



**Centro de Investigación en
Materiales Avanzados, s.c.**

**“Desarrollo de un Simulador para el Diseño de
Colectores Solares Planos”**

T E S I S

**PARA OBTENER EL TITULO DE
Maestro en
Energías Renovables**

PRESENTA:

Hugo de Jesús Martínez Menchaca

**Generación
2010-2012**

Director de Tesis

Dr. José Alberto Duarte Moller

Nuevo Laredo Tamaulipas

Junio del 2013





**Centro de Investigación en
Materiales Avanzados, s.c.**

AGRADECIMIENTO

A el Dr. José Alberto Duarte Moller por su soporte durante mis estudios de mi maestría y en la Realización de mi Tesis.

A la Universidad Tecnológica de Nuevo Laredo por haberme dado la oportunidad de realizar mis estudios de Maestría.

A mis maestros del Centro de Investigaciones de materiales Avanzados (CIMAV) por su incondicional apoyo y compartir sus conocimientos con su servidor.

A mis compañeros Dr. José Luis Ortiz Simón, Ing. Julio Amado Alvarado e Ing. Aldo Álvarez que con sus conocimientos me apoyaron en la realización de mi Tesis.

.

DEDICATORIA

A mi esposa Leticia por su incondicional apoyo y por su invaluable labor al frente de la familia.

A mis hijos Laura, Hugo, Brenda y Emir que son mi inspiración para seguir adelante.

A mis hermanos Patricia, Eduardo, Anabel, Xochitl, Alfredo, Carlos y Juan por alentarme y motivarme a conseguir el objetivo.

Resumen

El propósito de este proyecto es realizar un análisis de los parámetros más importantes incluyendo la Eficiencia del colector solar plano con el propósito de que esta información nos permita tener un panorama de cual sería el adecuado en cuanto a materiales, dimensiones y posicionamiento para alcanzar su máxima efectividad en el proyecto en el cual estemos trabajando.

Este proyecto consta de un arreglo de formulas introducidas al programa Matlab con el propósito de minimizar el tiempo utilizado en los cálculos de tal forma que tengamos manera de cambiar los parámetros y así saber en forma instantánea como cambian nuestros resultados buscados así como la obtención de graficas comparativas.

Consideramos que el impacto es fuerte porque así tendremos un simulador que nos ayudara a tomar decisiones en el diseño de nuestro colector.

Este simulador también será utilizado por los estudiantes de la Universidad Tecnológica de Nuevo Laredo en su materia de Colectores Solares

Abstract

The purpose of this Project is realize an analysis of the most important parameters including the Efficiency about a Flat Solar Collector with the purpose of get information that allow us to have a view in which we can take a decision and select the most adequate regards to dimensions, materials and position in order to reach the maximum effectiveness in the Project in that we are working.

This project has an arrangement of formulas introduced in the Matlab Program with the purpose of minimize the time utilized for make the calculation such as we have a way of change the parameters and know in a instant form how our outcoming results are changing and also obtain comparative graphs.

We are considering a high impact because we are going to have a simulator that helps us in take decisions about the design of our flat solar collector.

This simulator also will be used for the Universidad Tecnologica students in their professional development.

INDICE

GENERALIDADES

Título

Portada de título.....	1
Agradecimiento.....	2
Dedicatoria.....	3
Resumen.....	4-5
Índice.....	6-7

CAPITULO 1

Participantes

1.0 Participantes.....	8
1.1 Población.....	8-9
1.2 Muestra.....	9

CAPITULO 2

Introducción

2.0 Introducción.....	11-12
2.1 Antecedentes.....	13
2.1.1 Simuladores para estudio de disponibilidad del recurso solar.....	14
2.2 Contexto.....	15

CAPITULO 3

Objetivo

3.0 Objetivo del proyecto.....	16
3.1 Problema.....	16-17
3.2 Conceptos.....	18-19

CAPITULO 4

Justificación

4.0 Justificación.....	20
4.1 Hipótesis.....	20

CAPITULO 5

Desarrollo y Método

5.0 Desarrollo.....21-31

CAPITULO 6

Resultados

6.0 Resultados.....32-33

CAPITULO 7

Conclusiones

7.0 Conclusiones.....34-35
7.1 Tablas de Referencias.....36-42
7.2 Referencias.....43

CAPITULO 1

1.0 PARTICIPANTES

A continuación se proporciona la lista de participantes en el proyecto.

- a) Alumno de maestría en energías renovables:
Desarrollo del Diseño del Colector y cálculos teóricos
- b) Docente de la carrera de Mantenimiento Industrial
Soporte en utilización del programa Matlab y Diseño Mecánico
- c) Docente de la Carrera de Mecatrónica
Desarrollo del Diseño del Colector y cálculos teóricos
- d) Responsable de laboratorios:
Salvaguardar y administrar la disponibilidad de los laboratorios

1.1 POBLACION

El resultado de este proyecto impacta directamente en la Universidad Tecnológica de Nuevo Laredo, Universidad compuesta de dos divisiones.

1.- Área académica técnica de Desarrollo científico y Tecnológico

- a) TSU en Energías Renovables
- b) TSU en Mantenimiento area Instalaciones
- c) TSU en Mecatrónica área Automatización

2.- Área académica administrativa de Desarrollo de Negocios Internacionales

- a) TSU en Comercialización
- b) TSU en Transporte
- c) TSU en Aduanas y Arancelaria

Dentro del resultado también se incluye a la Población del Instituto Tecnológico de Nuevo Laredo ya que podrán contar con una estructura de colectores solares planos que soportarían la temperatura de la alberca del Instituto sin necesidad de utilizar calderas de gas que impactan en costo y en la contaminación

1.2 MUESTRA

Las Formulas requeridas fueron introducidas al programa Matlab combinando el trabajo con la captura de los datos a través de la estación meteorológica instalada en la Universidad, Los Instrumentos de medición instalados en el colector solar didáctico y finalmente datos de la radiación solar obtenidos de historiales capturados por el programa meteonorm.

Siendo este el objetivo final, para su aplicación de conocimiento y aportar en el cambio de cultura en el uso de energías renovables.

CAPITULO 2

2.0 INTRODUCCION

El Proyecto consiste en tener una herramienta de cálculo de uso simple para los estudiantes de la Universidad Tecnológica de Nuevo Laredo y otros posibles usuarios dedicados al diseño e instalación de colectores solares planos consta de una serie de formulas introducidas en el programa Matlab de tal forma que a través de el podemos calcular parámetros importantes tales como la posición ideal del colector solar, total de flujo incidente sobre el colector, flujo absorbido por la placa, temperatura del agua a la salida del colector y la Eficiencia del Colector entre otros.

Con este Simulador se pueden hacer análisis comparativo de estos parámetros en diferentes épocas del año además se simula utilizando diferentes tipos de materiales de la placa absorbedora como cobre, aluminio y plásticos.

Siendo nuestro proyecto aplicado a los colectores solares planos en los cuales queremos como objetivo seleccionar el mas adecuado según su aplicación, Iniciaremos con una explicación de lo que es un colector solar plano y podemos decir que es un dispositivo cuyas partes básicas son a) la Placa Absolvedora, b) Los tubos ensamblados en la Placa Absorbedora que son los que van a calentar el fluido, c) La cubierta Transparente y d) El Contenedor Aislado. La principal ventaja de los Colectores Planos es que utilizan ambas la radiación Solar Directa y La radiación Solar Difusa. Adicionalmente es un Diseño estacionario Simple que requiere poco mantenimiento. Su principal desventaja es que en ausencia de concentración

óptica las pérdidas de calor son grandes y por lo tanto La eficiencia de Colección es generalmente baja.

El liquido calentado es generalmente agua, sin embargo algunas veces mezclas de agua y GlycolEtilico se utilizan en Ambientes donde la temperatura es menor de 0° C. La placa Absorbedora es usualmente hecha de hojas de metal cuyos rangos de espesor varían de 0.2 a 1 mm, mientras los tubos que también son de metal varían en diámetro de 1 a 1.5 cm. estos están soldados, abrazados o unidos a presión al fondo de la placa absorvedora con rango de nota de 5 a 12 cm. En algunos diseños, los tubos están unidos a la parte superior o en la misma línea integral de la placa absorvedora .El metal usado de manera más común tanto como para los tubos y la placa absorvedora es cobre. De cualquier manera, en la India debido al escaseo de cobre, otras combinaciones de placa absorvedora-tubos han sido desarrolladas de manera exitosa. Estas incluyen hojas de aluminio fijadas a cobre o tubos de metal galvanizado con unión a presión, acero dulce u hojas de acero galvanizado con tubos de acero galvanizado, y hojas de acero inoxidable con canales de construcción. Los ductos de cabecera, que dejan al agua entrar y salir del colector y distribuir las en los tubos, están hechos del mismo metal que los tubos y son ligeramente del mismo diámetro (2 a 2.5 cm).

EL vidrio templado con 4 a 5mm de espesor es el material más adecuado para las cubiertas transparentes. La práctica usual es tener una o dos cubiertas con un rango de espacio ente 1.5 a 3 cm.

El fondo y los lados son insolados con lana mineral, lana de roca o lana de vidrio con una cubierta de papel aluminio que tiene un rango de espesor de 2.5 a 8cm.el ensamblado completo es contenida en una caja que es situado en un ángulo adecuado. La caja del colector debe estas fabricada de aluminio, hojas de metal o fibra de vidrio.

Las aéreas de las caras de de la mayoría de los colectores comerciales actualmente disponibles andan alrededor de los 2 m^2 , con lo largo (siguiendo la dirección de pendiente) siendo usualmente más grande que el ancho.

En los próximos años el uso de materiales plásticos para la placa absorbadora se ha estado incrementando, esto es una particularidad para aplicaciones cuyas temperaturas están por debajo de los 60° o 70 °C, inicialmente los plásticos no se usaban ya que se degradaban con la luz solar, también tienen bajos coeficientes de conductividad térmica y alto coeficiente de expansión comparado con los metales, sin embargo recientes avances en la tecnología de los polímeros ha resultado en el desarrollo de materiales mas amigables a la exposición solar. Los plásticos tienen la ventaja de ser ligeros en peso y fáciles de manufacturar, requieren menos energía al manufacturarse que el cobre y el aluminio, sin embargo hay que recordar que provienen de combustibles fósiles.

Como la producción de los colectores planos se ha ido incrementando hay que considerar la energía de entrada a utilizar y la materia prima con la cual los vamos a construir.

2.1 ANTECEDENTES

Antecedentes de Métodos de Pruebas de Colectores Solares Planos

Hottel (1998) presento un método para estimar la radiación solar directa transmitida a través de atmosferas despejadas. El método toma en cuenta el ángulo central θ_2 y la altitud para una atmosfera estándar. También presenta factores de corrección para climas del tipo: tropical, verano de latitud media, verano subartico e invierno de latitud media. Con este método la radiación transmitida para la atmosfera estándar puede ser determinada para cualquier ángulo central y para una altitud de hasta 2.5 km.

Corona (1984) desarrollo un método para obtener una función anual que permite aproximar a una función una serie de Fourier a la radiación global y a la temperatura ambiente. El autor concluyo que el método presenta excelentes resultados para series anuales de datos diarios de irradiación solar global y de temperatura ambiente media, máxima y mínima; encontraron una diferencia entre la radiación anual medida y la radiación solar anual calculada del $\pm 1.4\%$.

Moriarty (1991) utilizo datos meteorológicos y de radiación solar para desarrollar un sistema para estimar la radiación solar global, difusa y directa. El principal objetivo de Moriarty fue estudiar los efectos de días nublados, los cuales fueron tratados utilizando técnicas de regresión. El autor concluyo que el sistema desarrollado para estimar la radiación solar horaria o instantánea directa o difusa presenta una buena aproximación principalmente para la radiación solar global.

El Nashar (1991) presentaron un trabajo acerca del diseño, construcción y evaluación de un sistema para la normalización de los sistemas solares. El sistema tiene como finalidad comparar simultáneamente el funcionamiento de dos colectores solares que utilizan un mismo líquido como transferencia de calor, evaluando la eficiencia térmica individualmente de cada colector de cada colector aplicando la norma ANSI/ASHRAE93-77. En el trabajo se evaluó la constante del tiempo, La eficiencia térmica y la constante del ángulo modificado del ángulo de Eficiencia solar.

2.1.1 Simuladores para estudio de Disponibilidad del Recurso Solar y Cálculo de Parámetros en Colectores Solares

El lenguaje de programación MATLAB es la herramienta de simulación Más empleada hoy en día en el ámbito de la ingeniería y las comunicaciones Entre otros. Su utilización permite emular con un alto grado de realismo el Comportamiento físico de señales y sistemas mediante la elaboración de un Código de programación que se ejecuta y permite visualizar los resultados que se obtendrían de una forma real sin necesidad de implementar el sistema materialmente.

El Lenguaje de Programación TRNSYS es un programa de simulación que se utiliza principalmente en los campos de la Ingeniería de las Energías renovables y la simulación de Sistemas solares pasivos, así como el diseño solar activo. Uno de sus usos originales fue el de la realización de la simulación dinámica del comportamiento de un sistema de agua caliente solar para un año típico meteorológico.

2.2 CONTEXTO

En el año 2002, fue cuando se efectuó el proyecto de creación a la Universidad Tecnológica de Nuevo Laredo.

Su objetivo era proporcionar educación profesional a los jóvenes, de ambos sexos, con el afán de que se sumaran a la nueva etapa que vivía la ciudad, etapa en la que se exigen mayores conocimientos; y al mismo tiempo creación de nuevas oportunidades para que estos jóvenes se quedaran en el mismo puerto para engrandecer y modernizar la planta ya instalada y encontrar nuevas formas de progreso y bienestar.

La creación de la Universidad Tecnológica de Nuevo Laredo, no se realizó al azar, sino que especialistas trabajaron en un estudio de factibilidad que tuvo como propósito fundamental, de acuerdo con su pertinencia, la creación de esta institución educativa.

La Universidad Tecnológica de Nuevo Laredo (UTNL) ofrece las ingenierías en: Logística Internacional, en Desarrollo e Innovación Empresarial, en Mecatrónica y en Mantenimiento Industrial, además de ofrecer las carreras de Técnico Superior Universitario en: en Energías Renovables Área Calidad y Ahorro de Energía, en Mecatrónica Área Automatización, en Mantenimiento Área Instalaciones, en Operaciones Comerciales Internacionales en Clasificación Arancelaria y Despacho Aduanero, en Desarrollo de Negocios Área Logística y Transporte, y en Desarrollo de Negocios Área Mercadotecnia. Contando actualmente con 1,851 alumnos ofreciendo sus servicios desde el 2002

CAPITULO 3

3.0 OBJETIVO DEL PROYECTO

El propósito de este proyecto es el de tener un Simulador utilizado como herramienta visual y operativa para el análisis de los parámetros más importantes de un colector solar plano de tal forma que esta información nos permita tener un amplio panorama y así hacer la más correcta selección del mas adecuado en cuanto a materiales, dimensiones y posicionamiento para alcanzar su máxima eficiencia, a su vez con este simulador podremos estar realizando prácticas de laboratorio en los cuales estaríamos realizando cambios en las variables y ver diferentes resultados asi como gráficos que es una opción en el Matlab y así mejorar nuestro desempeño académico en la Universidad.

3.1 PROBLEMA

Descripción

Tomar una decisión en cuanto la selección del adecuado colector solar plano podría llegar a ser complicado si se hace en forma manual ya que llevaría más tiempo además de que las ecuaciones matemáticas utilizadas en algunos casos no son simples, El simulador en Matlab nos ahorra tiempo además de que podemos modificar fácilmente las variables de entrada y así visualizar en forma rápida como impactan en los parámetros de salida.

Otro factor importante a considerar sería la disponibilidad de los datos requeridos para los cálculos, muchos de ellos dependen del material con que se fabrica el colector o sea hablamos de la conductividad térmica, la emisividad, el índice de refracción del vidrio, etc.

El no tener esos datos disponibles podría complicar nuestra eficiencia en la realización de los cálculos.

Es importante también considerar el tener un banco de pruebas en el colector el cual incluya todos aquellos dispositivos de medición necesarios tales como el Piranometro, el medidor de gasto del fluido, manómetros, termómetros instalados estratégicamente, etc. Esto con el fin de tener los datos en tiempo y forma.

3.2 CONCEPTOS

Matlab es un potente programa con capacidad para resolver una amplia variedad de problemas importantes, al momento de ejecutar Matlab usted será capaz de realizar funciones básicas tales como sumas, restas, multiplicación y división. También trabaja como calculadora científica, maneja números complejos, raíces cuadradas, potencias, logaritmos y operaciones trigonométricas tales como seno, coseno, tangente. Análogamente como calculadora programable puede almacenar y recuperar datos; puede crear, ejecutar y guardar secuencias de órdenes para automatizar el cálculo de ecuaciones importantes; puede hacer comparaciones lógicas y controlar el orden en que se ejecutan las ordenes. De la misma forma que las calculadoras más potentes que hay disponibles, permite representar gráficamente los datos en una gran cantidad de formas, ejecutar algebra matricial, manipular polinomios, integrar funciones, manipular simbólicamente ecuaciones.

En realidad Matlab ofrece mucho más características y es mucho mas versátil que cualquier calculadora, Matlab es una herramienta para hacer cálculos matemáticos, Matlab es un Lenguaje de programación amigable al usuario con características más avanzadas y fácil de usar, Matlab proporciona un entorno rico para la visualización de datos a través de sus poderosas capacidades graficas. Matlab es una plataforma de desarrollo de aplicaciones donde conjuntos de herramientas inteligentes para la resolución de problemas en Áreas de aplicación específica.

CAPITULO 4

4.0 JUSTIFICACION

El uso de Matlab como simulador facilita la obtención de los parámetros deseados evitando las exhaustivas operaciones manuales y haciendo más eficiente el sistema de cálculos además de poder hacer cambios rápidos en el diseño y ver resultados y gráficos en forma instantánea siendo mas efectivos asi en la toma de decisiones.

Seleccionar el Colector Solar Plano adecuado requiere aparte de del Estudio Experimental una herramienta con la cual podamos realizar simulación cambiando los Parámetros de entrada y encontrar con la ayuda del simulador que resultados tenemos en los parámetros de salida importantes que nos permita en forma rápida realizar los cálculos y tomar la correcta opción del colector solar plano necesario según el proyecto a realizar.

4.1 HIPOTESIS

El desarrollo de un Simulador facilitara los cálculos de los parámetros relacionados en el diseño de los colectores solares planos de tal forma que nos facilitara la selección del más adecuado dependiendo del proyecto en el cual se requiere agua caliente.

El simulador también ayudara a los alumnos de la Universidad en sus prácticas de Laboratorio haciéndolos más eficientes.

CAPITULO 5

DESARROLLO Y METODO

5.1.- Obtención de Datos para la Realización de Proyecto

Iniciamos con la obtención de parámetros básicos del medio ambiente utilizando la estación meteorológica de la Universidad tenemos la Temperatura Ambiente, La velocidad del viento ,La Temperatura de Entrada, El Flujo de entrada del agua al colector y el ángulo de incidencia recomendado que es el ángulo de la Latitud de Nuevo Laredo.



Fig. 1 Muestra de colector plano y parametros

Las mediciones interiores tales como los diámetros de tubos, distancia entre centros, ancho, longitud de la placa etc. Se obtuvieron con herramientas de medición disponibles en la Universidad.

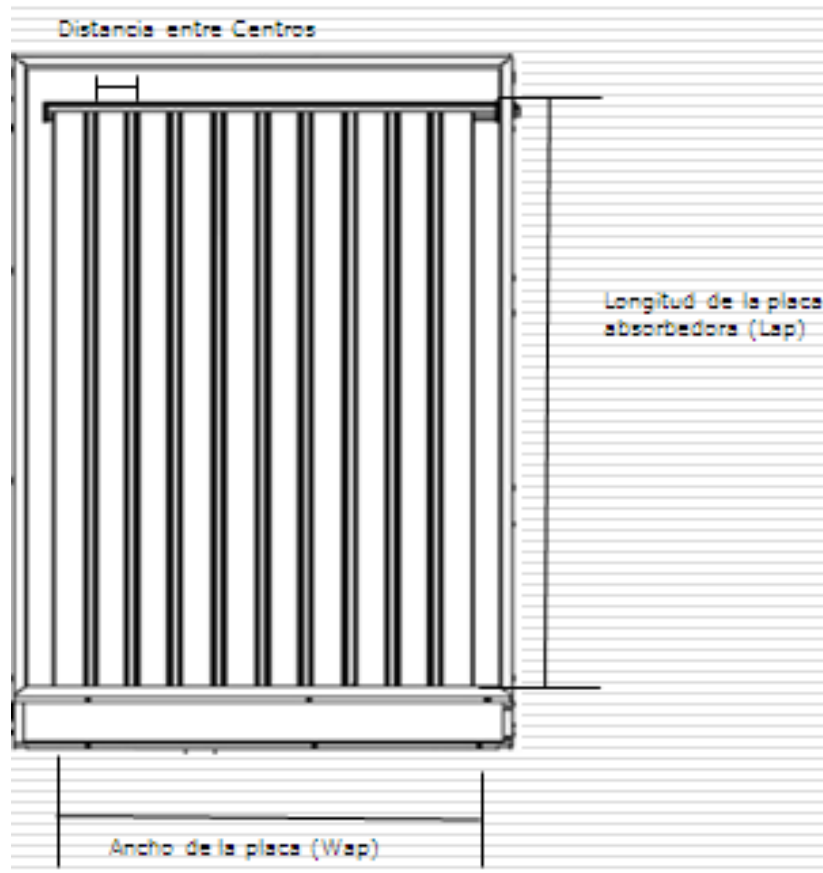


Fig. 2 Vista interna de colector solar plano y parámetros

Finalmente tomamos los datos finales necesarios para ser utilizados en el formulario que se introducirá al programa Matlab.

Los datos de radiación directa y difusa se obtuvieron tomando en cuenta el Historiales del programa Meteonorm de los últimos 5 años considerando el día 15 de Mayo que fue el que elegimos para el estudio.

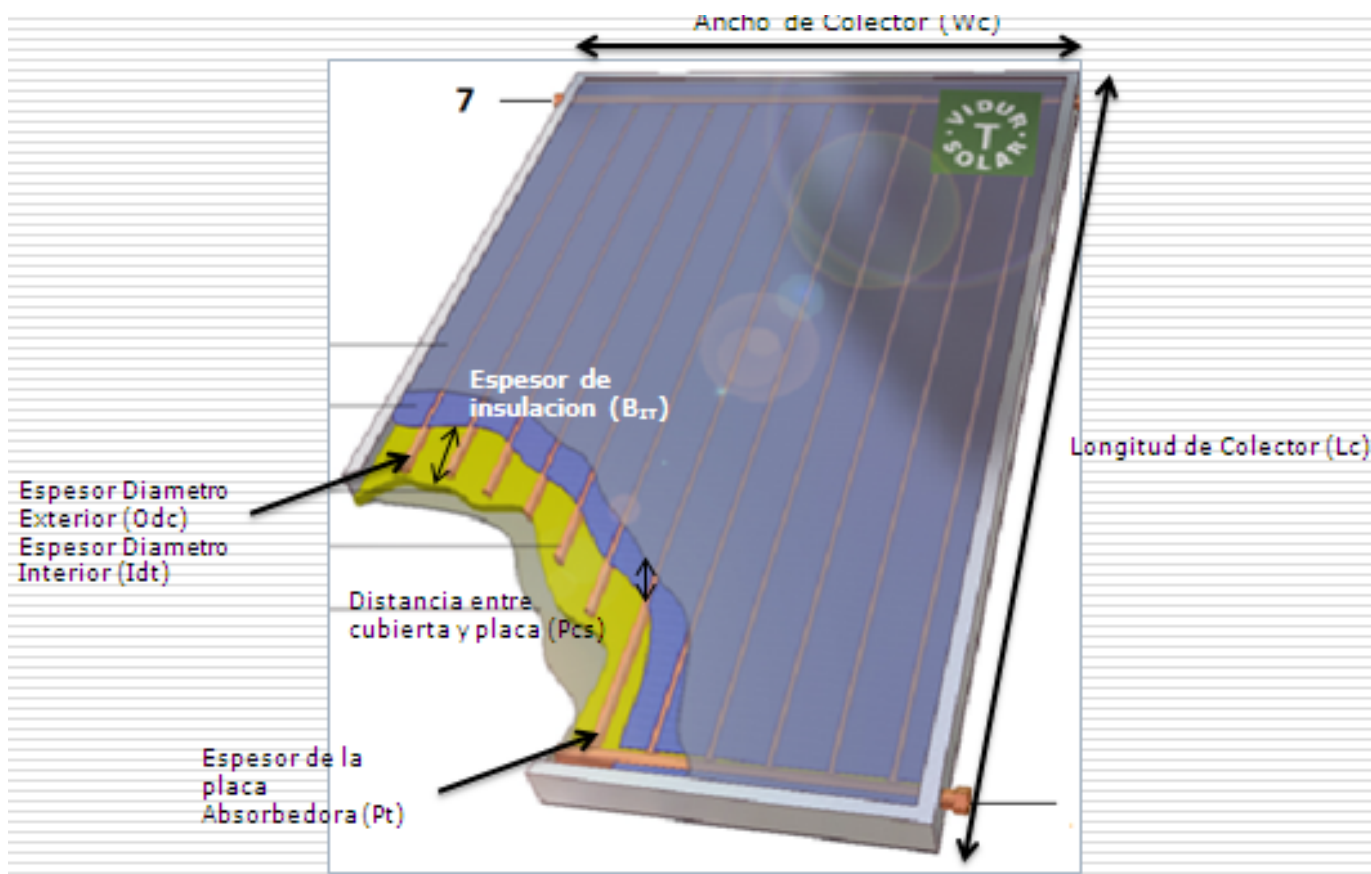


Fig. 3 Muestra de colector plano seccionado y parámetros

Ya obteniendo los datos de medición, con instrumentos de medición obtuvimos de tablas algunos parámetros importantes tales como la conductividad térmica de la placa absorbadora, el índice de refracción del vidrio, La emisividad/absorvancia de la cubierta de vidrio, conductividad térmica del aislante.

5.1.1 Relación de Datos capturados y nomenclatura en Matlab.

Para las variables necesarias para la obtención de los Parámetros importantes en el diseño del colector solar plano.

Datos:

Longitud del Colector (**Lc**) 2.48 mts.

Ancho del Colector (**Wc**) 1.225 mts.

Longitud de la Placa Absorbedora . (**Lap**)- 2.415 mts.-

Ancho de la Placa Absorbedora. (**Wap**) -1.03.-

Espacio entre placa y Cubierta. (**Pcs**)- 3 cms.-

Conductividad Térmica de la Placa Absorbedora. (**TCpm**) - 35 watts/mt-°C .-

Espesor de la Placa Absorbedora. (**Pt**)- 1 mm.-

Absorbancia/Emisividad de la Placa Absorbedora.(**Pac**)- 0.95.-

Diametro Exterior del Tubo. (**Odt**)- 12.7 mm.-

Diametro Interior del Tubo (**Idt**)- 8.7 mm.-

Distancia entre centros de los Tubos (**Tccd**)- 8 cms.-

Emisividad /Absorbancia de la Cubierta de Vidrio.(**Gcea**)- 0.88.- K_{dc}- 0.524

Índice de Refracción del vidrio en relación con el aire. (**Rigra**)- **1.526**.-

Fecha.- Mayo 15 del 2013

Hora.- 11 am

Angulo del Colector.- 27.5°N (Latitud de Nuevo Laredo Tamaulipas)

Angulo de la Superficie Azimutal. **Ib Saa**- 0 °.-

Radiación Directa.- 900 W/mt².-

Radiación Difusa Uniformemente Distribuida en el Cielo. (**Id**)- 180W/mt².-

Coefficiente de Transferencia de Calor del agua. (**Hf**) - 205 W/mt²- °C.-

Rate del Flujo de Agua. .- (**Fceht**)- 70 Kg/h

Temperatura Ambiente. (**Tamb**)- 25 °C.-

Temperatura del agua en el interior de los tubos(**Wit**)- 60 °C.-

Velocidad del viento. (**Ws**) - 3.1 mt/seg.-

Espesor del aislante en la parte trasera. **(Bit)**- 2.5 cm.-

Conductividad Térmica de el aislante (**Itc**).- 0.04 W/mt- °C.-

Asumir que el coeficiente de pérdidas de los lados es el 10% de el coeficiente de Pérdidas de la parte de abajo.- **Slc=0.1 Slb**

5.1.2 Formulas Capturadas al Programa Matlab

A continuación se detallan la relación de formula introducidas y su descripción al programa Matlab con las cuales se podrán realizar las operaciones y obtener así los Parámetros necesarios para la selección y diseño del Colector solar plano.

$$\square \quad q_u = A_p s - q_l$$

En donde:

q_u = calor neto ganado

$A_p s$ = Flujo Solar Incidente Absorbido en la placa absorbidora

q_l = rango de las perdidas de calor por convección y radiación desde la parte de arriba y por conducción y convección desde la parte de abajo y los lados.

$$\square \quad I_t = I_b r_b + I_d r_d + [I_b + I_d] r_r$$

En donde:

I_t = Flujo total incidente sobre la cubierta

I_b = radiación directa

r_b = Incidencia directa solar en el colector

I_d = Incidencia solar difusa en el colector

r_d = Incidencia difusa

r_r = Incidencia total

$$\square \quad S = I_b r_b [\tau \alpha]_b + (I_d r_d + [I_b + r_d] r_r) [\tau \alpha]_d$$

En donde:

S = Flujo solar incidente absorbido en la placa

I_b = radiación directa

r_b = Incidencia directa solar en el colector

$[\tau \alpha]_b$ = producto de la transmitividad absorbancia de la radiación difusa que cae sobre el colector

$$\square \quad \tau = \tau_r \tau_a$$

En donde:

τ = transmisividad en el sistema de la cubierta

τ_r = transmitancia obtenida considerando solamente la refraccion y la reflexion.

τ_a = transmitancia obtenida considerando solamente la absorcion.

$$\square \quad \text{sen} \theta_1 / \text{sen} \theta_2 = n_2 / n_1$$

En donde:

θ_1 = Angulo de incidencia

θ_2 = Angulo de refraccion

n_2 / n_1 = Indice de refraccion de los dos medios

$$\tau_r = \frac{1}{2} [\tau_{rI} + \tau_{rII}]$$

En Donde:

τ_r = Transmitancia considerando los componentes de polarización de un punto incidente en una cubierta sencilla

$$\tau_{rI} = \frac{1 - \rho_I}{1 + (2M - 1)\rho_I}$$

En Donde:

M = Cantidad de cubiertas

$$\tau_{rII} = \frac{1 - \rho_{II}}{1 + (2M - 1)\rho_{II}}$$

$$\tau \propto e^{\frac{-k\delta}{\cos\theta^2}}$$

En donde:

k = Coeficiente de extinción del material depende de la calidad del vidrio.

$$q_l = U_l A_p (T_{pm} - T_\alpha)$$

En donde:

q_l = Perdas totales en el colector

U_l = Coeficiente de perdidad totales

T_{pm} = Temperatura promedio del plato absorbedor

T_{pm} = Temperatura del aire atrapado en la colector.

$$q_l = q_t + q_b + q_s$$

En donde:

q_t = Perdas en la parte superior

q_s = Perdidad en los lados

q_b = Perdas en la parte de abajo del colector.

$$q_t = U_t A_p (T_{pm} - T_\alpha)$$

$$q_b = U_b A_p (T_{pm} - T_\alpha)$$

$$q_s = U_s A_p (T_{pm} - T_\alpha)$$

$$U_l = U_t + U_b + U_s$$

$$\square \quad F' = \frac{1}{WU_i \left(\frac{1}{U_i(W-D_o)\phi + D_o} + \frac{\delta\alpha}{K\alpha D_o} + \frac{1}{\pi D_i h_f} \right)}$$

En donde:

F' = Rango de la ganancia neta actual por tubo y por unidad de longitud.

$\delta\alpha$ = Promedio del espesor del adhesivo.

$K\alpha$ = Conductividad termica del adhesivo.

h_f = Coeficiente de transferencia de calor en la superficie del tubo.

$$\square \quad F_R = \frac{\dot{m}C_p}{U_i A_p} \left(1 - \exp \left[\frac{F' U_i A_p}{\dot{m}C_p} \right] \right)$$

5.2 Introducción de datos y corrida en MATLAB

El proyecto se desarrollo introduciendo en Matlab todas las formulas necesarias para realizar los cálculos de los Parámetros mas importantes relacionados con un Colector Solar Plano con la intención de que en un futuro tengamos en la Institución un banco de Pruebas en donde podamos colector la información necesaria a través de una estación meteorológica, Un Piranometro, Termómetros, Medidores de Caudal etc., con la Finalidad de estar moviendo las variables y ver

que resultados tenemos con la intención de realizar y mejorar los diseños de los colectores solares hechos por alumnos de la Institución u otros investigadores.

A continuación presentamos un ejemplo en el cual se realizan en forma automática los cálculos de los siguientes parámetros ya utilizando el simulador en Matlab.

- 1).- El Angulo de Incidencia de la Radiación Directa

- 2).- El Total de Flujo Incidente sobre el Colector
- 3).- Transmitancia-Absorbancia por Radiación Directa
- 4).- Transmitancia-Absorbancia por Radiación Difusa
- 5).- El Factor de calor removido del colector y el factor de perdidas totales
- 6).- La temperatura de Salida del agua
- 7).- La Eficiencia Instantánea del Colector

```

Lc=2.40; % Longitud del Colector%
Wc=1.235; % Ancho del Colector%
Lap=2.415;0.1:10; %Longitud del plato absorbedor%
Wap=1.03; %Ancho del plato absorbedor%
Pcs=0.03; %Espacio entre cubierta y plato en m%
Sbc=.025; %Espacio entre cubiertas%
Tpm1=372; %Conductividad Termica del plato%
Pt=.001; %Espesor del plato%
Pae=.95; %absorcion/emisividad del plato%
Odt=.127; %diametro exterior del tubo%
Idt=.087; %diametro interior del tubo%
Tccd=.08; %distancia entre centros de los tubos%
GCea=0.88;%absorcion/emisividad de la cubierta de vidrio%
Kdc=0.0524; %Factor K por plato%
RIgra=1.526;%Indice de refraccion del vidrio con relacion al aire%
LCn=18.53; %localizacion del colector norte%
Lce=73.85; %localizacion del colector este%
Time=11; %Tiempo%
Ct=0; %Inclinacion del colector%
Saa=0; % superficie acimuth%
Ib=565; %radiacion directa%
Id=230;%radiacion difusa%
Ar=0; %resistencia adhesiva%
hf=.1; %coeficiente de transferencia del calor al fluido%
Wfr=70; %Caudal de agua kg/hr%
Wit=60;%Temperatura del agua al entrada%
Bit=.05;%Espesor de insulacion%
Tic=0.04; %Conductividad termica de la insulacion%
SLC=0.1*10;
P6=0.22;
ai2=60;
U1=4;
Cp=4.18;
sigma=5.67e-8;
D=23.45*sind((360/365)*(284+135));%Angulo de incidencia%
Lat=Time-(4*(32.5-73.85)+(2.6));%Latitud%
w=(32/60)^15;
costetha=(sind(D)*sind(Saa))+(cosd(D)*cosd(w)*cosd(Saa));
tetha=acosd(costetha);
rb=(costetha)/((sind(D)*sind(LCn))+(cosd(D)*cosd(LCn)*cosd(w))); %Incidencia solar en el
colector%
rd=(1+cosd(LCn))/2;
rr=0.2*((1-cosd(LCn))/2);
It=(Ib*rb)+(Id*rd)+((Id+Ib)*rr);
ai=tetha; %angulo de incidencia%
ar=asind((sind(tetha))/RIgra);%angulo de refraccion%
PI=(sind(ai-ar))^2/(sind(ai+ar))^2;
PII=(tand(ai-ar)^2)/(tand(ai+ar)^2);
TrI=(1-PI)/(1+(3*PI));

```

```

TrII=(1-PII)/(1+(3^PII));
Tr=0.5*(TrI+TrII);
Ta=exp((-Kdc^2)/cosd(ar));
T=Tc*Ta;
Talphab=(T*Pac)/(1-((1-Pac)*Pd));
df=asind(sind(ai2)/Rlgra);%radiacion difusa%
PI2=(sind(ai2-df))^2/(sind(ai2+df))^2;
PII2=(tand(ai2-df)^2)/(tand(ai2+df)^2);
TrI2=(1-PI2)/(1+(3^PI2));
TrII2=(1-PII2)/(1+(3^PII2));
Tr2=0.5*(TrI2+TrII2);
Ta2=exp((-Kdc^2)/cosd(df));
T2=Tr2*Ta2;
Talphad=(T2*Pac)/(1-((1-Pac)*Pd));
S=(Ib*rb*Talphab)+((Id*rd)+((Ib+Id)*rr))*Talphad;%incidente de absorcion de flujo%
m=(U1/(Tpm*PL))^0.5;%Asumiendo Como 4 W/m2-C el coeficiente global de perdidas
x=(m*(Tc2-Odt))/2;%De la Ec. 4.37
Ephi=tanh(x)/x;%efectividad%
F=1/((Tc2*U1)*((1/(U1*((Tc2-Odt)*Ephi)+Odt)))+(1/(pi*Tdt*hc))));%Factor de eficiencia%
del colector%
x1[0:.01:1]
Fr=(x1./U1)*(1-(exp(-(U1*F./x1))));%Factor de calor removido del colector%
qu=(Fr*Lap)*(S-(U1*(Wit-Tam)));%Calor ganado%
ql=(S*Lap)-qu;
Tpm=((ql/(U1*Lap))+Tam)+273;%Grados Kelvin
Tsky=(Tam+273.2)-6;
Tc1=331;
Tc2=310;
MT=(Tpm+Tc1)/2;%Temperatura promedio%
v=19.56;
Pr=0.595;
g=9.81;
RalcosB=(g)*(1/MT)*(((Tpm-Tc1)*Sbc^3)/((v^2)*1e-12))*(Pr)*(cosd(LCn));
Nul=0.229*(RalcosB^0.252);
hpc1=Nul*(k/Pcs);
MT2=(Tc1+Tc2)/2;
k2=0.0281;
v2=17.68;
Pr2=0.698;
RalcosB2=(g)*(1/MT2)*(((Tc1-Tc2)*Sbc^3)/((v2^2)*1e-12))*(Pr2)*(cosd(LCn));
Nul2=0.229*(RalcosB2^0.252);
hpc2=Nul2*(k2/Pcs);
MT3=(Tc2+(Tam+273.2))/2;
p=1.162;
Cp1=1.005;
v3=16.09;
Pr3=0.701;
I=(4*Tc*Wc)/(2*(Tc+Wc));
Rel=(Ws*I)/(v3*1e-6);
j=0.85*(Rel)^-0.5;

```

```

hw-j*p*Cpl*Ws*1e3*(Pr3)^(2/3);
x3=187.74;
UL=x3/(Tpm-(Tam+273.2));
Ub=Ttc/Rit;
Us=0.08;
U12=Ut+Ub+Us;
m2=(U12/(Tpm1*Pt))^0.5;%Considerando U1 ya calculado
x4=(m2*(Tecd-Odt))/2;
Ephi2=1-tanh(x4)/x4;
F2=1/((Tecd*U12)*((1/(U12*((Tecd-Odt)*Ephi2)+Odt)))+(1/(pi*Idt*hf)));
Fr2=(x1/U12)*(1-(exp(-(U12*F2/x1))));
qu2=(Fr2*Lap)*(S-(U12*(WiL-Tam)));
q12=(S*Lap)-qu2;
Tpm2=((q12/(U12*Lap))+Tam)+273;%Grados Kelvin
TfC=((q12*(3600/1000))/(Cp*Wfr))+60+273;
Ni=qu2/(It*Lap)
N-Ni=100

```

CAPITULO 6

6.0 RESULTADOS

Se enlistan los resultados obtenidos al correr las variables de Entradas con el Simulador en Matlab.

Prueba 1.- Se Simulo un Colector Solar Plano con los datos anteriormente listados de placa absorbadora de cobre cuya constante de conductividad térmica es de 372.1 Watts/m °C

Resultados:

- 1.- Angulo de Incidencia.- θ .- 29.3 °
- 2.- Total de Flujo Incidente en el Colector.- I_t .- 852.71Watts/mt²
- 3.- Absorbencia - Transmitancia Directa.- $\phi\alpha_b$.- 0.726
- 4.- Absorbencia-Transmitancia Difusa.- $\phi\alpha_d$.- 0.64
- 5.- Flujo Incidente absorbido por la Placa Absorbedora.- S .- 599.82 Watts/mt²
- 6.- Factor de Calor Removido.- q_u .- 628.94 Watts
- 7.- Coeficiente de Perdidas de Calor Totales.- q_l .- 270.99 Watts
- 8.- Temperatura a la salida del Colector.- T_{fo} .- 337.1 °K
- 9.- Eficiencia Instantánea.- η .- 44.17%

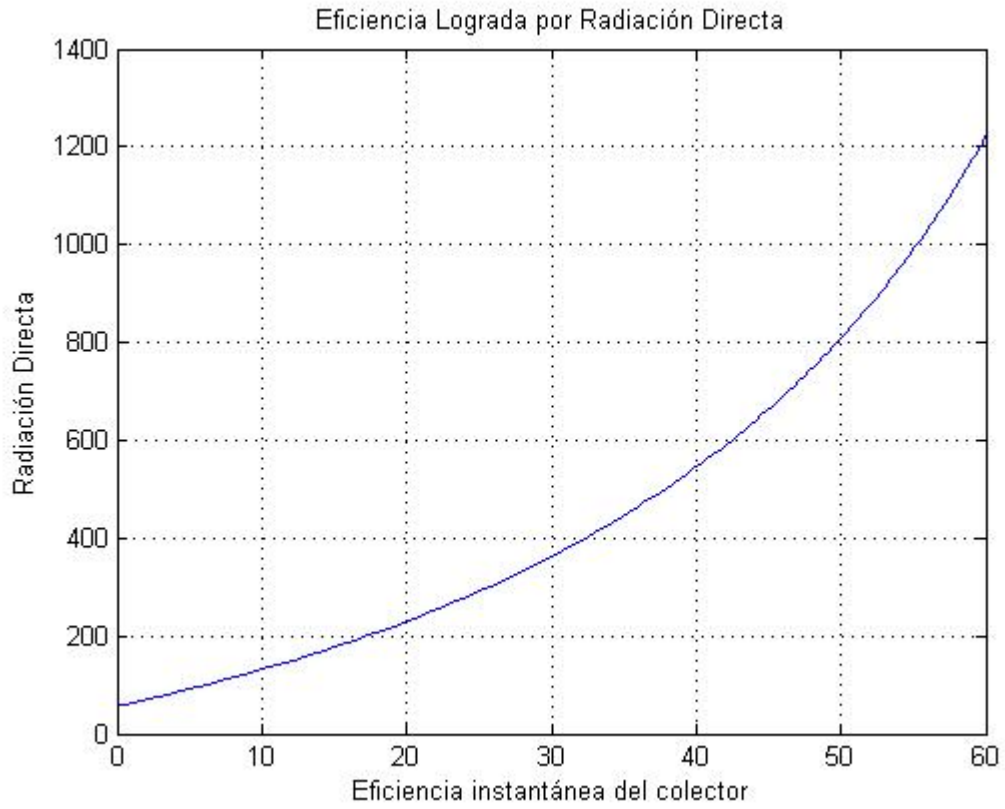
Prueba 2.- Se Simulo un Colector Solar Plano con los datos anteriormente listados de placa absorbadora de PVC cuya constante de conductividad térmica es de 0.12 Watts/m °C

Resultados:

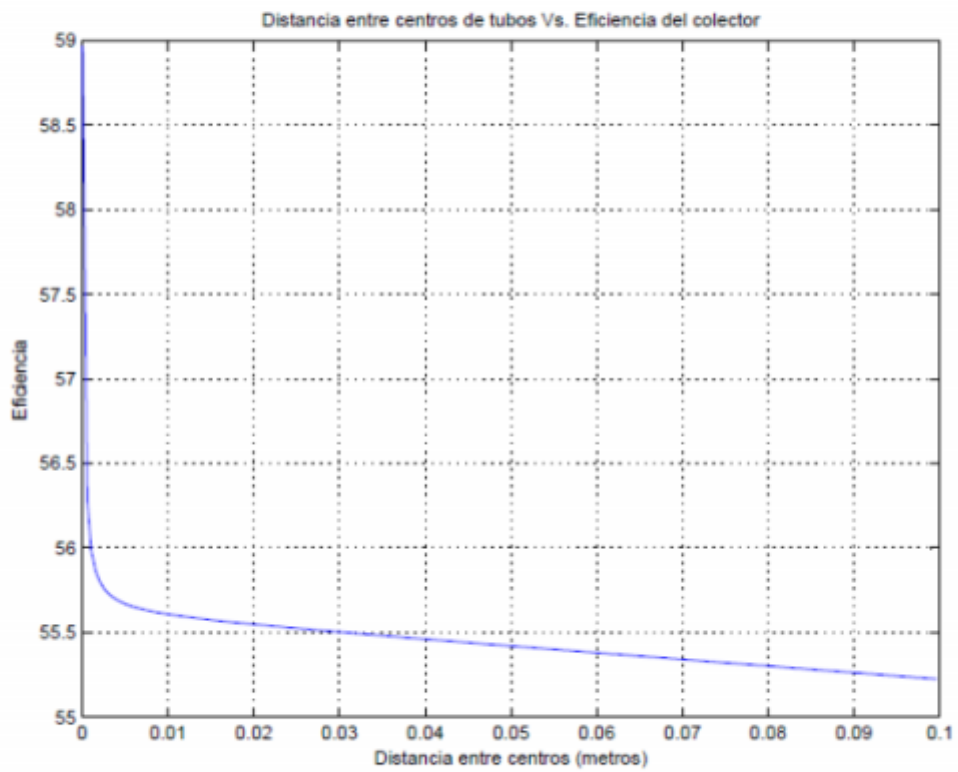
- 1.- Angulo de Incidencia.- θ .- 29.3 °
- 2.- Total de Flujo Incidente en el Colector.- I_t .- 852.71Watts/mt²
- 3.- Absorbencia-Transmitancia Directa.- $\phi\alpha_b$.- 0.726
- 4.- Absorbencia-Transmitancia Difusa.- $\phi\alpha_d$.- 0.64
- 5.- Flujo Incidente absorbido por la Placa Absorbedora.- S .- 599.82 Watts/mt²
- 6.- Factor de Calor Removido.- q_u .- 171.34 Watts
- 7.- Coeficiente de Perdidas de Calor Totales .- q_l .- 728.41 Watts
- 8.- Temperatura a la salida del Colector.- T_{fo} .- 341.41 °K
- 9.- Eficiencia Instantánea.- η .- 16.8%

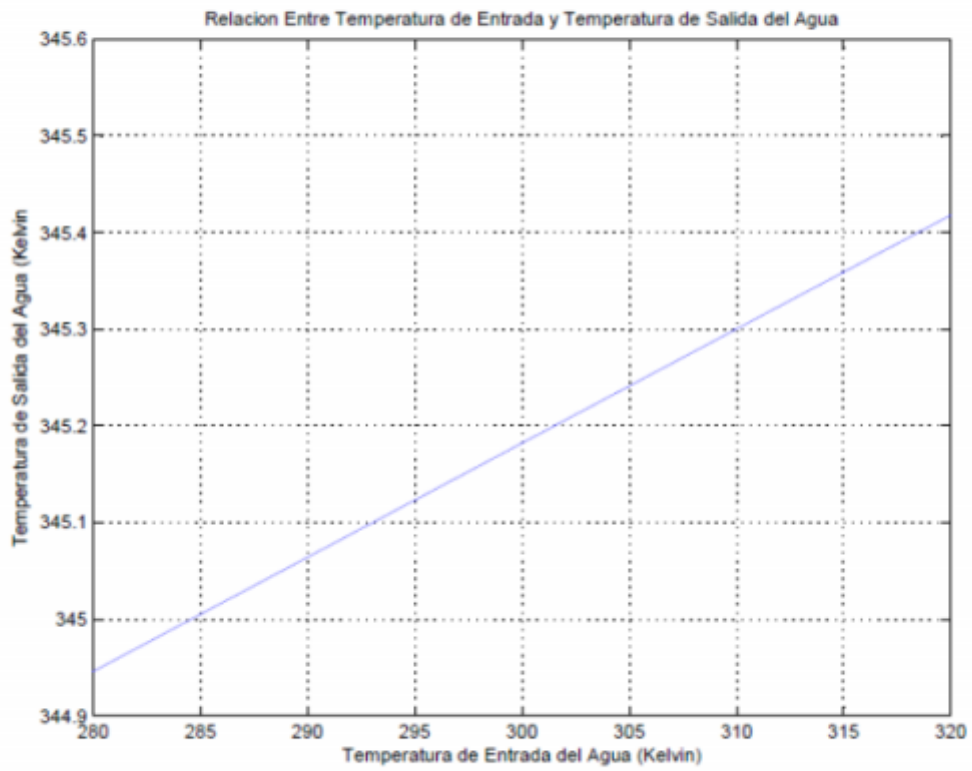
Nótese que la Eficiencia Instantánea bajo considerablemente con el material PVC esto debido a la conductibilidad térmica que tiene el PVC con respecto a otros materiales como el Cobre y el Aluminio.

6.1.- Comportamiento de la Eficiencia Colector con la Variación de la Radiación Solar Directa

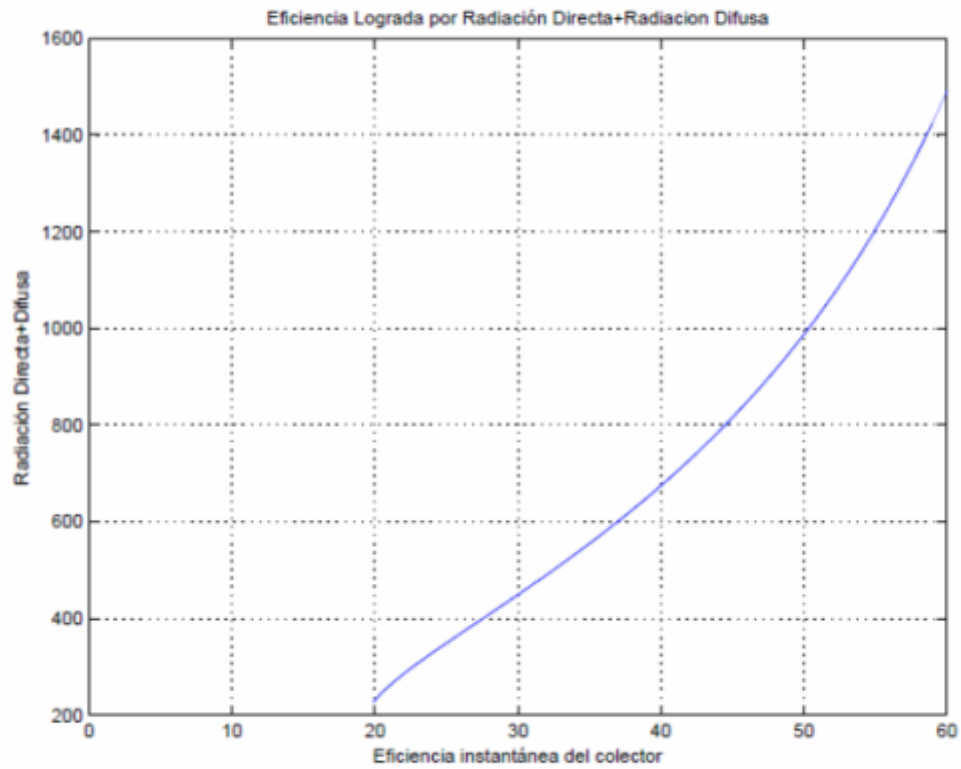


Comportamiento de la Eficiencia del Colector considerando la distancia entre centros de los tubos





Comportamiento de la Eficiencia del Colector con la Radiación Total recibida



CAPITULO 7

7.0 CONCLUSIONES

Podemos decir que utilizando este simulador tendremos una gran oportunidad de ser eficientes en nuestras investigaciones que realizamos en los campos del aprovechamiento del recurso solar para colectores solares planos, ya que dada la gran cantidad de parámetros que influyen en el desempeño del colector ya que dichos parámetros pueden ser de diseño, operacionales, meteorológicos y de medio ambiente.

Los efectos de estos parámetros deben ser considerados para la selección de la placa absorbadora, el numero de cubiertas de vidrio, el espacio entre las cubiertas,, el Angulo de instalación del colector, La temperatura de entrada del fluido, El Flujo de incidencia solar dependiendo de la época del año y el acumulamiento de polvo en la parte superior del colector entre otros.

Complementando el simulador se requiere también la creación de un banco de pruebas ya integrando una estación meteorológica e instrumentos de medición importantes tales como el Piranometro y el medidor de Flujo con los cuales obtendríamos datos interesantes dentro del diseño del colector.

Dentro de Matlab tenemos también la opción de Simulink el cual al correrlo podríamos también tener gráficos de tendencia importantes cuando cambiamos algún parámetro ya sea dimensional o de material que nos ayudaría a tomar la mejor decisión cuando tratamos de encontrar el colector adecuado según el proyecto en el que estemos trabajando.

Algo importante también sería relacionar este simulador con otros que existen en mercado como Trnsys y estudiar posibles diferencias esto con el fin de que la información obtenida no tenga grandes diferencias y si es así encontrar la causa.

Se concluye también de que este simulador es muy importante para el desarrollo de los alumnos de la carrera de energías renovables dado de que a la vez que el alumno desarrolla sus prácticas se relaciona con parámetros importantes que utilizara durante toda su formación académica y profesional.

Es evidente que un gran número de parámetros influyen en el desempeño de un colector solar plano .Estos parámetros pueden clasificarse como parámetros de diseño. Parámetros operacionales, parámetros meteorológicos y parámetros ambientales. Los parámetros en discusión son la selección de la placa absorbadora, el número de cubiertas de vidrio, el espacio entre las cubiertas, el ángulo de instalación del colector, la temperatura de entrada del fluido, el flujo solar incidente y el acumulamiento de polvo en la cubierta de vidrio.

7.1 Tablas de Referencias

Tabla. 1 de Valores de Emisividad de materiales comunes

Material	Emisividad
Aluminio, pulido	0,05
Aluminio, superficie rugosa	0,07
Aluminio, muy oxidado	0,25
Placa de amianto	0,96
Tela de amianto	0,78
Papel de amianto	0,94
Pizarra de amianto	0,96
Latón, mate, deslustrado	0,22
Latón, pulido	0,03
Ladrillo, común	0,85
Ladrillo, vidriado, basto	0,85
Ladrillo, refractario, basto	0,94
Bronce, poroso, basto	0,55
Bronce, pulido	0,1
Carbono, purificado	0,8

Hierro fundido, fundición esbozada	0,81
Hierro fundido, pulido	0,21
Carbón, en polvo	0,96
Cromo, pulido	0,1
Arcilla, cocida	0,91
Hormigón	0,54
Cobre, pulido,	0,01
Cobre, bruñido comercial	0,07
Cobre, oxidado	0,65
Cobre, negro oxidado	0,88
Cinta aislante, plástico negro	0,95
Esmalte **	0,9
Formica	0,93
Terreno congelado	0,93
Vidrio	0,92
Vidrio, escarchado	0,96
Oro, pulido	0,02
Hielo	0,97

Hierro, laminado en caliente	0,77
Hierro, oxidado	0,74
Hierro, chapa galvanizada, bruñido	0,23
Hierro, chapa, galvanizado, oxidado	0,28
Hierro, brillante, grabado	0,16
Hierro, forjado, pulido	0,28
Barniz, Bakelite	0,93
Barniz, negro, mate	0,97
Barniz, negro, brillante	0,87
Barniz, blanco	0,87
Hollín	0,96
Plomo, gris	0,28
Plomo, oxidado	0,63
Plomo, rojo, en polvo	0,93
Plomo, brillante	0,08
Mercurio, puro	0,1
Níquel, en hierro fundido	0,05
Níquel, puro pulido	0,05
Pintura, acabado en plata**	0,31

Pintura, óleo, media	0,94
Papel, negro, brillante	0,9
Papel, negro, mate	0,94
Papel, blanco	0,9
Platino, puro, pulido	0,08
Porcelana, vidriada	0,92
Cuarzo	0,93
Goma	0,93
Laca, negra, mate	0,91
Laca, negra, brillante	0,82
Nieve	0,8
Acero, galvanizado	0,28
Acero, muy oxidado	0,88
Acero, recién laminado	0,24
Acero, superficie rugosa	0,96
Acero, rojo oxidado	0,69
Acero, chapa, niquelado	0,11
Acero, chapa, laminado	0,56

Papel de alquitrán	0,92
Estaño, bruñido	0,05
Tungsteno	0,05
Agua	0,98
Cinc, chapa	0,2

Las emisividades de casi cualquier material se miden a 0 °C pero no difieren significativamente a Temperatura ambiente.

**La pintura con acabado en plata se mide a 25 °C y la pintura de esmalte a 27 °C.

Tablas. 2 de Conductividades térmicas de diversos materiales en $W/(K \cdot m)$

Material	λ
Aire	0,02
Corcho	0,03-0,04
Fibra de vidrio	0,03-0,07
Amianto	0,04
Madera	0,13
Alcohol	0,16
Parafina	0,21
Glicerina	0,29
Mica	0,35
Ladrillo refractario	0,47-1,05
Agua	0,58
Vidrio	0,6-1,0
Tierra húmeda	0,8
Ladrillo	0,80
Zinc	106-140
Bronce	116-186
Aluminio	209,3
Titanio	21,9

Alpaca	29,1
Litio	301,2
Oro	308,2
Plomo	35,0
Cobre	372,1-385,2
Plata	406,1-418,7
Acero	47-58
Níquel	52,3
Estaño	64,0
Hierro	80,2
Latón	81-116
Mercurio	83,7

Tabla. 3 de índices de refracción (para $\lambda = 589 \text{ nm}$)

Sustancia	n
Vacío	1.000
Aire (0 °C, 1 bar)	1.000
1-butanol (20 °C)	1.399
Acetaldehído	1.350
Acetona	1.360
Agua (20 °C)	1.333
Alcohol etílico (etanol)	1.361
Ambar	1.550
Arseniuro de galio(III)	3.927
Benceno (20 °C)	1.501
Cloroformo	1.480
Cloruro sódico (sal común)	1.544
Criolita	1.338
Cuarzo	1.544
Diamante	2.417
Dióxido de carbono	1.000
Disulfuro de carbono	1.630
Fluorita	1.430
Fosfuro de galio(III)	3.500
Glicerina (glicerol)	1.473

Helio	1.000
Heptanol (25 °C)	1.423
Hidrógeno	1.000
Hielo	1.309
Metacrilato	1.491
Metanol (20 °C)	1.329
PET	1.580
Policarbonato	1.585
Silicio	4.010
Teflón	1.360
Tetracloruro de carbono	1.460
Trementina	1.472
Vidrio Crown	1.520
Vidrio Flint denso	1.660
Vidrio Flint ligero	1.580
Vidrio Flint medio	1.620
Vidrio Pirex® (borosilicato)	1.470
Xileno	1.830
Zafiro	1.770
Zircón	1.923

REFERENCIAS

Agradecimiento por información obtenida en sus presentaciones a:

- [1] Matlab, Edición de Estudiante, Guía de usuario versión 4, Duane Houselman, Bruce Littlefield.
- [2] Solar energy engineering: processes and systems, Soteris Kalogirou, Academic Press, 2009.
- [3] ASHRAE Standard 93-77, 1977, "Methods of testing to determine the Thermal Performance of solar Collector "ASHRAE, Ney York, N.Y.
- [4] Bannister B. y Whitehead D., 1994, . "Instrumentación, Transductores e Interfaces" Addison Wesley Iberoamérica.
- [5] Commission of the European Communities, 1980, "Recommendations for European Solar Collector Test Methods ". U.K.
- [6] Chasseriaux, J.M., 1990," Conversión térmica de la Radiación Solar". Bordas, Paris.
- [7] Cora Placco, Luis Saravia, Carlos Cadena, 2008, Colectores solares para agua caliente Inenco, Unsa –Conicet, Argentina.
- [8] Duffie, J.A. and Beckman, W.A., 1991, "Solar Engineering of Thermal Processes ". Wyley, New York.
- [9] Linthorst, J.M., 1985, "Natural Convection Suppression in Solar Collector ". EFF, Holland,
- [10] NTP 399.400, 2001, Colectores Solares. Método de ensayo para determinar la eficiencia de los colectores solares, Lima Perú.

