SOFTWARE SIMUSOL, 23–29.
- Mercado, M. V., Esteves, A., & Larsen, S. F. (2009). SISTEMA DE CALEFACCIÓN RADIANTE SOLAR PASIVO DISEÑO , CONSTRUCCIÓN DE UN PROTOTIPO Y OBTENCIÓN DE RESULTADOS, 23, 53–61.
- Nacional, U., Luis, D. S., & San, P. (1984). 1 , 2 1.
- Nandwani, S. (2005). Energía solar. Conceptos básicos y su utilización. *Universidad Nacional, Heredia (Costa Rica)*. Jun, 1–26. Retrieved from

COLECTOR SOLAR TERMICO, CON AIRE DE SUPERFICIE PLANA

http://www.catalogosolar.mx/download/Energia_Solar_Conceptos_Basicos.pdf

- Para, D., & Calefaccion, L. A. (2013). Evaluación y simulación computacional de un modelo físico-matemático del colector solar calentador de aire de doble paso en contracorriente diseñado para la calefaccion de edificios, *1*, 123–130.
- Quiñonez, J., Hernández, A., Larsen, F., Nacional, U., Unsa, D. S., & Capital, S. (2012). EVALUACIÓN TERMOENERGETICA DE UN COLECTOR SOLAR CALENTADOR DE, *16*, 55–62.
- S, J. E. (2016). Innovación en el deshidratado solar Innovation on solar dehydrator, *24*, 72–80.
- Salim, C. H. (2015). No Title لزیدویب هب ینغور سناسا ینارحب قوف جارختسا.
- Salvo, N., & Capital, S. (2008). Diseño y evaluación termica de un colector solar calentador de aire de placa perforada para calefacción de edificios, *12*, 133–140.
- Shukla, A., Nchelatebe, D., Cho, Y. J., Stevenson, V., & Jones, P. (2012). A state of art review on the performance of transpired solar collector, *16*, 3975–3985.
<https://doi.org/10.1016/j.rser.2012.02.029>
- Solar, S., Con, I., Aire, F. D. E., Para, F., & Humahuaca, Q. D. E. (2006). Secador solar indirecto con flujo de aire forzado para huacalera, quebrada de humahuaca, *10*, 47–54.
- Tipo, D. E. A. D. E., Convectivo, L., El, P., Edificios, C. D. E., Hernández, A., Fernández, C., ... Sa, C. U. N. (2007). Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente Vol. 11, 2007. Impreso en la Argentina. ISSN 0329-5184, *11*, 75–82.