

300618



UNIVERSIDAD LA SALLE

ESCUELA DE QUIMICA

INCORPORADA A LA U.N.A.M.

**ESTUDIO EXPERIMENTAL DE FLUIDO
NEGRO EN COLECTORES SOLARES**

TESIS PROFESIONAL

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE

INGENIERO QUIMICO

P R E S E N T A :

ROGELIO ARTURO BRETON GARCIA

MEXICO, D. F.

1994

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**



UNAM – Dirección General de Bibliotecas Tesis Digitales Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS © PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis está protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

Dedico esta tesis ...

**A mi querido padre,
*Arturo Bretón Estrada***

apoyo y maestro de mi vida.

**A mi amada madre,
*Ma. de la Luz García de Bretón***

**consejera inquebrantable en todos mis
momentos.**

**A mis queridas hermanas,
*Laura Cecilia y
Alicia Edith***

**con mis sinceros deseos de que
alcancen sus ideales.**

**A mi querido primo,
*Alonso Bretón Figueroa***

**hermano mayor y mi ejemplo a seguir,
gracias por tus consejos y apoyo.**

**A mi querida esposa,
*Rita Villa de Bretón***

gracias por tu apoyo.

**A mis queridas hijas,
*Luz Adriana y
Maricarmen***

todo mi amor.

A mi director de tesis,
Dr. Isaac Pilatowsky Figueroa

con una fraternal estimación,
profundo respeto y admiración.

A mi asesor de tesis,
Dr. Diego Alfonso Sámano Tirado

con todo mi reconocimiento, admiración
y agradecimiento.

Al Dr. Carlos F. Almada L.

quienes lo conocemos, nos
sentimos orgullosos de su amistad y
de ser mexicanos.

Al Lic. J. Mariano Carlón F.

además de haber sido mi jefe y maestro,
me distingues con tu generosa amistad.

Al Lic. J. Adalberto Castro C.

**jefe ejemplar, consejero y mi
amigo para siempre.**

Al Lic. Marco A. Zazueta Félix.

**que gracias a su invaluable apoyo pude
concluir este trabajo.**

A Martha Uribe Velasco.

que gentilmente me ayudo con
sus conocimientos secretariales.

A todos los Maestros forjadores de mi vida.

Con estimación y afecto a todos los
familiares y amigos de la familia
Bretón García.

Alguna vez me dijeron ...

" Siempre que puedas ayudar a alguien, hazlo, no importa que no te lo paguen nunca."
M.C.F.

" Siempre debo ser : atento, humilde y discreto."

A.C.C.

y no lo olvidaré.....

Rogelio A. Bretón G.

ESTUDIO EXPERIMENTAL DE FLUIDO NEGRO EN COLECTORES SOLARES.

CAPITULO I	INTRODUCCION
CAPITULO II	FLUIDO NEGRO
CAPITULO III	ESTUDIO EXPERIMENTAL
3.1	COLECTOR SOLAR PLANO
3.2	COLECTOR SOLAR EVACUADO
3.3	EQUIPO EXPERIMENTAL
CAPITULO IV	MODELO MATEMATICO
4.1	COLECTOR EVACUADO
CAPITULO V	RESULTADOS Y CONCLUSIONES
5.1	COLECTOR SOLAR PLANO
5.2	COLECTOR SOLAR EVACUADO
5.3	DISCUSION DE LOS RESULTADOS
ANEXOS	
BIBLIOGRAFIA	

NOMENCLATURA

α	= Absortividad
A	= Area
C	= Velocidad de la luz
C_p	= Calor específico
D	= Diámetro
D_e	= Diámetro externo
D_i	= Diámetro interno
ρ	= Densidad
E	= Energía
E_c	= Energía cinética
F	= Fuerza
ϵ_r	= Emisividad del fluido
f	= No. de Fanning
g	= Gravedad
I_λ	= Intensidad de la energía radiante
I	= Intensidad de radiación incidente (irradiancia)
λ	= Longitud de onda
l	= Longitud
•	
m	= Flujo másico
μ	= Viscosidad
η	= Eficiencia
P	= Presión
π	= 3.1415..
•	
Q_n, Q_u	= Calor neto (útil)
•	
Q_s	= Calor salida
•	
Q_E	= Calor entrada
ρ	= Densidad
ρ	= Reflectividad
Re	= No. de Reynolds
σ	= Constante de Stefan Boltzmann
T	= Temperatura
T_a	= Temperatura ambiente
T_e	= Temperatura entrada
T_f	= Temperatura promedio
T_s	= Temperatura salida
τ_v	= Transmitancia del vidrio
θ	= Angulo de inclinación
U	= Energía interna
V	= Velocidad
V_v	= Velocidad del viento
W	= Trabajo

I. MECANISMOS DE TRANSMISION DE CALOR.

I.1 ORIGEN DE LA ENERGIA RADIANTE.

I.1.1 DISTRIBUCION DE LA ENERGIA RADIANTE.

I.2 LA INCIDENCIA DE LA ENERGIA RADIANTE.

I.3 RELACION ENTRE EMISIVIDAD Y ABSORTIVIDAD.

I.3.1 METODO EXPERIMENTAL PARA DETERMINAR LA EMISIVIDAD.

I.3.2 INFLUENCIA DE LA TEMPERATURA EN LA POTENCIA EMISIVA.

I.4 ABSORCION DE RADIACION EN UN FLUIDO PARCIALMENTE TRANSLUCIDO

CAPITULO I

GENERALIDADES

INTRODUCCION

Desde el comienzo de los tiempos, el hombre se ha visto en la necesidad de emplear diferentes tipos de energía para satisfacer sus necesidades, por ejemplo, el hombre primitivo se vio en la necesidad de calentarse durante la noche en las épocas de invierno, para lo cual recurría a un maravilloso descubrimiento: el fuego, que es el resultado de la combustión de sustancias y que disipa energía calorífica como subproducto; de la misma forma podemos citar una infinidad de ejemplos similares, de los cuales tendrían como denominador común el hecho de llevar implícita una forma de energía. Lo que queremos hacer resaltar es que el hombre en todas sus épocas y etapas necesita y necesitará de alguna fuente de energía.

En la actualidad, la mayor parte de los recursos energéticos provienen de fuentes que presentan cierta problemática: Que casi en la totalidad son fuentes de recursos no renovables; que no todos los países cuentan con petróleo, carbón, madera etc...; que el recurso energético derivado de la combustión, genera daños al ecosistema, implicando gastos a futuro para remediar el mal, causado al medio ambiente y hasta la fecha no se han obtenido resultados alentadores; debido a la tala inmoderada de los bosques, la precipitación pluvial ha disminuido afectando la generación de energía eléctrica vía las plantas hidroeléctricas, además de que éste recurso no está disponible en muchas regiones de nuestro planeta; es muy costoso distribuir la energía a las zonas alejadas y de difícil acceso.

El agotamiento de las reservas y fuentes naturales de energía no renovables, conduce a prever, para un futuro próximo, la carencia total o parcial de las fuentes de energía con que contamos en la actualidad.

Por esta razón es que científicos y la sociedad en general han empezado a estudiar nuevas formas de energía buscando las más aceptables y eficientes posibles y así, frente a nosotros se presenta la alternativa: el sol que cada dos días nos ofrece una cantidad de energía accesible y gratuita, equivalente a las reservas conocidas de petróleo y gas del mundo, por ello no nos debe sorprender su "descubrimiento" y empleo en la actualidad.

Breve historia del presente trabajo.

Ante esa necesidad de cubrir los requerimientos energéticos, pensamos desarrollar el presente trabajo, escogiendo la Energía Solar como fuente de energía por ser un recurso renovable, limpio, de fácil acceso y bajo costo.

A partir de esta decisión, procedimos a revisar, los trabajos de investigación que aprovechan el fenómeno de la conversión fototérmica realizados hasta la fecha, partiendo de los colectores solares tradicionales utilizados en el calentamiento de agua para uso doméstico y albercas. Ahí pudimos detectar que éstos colectores operaban hasta la temperatura de ebullición del agua, situación que era una limitante para los sistemas que requieren de temperaturas más elevadas.

Analizamos los mecanismos de transporte de energía en los colectores solares planos de placas ennegrecidas con pintura y por electrodepositos, percibiendo que en dichos captadores se tenían ganancias y pérdidas de calor por conducción, convección y radiación, haciéndonos reflexionar, que si podíamos bajar o eliminar dichas pérdidas, nuestras ganancias de calor se incrementarían.

Lo anterior nos hizo meditar primero, en diseñar un colector, en el que se eliminara la pérdida de calor por conducción y esto se lograría haciendo que la radiación solar fuese captada directamente por el fluido, eliminando la placa de cobre intermedia.

Para que nuestro fluido captara la radiación solar, debería tener características similares a las de las placas ennegrecidas: que fuese de color negro; que sus propiedades ópticas fuesen similares a las de los colectores tradicionales y además que tuviera estabilidad química y física al paso del tiempo.

Revisamos los trabajos que sobre el tema se han realizado, observando que algunos investigadores proponen el uso de mezclas de agua con tinta india, otros con partículas de carbón en suspensión etc..., lo que implicaba nuevamente tener la limitante de la temperatura de ebullición del agua, además de que en algunos casos, se proponían colectores de tubos de plástico, que ocasionaba que con el tiempo y con la radiación solar se opacaran, impidiendo el paso de ésta.

Finalmente propusimos como fluido de trabajo, al aceite usado de motores de combustión interna, tomando en cuenta que su punto de ebullición es superior al del agua, es de fácil adquisición y de bajo costo.

Para poder decidir si éste fluido cumplía con nuestras expectativas, realizamos pruebas para conocer sus propiedades y así caracterizarlo (Cap. II).

Una vez que probamos que sí cumplía con nuestros requerimientos, desarrollamos un proyecto para comparar dos colectores de dimensiones idénticas, uno funcionando como colector de fluido negro y otro como colector de placa plana ennegrecida, ambos bajo las mismas condiciones, siguiendo la norma A.S.H.R.A.E. 93-77 (Cap. III). Con lo que se confirmó que el colector que operó con aceite usado como fluido de trabajo reportó mejores eficiencias (Cap. V).

Realizado lo anterior, sugerimos un modelo final, un colector solar que además de recibir la radiación solar en el seno del fluido (con lo que evitábamos las pérdidas de

calor por conducción al eliminar la placa metálica intermedia), pudiese disminuir o eliminar las pérdidas de calor por convección, propiciadas por las corrientes de aire alrededor del colector, mediante el aislamiento de éste a través del vacío. Para esto investigamos los trabajos realizados, encontrando colectores de tubo de cobre electrodepositados, encapsulados al vacío, en diferentes arreglos geométricos y después de analizarlos detectamos que el principal problema en su construcción, radicaba en el sello del encapsulado de las uniones metal-vidrio ya que al iniciar su operación se presentaban coeficientes de dilatación diferentes en el metal y en el vidrio, lo que provoca fracturas en la unión con la consecuente pérdida del vacío. Algunos investigadores han resuelto éste problema, obteniendo mezclas (amortiguadores) con concentraciones graduales en el vidrio de Manganeseo y Molibdeno.

Después de analizar ésta problemática decidimos utilizar dos tubos de vidrio concéntricos entre los cuales haríamos un vacío y con esto eliminábamos el problema del sello en el encapsulado.

Así fue como surge nuestro modelo de un colector solar, evacuado, operado con fluido negro, que opera en el rango de los colectores solares de temperatura intermedia ($100^{\circ}\text{C} \leq T \leq 300^{\circ}\text{C}$), el cual es capaz de proporcionar el recurso energético a un gran grupo de sistemas como lo es el de los refrigeradores por absorción.

Con el fin de introducir al lector a las teorías que explican los fundamentos de la transferencia de calor, y con esto se dé una mejor idea de lo que ocurre en el aprovechamiento de la energía solar, haremos una breve descripción de los mecanismos de la transferencia de calor.

Existen tres formas diferentes en las que el calor puede pasar de la fuente al receptor, éstas son: conducción, por contacto molecular directo, radiación, que es un fenómeno a distancia que atraviesa el vacío y convección que es un mecanismo combinado de conducción y movimiento del fluido.

I.- MECANISMOS DE TRANSMISION DE CALOR .

I.a CONDUCCION

Los fundamentos de la conducción de calor se establecieron hace más de un siglo y se atribuyen generalmente a Fourier. En sistemas que involucran flujo, tal como flujo de calor, flujo de fluido o flujo de electricidad, se ha observado que la cantidad que fluye es directamente proporcional a la diferencia de potencial e inversamente proporcional a la resistencia que se aplica al sistema, la ecuación de Fourier de conducción es:

$$q_i = -K \left[\frac{\partial t}{\partial x_i} \right] \quad (1)$$

En el flujo de calor a través de un sólido, el flujo se lleva a efecto por la diferencia de temperatura entre las superficies de una pared que están a diferentes temperaturas, necesariamente existe un flujo y una resistencia al flujo del calor. La conductancia es el inverso de la resistencia al flujo de calor.

$$\text{FLUJO} = \text{conductancia} \cdot \text{potencial}$$

$$\text{Potencial} = Q = \frac{Q'}{t} = \text{conductancia} \cdot \Delta T \quad (2)$$

Q' = La cantidad medida de calor en Watt/m²., transmitida por una pared en un intervalo de tiempo "t" (segundos) con una diferencia de temperatura "T" medida en grados centígrados; por lo tanto la K (conductancia), tiene las dimensiones de watt/seg °C).

I.b CONVECCION

La transferencia de calor por convección es un mecanismo combinado de conducción y movimiento del fluido. El fluido frío (aire) adyacente al moverse junto a superficies calientes recibe calor que luego transfiere al resto del fluido frío mezclándose con él. La convección libre o natural ocurre cuando el movimiento del fluido no se complementa por agitación mecánica. Pero cuando el fluido se agita mecánicamente, el calor se transfiere por convección forzada.

Las convecciones libre y forzada ocurren a diferentes velocidades, la última es la más rápida y por lo tanto la más común. Los factores que propician altas transferencias para la convección forzada, no necesariamente tiene el mismo efecto en la convección libre.

I.c RADIACION

La radiación es el fenómeno de transporte de calor principal para el desarrollo de éste trabajo, por que como explicaremos, el fenómeno de emisión de la energía radiante o fotones, se presenta cuando un sistema atómico o molecular pasa de un estado elevado de energía a otro más bajo. El proceso inverso se denomina absorción, ocurre cuando la adición de energía radiante a un sistema atómico o molecular da lugar a que el sistema pase a un estado más elevado de energía. Este último proceso es el que tiene lugar cuando la energía radiante incide sobre una superficie, provocando su calentamiento. Muy a menudo la radiación se considera como fenómeno perteneciente sólo a cuerpos calientes luminosos. En esta parte veremos que éste no es el caso y que la radiación, como un tercer medio de transferencia de calor, difiere bastante en la conducción y de la convección. En la conducción de calor a través de sólidos, el mecanismo consiste en la transferencia de energía a través de cuerpos cuyas moléculas

permanecen en posiciones fijas, excepto por las vibraciones. En la convección, el calor es absorbido primero de la fuente por partículas de fluido inmediatamente adyacentes a ella y después transferido al interior del fluido mezclándose con él. Ambos mecanismos requieren la presencia de un medio para transportar el calor de la fuente del receptor.

La transferencia de calor radiante no requiere la intervención de un medio, y el calor puede ser transmitido por radiación a través del vacío.

La radiación como tercer mecanismo de transporte de energía, es un mecanismo electromagnético, en el que la energía se transporta con la velocidad de la luz, sin necesidad de un medio material, como veremos, la velocidad de transporte de energía por radiación entre dos cuerpos [negros] en el vacío, es proporcional a la diferencia de las cuartas potencias de sus temperaturas absolutas.

Para efectuar un estudio del transporte de energía por radiación es preciso utilizar diversas disciplinas:

1.- La teoría electromagnética, para describir la naturaleza esencialmente ondulatoria de la radiación, especialmente por lo que respecta a la energía y presión en relación con las ondas electromagnéticas.

2.- La termodinámica, para obtener algunas relaciones entre las <propiedades globales> de un recinto de radiación.

3.- La mecánica cuántica, para describir los procesos atómicos y moleculares que tienen lugar cuando la radiación se produce en el interior de la materia, o bien es absorbida por ella.

4.- La mecánica estadística, para describir la forma en que la energía radiante se distribuye en el espectro de longitudes de onda.

En éste capítulo expondremos lo elemental y su principal objeto es definir ciertas magnitudes clave y presentar los resultados más importantes de la teoría. Al final expondremos la forma en que se utilizan estos resultados para calcular la velocidad de transmisión de calor por radiación en los sistemas solares. Primero presentaremos al lector algunos conceptos y definiciones básicas, después algunos de los principales resultados físicos de la radiación de cuerpo negro y finalmente se discutirán los procesos de radiación en medios absorbentes.

Longitud de onda y transferencia

Es conveniente mencionar las características de la energía radiante, antes de seguir con los orígenes de esta energía. La energía radiante es de la misma naturaleza que la luz visible ordinaria.

Se considera de acuerdo con la teoría electromagnética de Maxwell, como consistente de un campo eléctrico y magnético oscilante en fase con él.

La variación de la intensidad con el tiempo del campo eléctrico pasando por un punto dado puede ser representada por una onda senoidal que tiene longitud finita de cresta, donde λ es la longitud de onda y el número de éstas que pasan por un punto dado en la

unidad del tiempo, es la frecuencia de radiación, y el producto de la frecuencia por la longitud de onda es la velocidad de la onda. Para la propagación en el vacío la velocidad de la radiación (C), está muy cercana a los 300,000 Km por segundo. Para el tránsito a través de un medio diferente la velocidad es algo menor y generalmente ésta se desprecia.

La longitud de onda de la radiación puede especificarse en cualquier unidad de longitud, pero el micrón(μm), 1×10^{-6} m, es el más común. Todas las ondas conocidas incluidas en la teoría electromagnética están situadas entre las ondas cortas de los rayos cósmicos (menos de 1×10^{-6} μm) y las ondas largas de radio (arriba de 1×10^{-7} μm).

De éstas únicamente las ondas en la región entre cerca y un poco después del infrarrojo con longitudes de onda de 3/4 a 400 micrones, son de importancia en la transferencia de calor radiante.

1.1 ORIGEN DE LA ENERGIA RADIANTE .

Se cree que la energía radiante se origina dentro de las moléculas del cuerpo radiante, los átomos de cuyas moléculas vibran en un movimiento armónico simple como osciladores lineales. Se cree que la emisión de energía radiante representa una disminución en las amplitudes de vibraciones dentro de las moléculas mientras que una absorción de energía representa un aumento.

En su esencia la teoría cuántica, postula que para cada frecuencia de radiación hay una pequeña pulsación mínima de energía que debe emitirse, éste es el cuanto, no pudiendo emitirse una cantidad más pequeña aún cuando sí se consideran múltiplos de esta. La radiación total de energía en una frecuencia dada emitida por un cuerpo, es un número entero de cuantos a esa frecuencia. Para diferentes frecuencias, el número de cuantos y por lo tanto de energía total, puede ser diferente, Max Planck demostró que la energía asociada con un cuanto es proporcional a la frecuencia de vibración o bien si la velocidad de toda la radiación se considera constante será inversamente proporcional a la longitud de onda. Así la energía radiante en una frecuencia dada se puede representar por pulsaciones sucesivas de energía, teniendo cada pulsación el valor del cuanto para una frecuencia dada.

El esquema atómico propuesto por Bohr es útil para comprender más el posible origen de la energía radiante. Según éste modelo atómico, los átomos tienen alrededor en órbitas elípticas, un número de electrones a diferentes distancias .

Los electrones de la órbita exterior tienden a girar alrededor del átomo de acuerdo a sus energías cinética y potencial definidas. La energía potencial es la energía requerida para remover un electrón de su órbita a una distancia infinita de su núcleo. Un electrón dado en una órbita a una distancia del núcleo, tendrá una determinada energía, si ocurriera una perturbación, como sería el caso de una colisión de un átomo con otro o con un electrón, el electrón en cuestión podría ser desplazado de su órbita y volver a ella, pasar a una órbita ajena donde sus electrones poseen una energía diferente, o dejar el sistema con influencia del núcleo. Si la transición es de una órbita de mayor energía a una de menor energía el reajuste se efectúa radiando el exceso de energía.

Otro origen de la energía radiante puede atribuirse a los cambios en las energías de los átomos y moléculas sin referencia a sus electrones individuales.

Si dos o más núcleos de la molécula están vibrando uno con respecto al otro, un cambio de amplitud o amplitudes de la vibración causará un cambio en el contenido de energía. La energía de la molécula puede cambiarse por una alteración de energía cinética de traslación o rotación y ésto también resultará en emisión de energía radiante. Una disminución en velocidad corresponde a la emisión de energía radiante, mientras que un aumento corresponde a la absorción de energía radiante.

Ya que la temperatura es una medida del promedio de la energía cinética de las moléculas, a mayor temperatura, mayor energía cinética promedio, tanto de la traslación como de vibración. Puede esperarse, por lo tanto, que a mayor temperatura mayor la cantidad de energía radiante emitida por una substancia. Puesto que el movimiento molecular cesa en una temperatura cercana al cero absoluto, sólo en esta forma captarán o emitirán energía.

Existen pocas posibilidades de que la energía radiante generada en el interior de un sólido alcance su superficie sin encontrar otras moléculas y por lo tanto toda la energía radiante emitida por la superficie de los sólidos es generada por cambios en los niveles de energía de las moléculas cercanas o en su superficie. La cantidad de energía radiante emitida por un sólido, es consecuentemente función de la superficie de un cuerpo, y recíprocamente, la radiación incidente en un cuerpo sólido se absorbe en una superficie. En el caso de los gases, existe mayor posibilidad de que la energía interna alcance la superficie, comparada con los sólidos y ésta energía emitida por un gas es función del volumen de éste más que de la superficie que forme el gas. En los líquidos la situación es intermedia entre los gases y sólidos y se puede originar radiación un poco por debajo de la superficie dependiendo de la naturaleza del líquido.

I.1.1. DISTRIBUCION DE LA ENERGIA RADIANTE .

Un cuerpo a una temperatura dada, emitirá radiación en el espectro continuo de las longitudes de onda y no en una longitud de onda simple. Esto se atribuye a la existencia de una variedad infinita de osciladores lineales. La energía emitida a cada longitud de onda puede determinarse mediante el uso de un prisma dispersor y una termopila. Tales medidas, en un cuerpo dado, producirán curvas como las mostradas en las figuras (1a y 1b), para cada temperatura establecida.

La **Potencia Emisiva Total (E)**, es la cantidad total de energía radiante en todas las longitudes de onda que llega a emitir un cuerpo por unidad de área y de tiempo. Las unidades son,

$$[E] = \frac{\text{Watt}}{\text{m}^2}$$

Si se desglosa la intensidad de la energía radiante I_λ en el espectro de longitud de onda, como se muestra en las figuras (1a y 1b), las unidades son:

$$[I]_\lambda = \frac{\text{Watt}}{\text{m}^2 \mu\text{m}}$$

Entonces la potencia total será el área bajo la curva

$$E = \int_0^{\infty} I_\lambda d\lambda \quad (3)$$

La correlación entre I_λ y λ [18], fue el objeto de una serie de investigaciones a nivel teórico y práctico durante el siglo XIX. Max Planck desarrolló una ecuación que se adapta a las curvas de energía espectral de las figuras (1a y 1b) a cualquier temperatura, esto en base a la naturaleza cuántica de la energía radiante.

$$I_\lambda = \frac{C_1 \lambda^{-5}}{(C_2 / \lambda T)^5 - 1} \quad (4)$$

donde: I_λ = intensidad de emisión monocromática, Watt / $\text{m}^2 \mu\text{m}$.

λ = Longitud de onda en μm .

C_1 y C_2 = constantes con valores 1.16×10^8 y 25740.

T = temperatura del cuerpo $^\circ\text{R}$.

Wien, postuló otra ley conocida como la " ley del desplazamiento de Wien", que establece que el producto de la longitud de onda, del máximo valor de la intensidad monocromática de emisión y la temperatura absoluta, es una constante igual a 2,884 micrones $^\circ\text{R}$ [18].

$$\lambda_{\text{max}} T = 2,884 \text{ micrones } ^\circ\text{R} \quad (5)$$

Las determinaciones espectrales de la radiación recibida por la superficie de la tierra desde el sol y tomando en cuenta la absorción por la atmósfera indican que el máximo de I_λ está aproximadamente a los 0.5 μm .

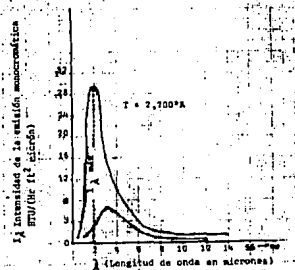


FIGURA 1a (Intensidad de radiación monocromática para un cuerpo negro a diferentes temperaturas)

Radiación solar

Las curvas de la figura (1b) son gráficas de la irradiancia espectral solar fuera de la atmósfera y al nivel del mar. El área sombreada, representa la absorción gaseosa de la atmósfera. Esto explica el alto contenido ultravioleta de los rayos del sol y el predominio del color azul en el espectro visible. La localización de este máximo permite una estimación de la temperatura del sol a partir de la ecuación (5) a $\cong 6,000^{\circ}\text{K}$.

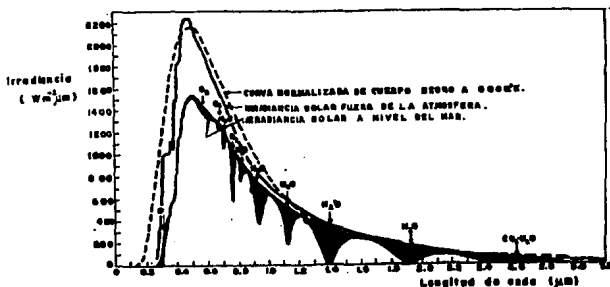


Figura 1.b Distribución espectral de la radiación solar, extraterrestre.

1.2. LA INCIDENCIA DE LA ENERGIA RADIANTE.

Todo lo hablado con anterioridad se ha referido a la generación de energía radiante. ¿Qué pasa cuando la energía radiante llega sobre un cuerpo, que es caso de los colectores solares?. En el caso simple de la luz, puede ser parcial o totalmente, absorbida o reflejada. Si el medio que la recibe es transparente a la radiación, transmitirá algo de la energía a través del cuerpo mismo. Los mismos efectos son aplicables a la energía radiante y un balance de energía respecto a un receptor en el cual la energía incidente total es la unidad, esta dado por :

$$\alpha + \rho + \tau = 1 \quad (6)$$

donde:

α = es la absorptividad (fracción absorbida)

ρ = es la reflectividad (fracción reflejada)

τ = es la transmisividad (fracción transmitida)

La mayoría de los materiales utilizados como cuerpos negros en la construcción de colectores solares, son sustancias opacas que tienen transmisividad **CERO**, pero no hay ninguna que absorba o refleje completamente la energía incidente.

Las sustancias que tienen absorptancias cercanas a la unidad, son el negro de humo, el negro de platino y el negro de bismuto, que absorben de 0.98 a 0.99 del total de la radiación incidente.

Si un cuerpo ordinario emite radiación a otro cuerpo, parte de la energía emitida es retornada al otro cuerpo, por reflexión. Cuando Planck desarrolló la ecuación (4), supuso que nada de la energía emitida era devuelta, esto fue equivalente a suponer que los cuerpos que tienen transmisividad, igual a "0", tienen reflectividad igual a "0" también. Este es el concepto del cuerpo negro perfecto para el cual $\alpha = 1$.

1.3. RELACION ENTRE EMISIVIDAD Y ABSORTIVIDAD.

LEY DE KIRCHHOFF .

Consideremos un cuerpo de tamaño y forma determinados, colocado dentro de una esfera hueca a temperatura constante; suponemos que el aire ha sido evacuado. Después de que se alcanza el equilibrio térmico, la temperatura del cuerpo y la de la esfera será la misma, infiriéndose que el cuerpo esta absorbiendo y radiando calor a idénticas velocidades.

Suponemos que la intensidad de la radiación incidente (I) en el cuerpo sea dada en :

$$[I] = \text{Watt} / \text{m}^2 ,$$

la fracción absorbida α_1 y la potencia emisiva total (E_1) = Watt / m² . Así la energía emitida por el cuerpo de superficie total A_1 es igual a la recibida, o

$$E_1 A_1 = I_{a1} A_1 \quad (7)$$

$$E_1 = I_{a1} \quad (8)$$

Si el cuerpo se reemplaza por otro de idéntica forma y si nuevamente se alcanza el equilibrio,

$$E_2 = I_{a2} \quad (9)$$

Si un tercer cuerpo negro se introduce entonces:

$$E_n = I_{an} \quad (10)$$

Por definición la absorptividad de un cuerpo negro es 1.0

Por lo que : $E_n = I$

lo que da :

$$\frac{E_1}{a_1} = I \quad ; \quad \frac{E_2}{a_2} = I$$

$$\frac{E_1}{a_1} = \frac{E_2}{a_2} = E_n \quad (11)$$

la razón de la potencia emisiva total a la absorptividad para todos los cuerpos es la misma, y a esto se le llama ley de Kirchoff. Puesto que la máxima absorptividad del cuerpo negro se toma como uno de la ecuación (6), su reflectividad debe ser cero.

No se pueden obtener valores absolutos de la potencia emisiva total, pero:

$$E_1 = a_1 E_n \quad (12)$$

$$E_2 = a_2 E_n \quad (13)$$

$$\frac{E_1}{E_n} = a_1 = 1 \quad (14)$$

$$\frac{E_2}{E_n} = a_2 = 1 \quad (15)$$

El uso de la razón de la potencia emisiva real a la potencia emisiva del cuerpo negro, bajo idénticas condiciones, se le llama emisividad. La emisividad del cuerpo negro es la

unidad. Las emisividades son influidas por el acabado o pulido de las superficies y aumentan con la temperatura. Las superficies pulidas y blancas tienen generalmente, valores menores que la superficies negras y rugosas. De la ecuación (12), puede verse que cualquier cuerpo que tenga alta emisividad como radiador tendrá alta absorptividad cuando actúa como receptor.

1.3.1. METODO EXPERIMENTAL PARA DETERMINAR LA EMISIVIDAD.

Aquí exponemos un método satisfactorio para medir emisividades en el rango de temperaturas ordinarias y puede ser aplicado al cálculo de problemas tales como absorción de calor en colectores solares únicamente por radiación.

Este método consta en utilizar un cilindro opaco, hueco, ennegrecido en su parte interior, el cual se mantiene a temperatura constante mediante un baño, como se muestra en la figura (2), se monta un receptor de radiación en la pared del cilindro.

El receptor de radiación consiste en un cilindro de cobre, que está ennegrecido en el interior y altamente pulido en el exterior. Con el propósito de absorber la radiación, se montan en el receptor dos discos de cobre b y b' extremadamente delgados, de alta conductividad de calor.

Los discos están montados a igual distancia de la parte superior y del fondo del cilindro pequeño, los ángulos α_1 y α_2 son iguales y los discos tienen áreas iguales para recibir la radiación, el disco inferior recibe la radiación de las paredes ennegrecidas del depósito exterior, que está a temperatura constante. El disco superior recibe radiación de una placa del espécimen "C" que se mantiene eléctricamente a temperatura constante.

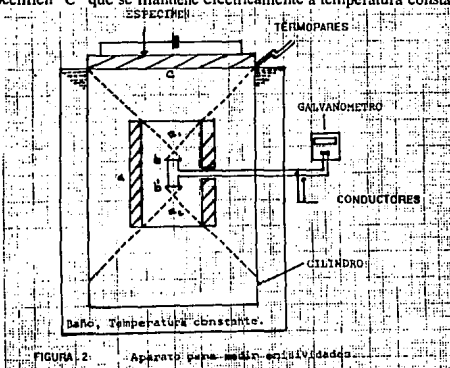


FIGURA 2. Aparato para medir emisividades.

Los discos se conectan entre sí, mediante un termopar muy sensible, de manera que se pongan uno al otro, midiéndose únicamente las diferencias netas en la cantidad de

radiación. Esta medición se hace a través de un galvanómetro, conectando los termopares de manera que se opongan, anulando cualquier efecto dentro del mismo receptor. Se mide la reflexión de un cuerpo negro perfecto, que se sustituye al espécimen C, que no es el cuerpo perfecto, la razón de las dos reflexiones es la emisividad normal total, como se muestra en la figura (2).

1.3.2. INFLUENCIA DE LA TEMPERATURA EN LA POTENCIA EMISIVA .

Ley de Stefan - Boltzmann.

Cuando un cuerpo radía, la radiación total puede ser determinada por la ley de Planck (Ec.4) que es la ecuación de cuerpo monocromático:

$$I = \frac{C_1 \lambda^{-5}}{\lambda (C_2 / \lambda T)^{-1} [e^{-1}]}$$

Sumando toda la energía por integración del área bajo la curva de la figura (1), a temperatura constante e integrando cada término se tiene,

$$E_n = 0.173 \times 10^{-8} T^4 \quad (16)$$

y establece que la radiación total de un cuerpo negro perfecto es proporcional a la temperatura absoluta del cuerpo a la cuarta potencia. Esta es la llamada LEY DE STEFAN-BOLTZMANN :

$$E = \epsilon \sigma T^4 \quad (17)$$

en donde σ es la constante de Stefan Boltzmann y tiene un valor de:

$$5.6693 \times 10^{-8} \text{ watt / m}^2 \text{ } ^\circ\text{K}^4$$

En este primer capítulo presentamos los mecanismos y las leyes de la transmisión de energía en forma de calor, los cuales describen los fenómenos que se llevan a cabo en los calentadores solares, dispositivos que convierten la energía solar en energía térmica, con el propósito de administrarla a sistemas que requieran de ella. Los colectores solares se describen en el capítulo III. En el siguiente capítulo se presentan los antecedentes y objetivos del siguiente trabajo.

1.4 ABSORCIÓN DE RADIACION EN UN FLUIDO PARCIALMENTE TRANSLUCIDO.

Como describimos en el punto 1.2, la radiación (I) al incidir sobre un cuerpo, una parte es reflejada (ρI) por la superficie, otra es absorbida (αI) por el cuerpo y otra más transmitida (τI) al interior a través de éste como se puede ver en la figura (3) :

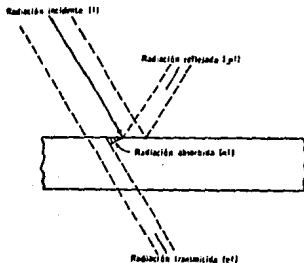


FIGURA 3. Reflexión, absorción y transmisión de la radiación.

Es decir después de atravesar una lámina del material, la radiación incidente (I) se ha disminuido a un valor τI . Si pensamos en un fluido compuesto por muchas láminas delgadas, después de cada una, la radiación se disminuye en la misma proporción en función de τI , hasta llegar a un valor cercano a cero, que es cuando llega a lo que llamamos el espesor de extinción. Este modelo explica la absorción de la radiación incidente en el seno de un fluido.

El presente trabajo, se dedica al estudio de la absorción de la radiación solar en un fluido y debido a que se busca la total absorción, el nombre que se le da al fluido es el de fluido negro.

CAPITULO II FLUIDO NEGRO

II.1 ANTECEDENTES.

II.2 CONCLUSIONES Y COMENTARIOS.

II.3 OBJETIVOS.

II.4 FLUIDO NEGRO.

CAPITULO II

FLUIDO NEGRO

II.1 ANTECEDENTES.

Una vez analizados los mecanismos de transferencia de calor, revisamos los trabajos sobre colectores solares, detectando como característica común, el uso de tubos de cobre con placas (aletas) con lo que aumentaban la superficie de captación de radiación solar, éstas placas tenían un recubrimiento de color negro. También observamos que en los diferentes modelos se tenían ganancias y pérdidas de calor por conducción, convección y radiación. Las pérdidas de calor por conducción en los colectores solares eran propiciadas principalmente por la transmisión de calor al fluido por las placas de cobre intermedias entre éste y el medio ambiente. En ese momento decidimos desarrollar un modelo de colector solar, para que la absorción de ésta se produjera directamente por nuestro fluido de trabajo y de esta manera desaparecieran las pérdidas de calor por conducción. Para poder realizar esto, necesitábamos encontrar un fluido con ciertas propiedades, entre las que se encontraba su color negro. Así fue como se revisaron todos los trabajos de investigación sobre fluidos negros que a continuación se mencionan.

En la V Reunión Nacional y III Latinoamericana de energía solar en la ciudad de Guadalajara, Jal.; celebrada en 1981, D. Sámano, A. Fernández y J. Quintana [22] presentaron un artículo en donde se explicaba con amplitud el mecanismo de captación solar en un colector de fluido negro y se compara con un colector de placa ennegrecida. Además de mostrar experimentalmente que la eficiencia de un colector de fluido negro es mayor que la placa ennegrecida, se abunda en las propiedades ópticas. Se espera que el fluido negro, opere con buenas eficiencias, en colectores de temperaturas intermedias y se propone su uso en colectores de tubos evacuados. Resulta un colector barato y sin problemas de sello en el encapsulado evacuado.

Huang [16], emplea un colector con fluido negro que llama "Direct Black Exdye". Este consiste en un concentrador parabólico y un tubo de vidrio en la línea focal a través del cual pasa el fluido negro. Muestra que las eficiencias de la conversión decrecen linealmente con el arreglo geométrico.

Minardi [28], utiliza un colector plano que forma con una manguera de plástico de 0.8 mm de diámetro en espiral y flujo hacia el centro. El fluido negro consiste de una mezcla de agua con "Preston II". El colector es barato sólo que la manguera de plástico, se vuelve opaca con la exposición a la radiación solar.

Pillai y Argarwal [36], usan tubos de 9 mm de diámetro para formar un colector plano y una solución de cuatro partes de Etilenglicol y una de agua con agregado de 0.5 gramos por litro de tinta de india, como fluido negro. Obtienen eficiencias de conversión cercanos a 42% operando a 100 °C y a una temperatura ambiente de 40 °C, en sus conclusiones dice que el desarrollo de líquidos negros es la clave en el futuro de éste tipo de colectores.

Azevedo y Reis [2], muestran que usando agua y "Noir Dephinit FG 425% "(2 gramos por litro) la máxima temperatura alcanzada (90 °C) se incrementa 20% más que la alcanzada con agua y tinta india (75°C) en su experimento. Sin embargo el trabajar con agua cerca del punto de ebullición puede ser un inconveniente. Este trabajo está orientado a proveer un colector para los sistemas de refrigeración por absorción.

En recientes trabajos de D. Sámano, A. Fernández, J. Quintana y R. Bretón [24 y 37], se publicaron los resultados experimentales de éste trabajo, respecto al colector evacuado operado con aceite usado de automóvil como fluido negro el cual ha mostrado buenas eficiencias a las temperaturas requeridas para los sistemas de refrigeración por absorción.

Iwamoto e Itah [17], han trabajado en la elaboración de un fluido negro que además de tener buena opacidad posee foto y termoestabilidad del orden de 10 años asegura Iwamoto [39].

II.1 CONCLUSIONES Y COMENTARIOS.

Doremus [10,11] y Skillman, Berry [39], mencionan que se han identificado bandas de absorción en la región del espectro electromagnético, en partículas metálicas coloidales dispersas en un medio transparente. Esto presenta una posibilidad para que fluidos con limaduras de metal, pudieran ser buenos absorbedores de radiación solar.

Baldonado y Schmith [3] presentan la aplicación de un recubrimiento el cual está constituido con partículas esféricas de carbón suspendido en una matriz de acrílico, éste recubrimiento tiene una alta absorptividad a la radiación solar, y una baja emitancia de las longitudes de onda largas.

Lo anterior refuerza la posibilidad de que el aceite usado, sea un buen absorbedor, debido a la presencia de partículas en suspensión de metales y de carbón.

II.3 OBJETIVOS .

Los objetivos del presente trabajo son:

- a) Utilizar en colectores solares de temperatura intermedia ($100 \leq T \leq 300$ °C), un fluido negro de fácil adquisición y bajo costo.

- b) Que el fluido de trabajo seleccionado, conserve las propiedades físicas y químicas, al paso del tiempo ya que estará expuesto a la radiación solar.
- c) Obtener muestras de fluido negro , a las cuales se les practicarán pruebas, para conocer sus propiedades físicas y ópticas (densidad, viscosidad , calor específico , coeficiente de dilatación , contenido de partículas , transmitancia en el infrarrojo y en el espectro solar, espesor para la extinción total y absorptividad.
- d) Comparar el comportamiento de un colector plano de fluido negro contra otro de placa plana ennegrecida.
- e) Construir y caracterizar un colector evacuado de fluido negro.
- f) Construir un modelo numérico para compararlo con los resultados experimentales.

II.4 FLUIDO NEGRO.

La manera tradicional de obtener la conversión fototérmica en colectores solares, consiste en usar una superficie ennegrecida la cual capta la radiación solar. El recubrimiento que se usa puede ser una pintura negra o un depósito selectivo, en el cual la absorción y conversión de radiación en calor se lleva a cabo y luego se transfiere al fluido de trabajo por conducción.

Este trabajo propone un diseño de colector solar, en el cual la conversión fototérmica se efectúa en el seno del fluido, eliminando así la etapa de transferencia de calor por conducción.

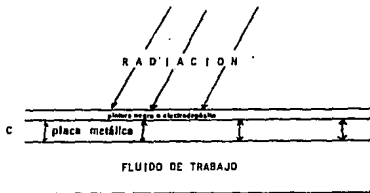


Figura (4). Colector tradicional. En la zona comprendida en C tenemos las ganancias de calor por conducción.

En la figura siguiente mostramos nuestra propuesta a fin de que el fenómeno de transporte se lleve a cabo sobre el seno del fluido, evitando la resistencia térmica que ocasiona la conducción por la transmisión de energía de la placa metálica al fluido.

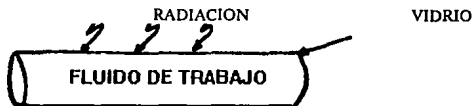


Figura (5)

ELECCION DEL FLUIDO NEGRO PARA SER USADO EN COLECTORES SOLARES.

Como ya sabemos los cuerpos negros absorben mayor radiación solar que los que tienen otra coloración por lo que decidimos usar un fluido cuya característica, fuese la de un cuerpo negro.

En un cuerpo negro sabemos que la transmitividad es cercana a cero, en la aplicación de la energía solar se busca que la absorptividad " α " sea casi igual a 1, y que la emisividad " ϵ " se aproxime a 0, con lo que tendríamos una captación de radiación solar mejor con menos pérdidas. En el caso de nuestro fluido (aceite usado de motores de combustión interna) tenemos una absorptividad de 0.9 dato obtenido experimentalmente en los laboratorios de energía solar del Instituto de Investigación de Materiales de la UNAM, con el equipo de la figura (2), por lo que seleccionamos al aceite como fluido de trabajo, que además se deseaba que tuviera las siguientes propiedades:

- a) Que su punto de ebullición fuese arriba del punto de ebullición del agua, para poder trabajar en rangos arriba de 100 °C y dentro del rango de los colectores de temperatura intermedia.
- b) Que su densidad a temperatura de trabajo, fuese similar a la del agua para facilitar el bombeo.
- c) Se busca al igual que en el punto anterior la similitud de la viscosidad a la del agua.

Después de determinar experimentalmente las características de densidad, viscosidad, punto de ebullición, termoestabilidad, absorptividad etc., que debería cumplir nuestro fluido, procedimos a trabajar haciendo pruebas con aceite usado de motor de combustión interna en colectores solares.

A continuación se describe la caracterización de las propiedades del aceite usado de motor de combustión interna (automóvil), que son útiles en el cálculo de la operación de colectores con este tipo de fluido.

PROPIEDADES FISICAS.

Viscosidad (μ)

La viscosidad fue medida en los laboratorios de energía solar del Instituto de Investigación de Materiales de la UNAM, a diferentes temperaturas y velocidades angulares en el Regonómetro Weissenberg modelo R-19, en las mediciones se observó que el aceite usado de automóvil tiene un comportamiento newtoniano en todo el rango de temperatura cubierto.

En la figura (6) se muestra la viscosidad calculada de las mediciones, observándose que a 100°C la viscosidad del aceite ha disminuido a 0.4 poises, 16 veces la viscosidad del agua a 20°C, la viscosidad del aceite es 120 veces la del agua sin el problema de la ebullición.

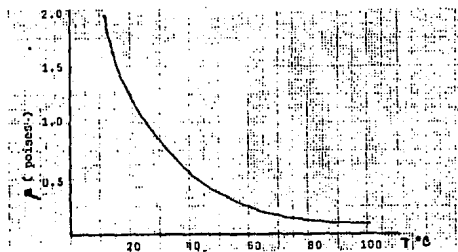


FIGURA 6 Viscosidad del aceite usado de automóvil.

Densidad (ρ)

La densidad relativa a la del agua, fue medida en el laboratorio de energía solar del Instituto de Investigación de Materiales de la UNAM con un densímetro de grados Baumé, a una temperatura de 20°C y fue de

$$\rho_{20^\circ\text{C}} = 0.9 \text{ g/cm}^3 \text{ ó Kg / lt.}$$

para obtener los valores de la densidad a las temperaturas propuestas de trabajo, utilizamos la siguiente ecuación[ref.18] :

$$\bar{\rho} = \rho_{20^\circ\text{C}} - 0.0004412 (\bar{T} - 20)$$

donde \bar{T} es la temperatura promedio de trabajo.

Calor específico (C_p)

De la siguiente ecuación se calcula el calor específico del aceite en función de la temperatura [ref. 18].

$$C_p = 1.7375 + 0.004186 T \text{ KJ / Kg } ^\circ\text{C}.$$

coeficiente de dilatación (B) [ref. 18].

$$B = 6.6 \times 10^{-4} \text{ } 1/^\circ\text{C}$$

Contenido de partículas

Colocamos muestras de aceite usado de automóvil en una centrifuga universal, modelo 11-AH-4, durante una hora al 80% de la velocidad máxima. Al término se detectó un depósito de partículas grisáceas aproximadamente un 0.5% del volumen total. Observamos el aceite usado de automóvil al microscopio óptico sin apreciar partículas en el seno del mismo. No se apreció ningún cambio en la coloración del aceite usado de automóvil por lo que no es posible decir qué tipo de partículas dan el cambio de color del aceite nuevo al usado y que le dan características del fluido negro, solo suponemos que tiene cantidades mayores de acero debido al desgaste de los motores.

PROPIEDADES OPTICAS.

Transmitancia en el Infrarrojo

Medimos en un espectrofotómetro Perkin-Elmer, modelo (infrarrojo-283), colocando la muestra de aceite en una celda de yoduro de Cesio. La medición fue hecha a temperatura ambiente. Los espectros obtenidos para aceite usado y aceite sin usar se muestran en la figura (7). Los espectros de la figura tomados en el infrarrojo, indican que cualitativamente la composición del solvente es la misma en ambos aceites.

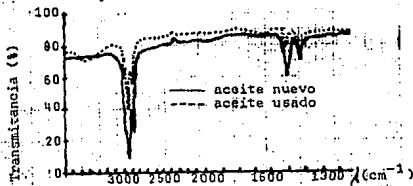


FIGURA 7 Espectros en el Infrarrojo.

Comportamiento en el espectro solar

En un espectrofotómetro del tipo Perkin-Elmer 330, (ultra violeta-visible-cercano infrarrojo) determinamos la transmitancia del aceite usado de automóvil y aceite sin

usar a la temperatura ambiente. La celda que se utilizó para la medida de la muestra de aceite es de un centímetro de espesor. Los espectros se muestran en la figura (8).

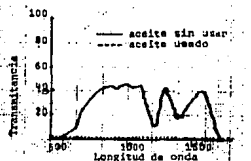


FIGURA 8 Espectro en el visible.

La figura (8) muestra el espectro de transmisión en ambos aceites en una muestra de un centímetro. Aquí se puede observar que mientras el aceite usado de automóvil exhibe una extinción total ($\tau = 0$), el aceite nuevo presenta una transparencia óptica en la región de 600 a 1650 nm y como indicamos en el párrafo anterior la composición del solvente es cualitativamente la misma por lo que puede pensarse que la absorción en el aceite usado se deba a la presencia de partículas de carbón y metales en suspensión. Las partículas no han sido observadas posiblemente debido a la presencia de tensoactivos en los aceites para automóviles los cuales mantienen partículas en suspensión coloidal.

Espesor para la extinción total

El espesor mínimo para la extinción total, se refiere al de la película del fluido necesaria para impedir el paso de la radiación. Para esto colocamos una fotocelda de silicio debajo de un recipiente transparente ($\tau = 0.93$) y agregamos aceite usado de automóvil controlándose el espesor que formaba. Por encima iluminamos con una lámpara de Xenón (150 watts), de alta presión, ya que ésta produce calidades de intensidad lumínica equivalentes a temperaturas de unos 6000°K y la radiación visible, tiene las mismas características de la luz solar, figura (1.b). El suministro útil se extiende en forma continua, desde 3000 Å hasta 1.3 μm , con varios picos de radiación en la región del infrarrojo cercano de 0.8 a 1.1 μm . La figura (9) muestra los resultados obtenidos

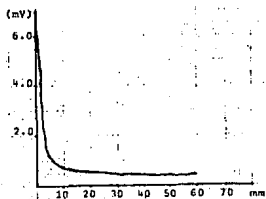


FIGURA 9 Espesor de Extinción.

se muestra en la figura (9) que el espesor necesario para una extinción total es de 4 mm; éste es el espesor recomendable para la absorción en un fluido negro.

Cabe mencionar nuevamente que el valor de la absorptividad obtenido experimentalmente en el aparato construido para tal fin en los laboratorios de energía solar del Instituto de Investigación de Materiales de la UNAM figura (2) fue de 0.9, éste dato se obtuvo al colocar una muestra de aceite usado de motores de combustión interna, en el aparato para medir emisividades, figura (2), en "C" manteniéndose a temperatura constante y se fueron midiendo las reflexiones causadas por el cuerpo negro y la del espécimen "C"(aceite) y la razón de las dos reflexiones nos reportó la e normal total de $\cong 0.9$

FLUIDO NEGRO	APLICACION	OBSERVACIONES	REFERENCIA
Direct Black Exdyne	Propone un colector solar con concentrador lineal focal, através del cual pase el fluido negro.	1.- muestra que las eficiencias de la conversión decrecen linealmente con el arreglo. 2.- no se mencionan propiedades de su fluido ni su composición.	Huang [16]
Mezcla de agua con "Carston II y partículas de carbón en suspensión.	Propone un colector plano, formado con una manguera de plástico de 0.8 mm de diámetro en espiral y flujo hacia el centro.	1.- el colector es de bajo costo, pero la manguera de plástico se vuelve opaca al ser expuesta a la radiación solar. 2.- el colector tiene la limitante de que al usar agua, estará sujeto a la limitante del punto de ebullición de la mezcla.	Minardi [28]
Solución de cuatro partes de estireno, una parte de agua con 0.5 gr por litro de tinta de India.	Proponen un colector plano usando tubos de vidrio 9 mm de diámetro.	1.- obtienen una eficiencia del 42% operando a 100°C y a una temperatura ambiente de 40°C. 2.- mencionan que el desarrollo de líquidos negros es la clave en el futuro de estos colectores. 3.- el fluido propuesto presenta problemas de estabilidad con el tiempo. 4.- el colector tiene la limitante de que al usar agua, estará sujeto a la limitante del punto de ebullición de la mezcla.	Pitts y Argawal [36]
Mezcla de agua con depharal FG(425%) 2 gr por litro.	La propuesta es un colector plano con tubos de vidrio.	1.- obtienen una temperatura máxima de 90°C, 20% más que la alcanzada con agua y tinta india (75°C) en su experimento. 2.- mencionan que trabajar con agua cerca de su punto de ebullición puede ser un inconveniente. 3.- orientan su investigación a proveer un colector para los sistemas de refrigeración por absorción.	Acavedo y Reiz [2]
Acéite usado de automóvil	Comparación de dos colectores planos uno con fluido negro y otro con placa ennegrecida. Colector solar evacuado operado con tubos de vidrio concéntricos.	1.- por operar con acéite, se pueden alcanzar temperaturas cercanas a los 300°C. 2.- el fluido posee foto y termoestabilidad. 3.- es de fácil adquisición y bajo costo. 4.- no presenta problemas en el encapsulado ya que el sello es vidrio-vidrio.	Sámano, Fernández, Quintana y Bretón [22, 24 y 37]
Sin datos del fluido	Estudio de un fluido negro.	1.- fluido con buena opacidad. 2.- con foto y termoestabilidad del orden de 10 años.	Iwamoto e Itah [17]

TABLA 2.1 COMPARATIVA DE ESTUDIOS REALIZADOS SOBRE FLUIDOS NEGROS.

CAPITULO III ESTUDIO EXPERIMENTAL

III.1 COLECTOR SOLAR PLANO .

III.2 COLECTOR SOLAR EVACUADO .

III.3 EQUIPO EXPERIMENTAL .

CAPITULO III

ESTUDIO EXPERIMENTAL

III.1 COLECTORES PLANOS .

1. INTRODUCCION.

Como se ha visto en los capítulos anteriores, los colectores solares de placa plana, son usados donde las temperaturas de trabajo no exceden la temperatura de ebullición del agua, en su mayoría son considerados colectores de bajas temperaturas y su uso por lo general se limita a proporcionar agua caliente doméstica y a las albercas.

Como su nombre lo indica son superficies planas por las cuales circula un fluido de trabajo como se muestra en la figura (10), atrapando la radiación solar y transmitiéndola al fluido, que por su diseño y su costo no muy bajo ha hecho que se busquen otros tipos de colectores. Nuestro proyecto comparará las eficiencias entre un colector convencional plano y uno operado con fluido negro, con el fin de conocer el comportamiento de los fluidos negros y posteriormente trabajar en el proyecto principal que era el de tubos evacuados con fluido negro, el cual se explicará en el capítulo siguiente.

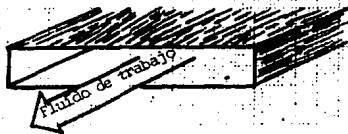


Figura 10

2. DESCRIPCION DEL DISEÑO Y OBJETIVO DEL EXPERIMENTO.

Una vez que habíamos realizado las pruebas al aceite usado de automóvil, aprobándolo como fluido de trabajo ya que sus propiedades cumplían nuestras expectativas, se desarrolló el modelo experimental, consistente en tener en el mismo panel dos

colectores planos, uno con superficie ennegrecida y otro con fluido negro, ambos de las mismas dimensiones para poder al mismo tiempo hacer las tomas de datos y tener una mejor caracterización del diseño.

Para lograr esto, colocamos sobre una caja de fibra de vidrio (a la cual le dimos una inclinación con el ángulo establecido por la A.S.H.R.A.E. 93-77, para que estuviera lo más perpendicular a los rayos del sol), lana mineral como material aislante en la parte inferior de las placas, para evitar pérdidas de calor, encima del aislante se forró con papel reflejante (mylar) para que la radiación que captan nuestros sistemas sea la que proviene directamente del sol, y evitar que exista otro medio del cual absorba la radiación e influya en el calentamiento del fluido.

Para poder llevar a cabo un régimen permanente, usamos una bomba peristáltica, que es una bomba en la que podemos regular de manera fácil y muy exacta el flujo del fluido.

Utilizamos un anemómetro para conocer la velocidad del viento. Al lado de los colectores y con el mismo ángulo de colección, colocamos un piranómetro, el cual va conectado a un multímetro para cuantificar la radiación solar en milivolts que posteriormente transformamos en watts/m².

Tanto a la salida como a la entrada de los colectores instalamos termopares de cobre-constantan conectados a un "Doric", que es un aparato que mide el voltaje y reporta la información en grados centígrados, para poder leer las temperaturas en el mismo instante y checar la eficiencia en los colectores.

Los dispositivos experimentales, son captadores planos de placa metálica ennegrecida y fluido negro figuras (11, 13 y 14). En las tablas de la 1 a la 5 del capítulo V se muestra que el colector con fluido negro tiene una mayor eficiencia. Ambos colectores fueron contruidos con idéntica geometría, operados simultáneamente y con el mismo fluido de trabajo, como se detalla en la referencia [22].

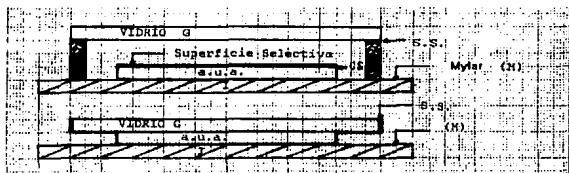


Figura (11) Cortes transversales de los colectores. (G = vidrio; a.u.a. = aceite usado de automóvil; c.s.s. = lámina de cobre; s.s. = silicio; I = aislante; M = Mylar).

Trabajamos en este diseño, usando los aparatos indicados para medir cada uno de los parámetros, tal como lo especifica la metodología experimental de la norma A.S.H.R.A.E. 93-77, tratando de tomar estas medidas en una forma constante y repetitiva día tras día con el objeto de tener una medida lo más exacta posible y así

graficar la eficiencia " η " v.s. $(T_e - T_a)/I$, figura (23) y poder comparar las eficiencias de los colectores. Los resultados experimentales se reportan en las tablas (1 a 5), del capítulo V.

3. DISPOSICION EXPERIMENTAL.

Para la construcción de los colectores, fabricamos conductores rectangulares de cobre para el colector de placa plana y de vidrio-cobre para el operado con fluido negro, como se muestra en las figuras (11 y 12), teniendo las siguientes medidas: ancho 10 cm; largo 93 cm y de alto 2 cm, obteniendo un área de colección de radiación solar de 0.093 m^2 .

Para el caso del colector operado con fluido negro, la superficie superior empleamos vidrio y para el caso del colector placa plana, ennegrecimos la placa superior de cobre con pintura negra, como se muestra en la figura (13).

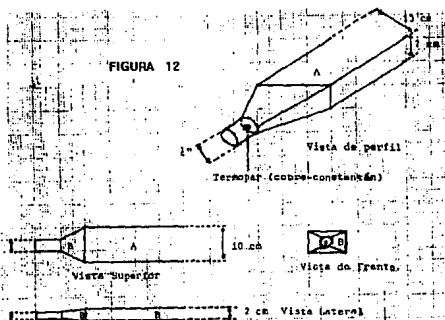


Figura (12) A : + Para fluido negro es un cristal transparente sellado con silicón.
 ++ Para la placa plana ennegrecida es de cobre.

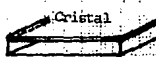


Figura (13)

La rutina experimental para caracterizar nuestros colectores de acuerdo a lo establecido en la norma A.S.H.R.A.E. 93-77, consistió en tomar lecturas durante 15 minutos en intervalos de 1 minuto de: la temperatura ambiente, la irradiación, la velocidad del

viento, el flujo, la temperatura del tanque, las temperaturas de entrada y salida del fluido en ambos colectores. Con esos datos sacamos el promedio de esas variables y calculamos el calor útil y la eficiencia. Se muestran los resultados en el capítulo V.

El siguiente es el diagrama de nuestro sistema:

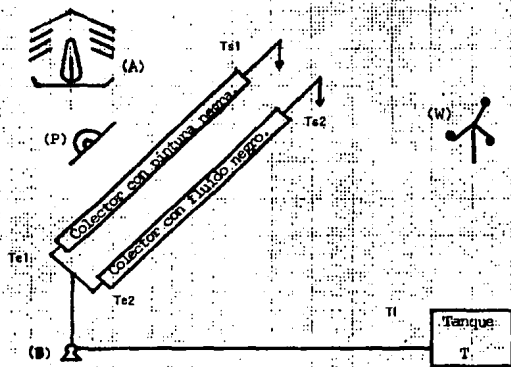


Figura (14) Arreglo experimental de los colectores planos.

- | | |
|---------------------------------------------|----------------------------------------------|
| P.- Piranómetro, | A.- Temperatura ambiente, |
| W.- Anemómetro, | T.- Tanque de aceite, |
| B.- Bomba peristáltica, | T_{e1} y T_{e2} - Termopares de entrada, |
| T_{s1} y T_{s2} - Termopares de salida, | T_1 - Termopar del tanque. |

III.2 COLECTOR SOLAR EVACUADO .

Uno de los problemas en el uso de los tubos evacuados con superficie selectiva, es el sello del encapsulado de vidrio sobre la estructura metálica en el que se deposita el recubrimiento negro, debido a la diferencia de dilatación entre ambos materiales a la temperatura de operación. Un camino alternativo que estudian Beekley y Mather [4], es el depósito del recubrimiento negro selectivo sobre un tubo de vidrio, con lo cual la unión en el encapsulado se vuelve vidrio-vidrio y se evita el problema del sello. Sin embargo en esta solución, la resistencia térmica que representa la pared de vidrio para transmitir calor al fluido de trabajo, incrementa la temperatura del recubrimiento,

aumentando así las pérdidas por radiación. Industrialmente se resolvió el problema técnico del sello, utilizando "amortiguadores de dilatación", consistentes en preparar mezclas de vidrio con concentraciones graduales de Molibdeno y Manganeso. Lo inconveniente de este proceso es su alto costo.

Una manera alternativa que proponemos, consiste en emplear dos tubos de vidrio, uno dentro del otro, evacuados entre sí, circulando en el tubo interno el fluido negro, con lo cual además de evitar el problema del sello, se omite el depósito de una superficie negra, figura (15). En este caso se tendrá la máxima temperatura en el fluido de trabajo.

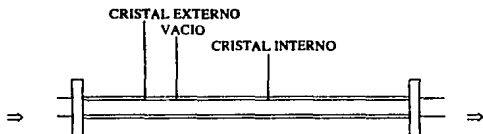


FIGURA (15)

Debido al espacio evacuado, la salida de calor al medio ambiente, es predominante por radiación. Para poder predecir el funcionamiento del colector de fluido negro, se requiere conocer las propiedades ópticas del aceite usado de automóvil. Como ya se vio en el capítulo II, en el presente trabajo analizamos el uso del fluido negro en un colector solar de temperatura intermedia y proponemos este modelo. Los resultados del experimento se utilizarán para generar las gráficas :

$$\frac{(T - T_a)}{I} \quad \text{V.S.} \quad \eta$$

para conocer el comportamiento de nuestro sistema y compararlo con nuestro modelo teórico, con el fin de corroborar resultados y sacar conclusiones.

A continuación mostraremos en la figura (16), el diagrama del equipo utilizado, que consiste en dos tubos concéntricos con el espacio entre ellos evacuado (10^{-6} Torr). En el tubo interior circula el aceite usado de automóvil donde se efectúa la fotoconversión sin concentración. El colector se inclina un ángulo θ con respecto a la horizontal.

La rutina experimental esta basada en lo establecido por la norma ASHRAE 93-77, cada minuto tomamos lecturas simultáneas de: la temperatura del tanque, la irradiación, la velocidad del viento, la temperatura ambiente, las temperaturas de entrada y de salida del fluido y del flujo del aceite, con esos datos procedimos a elaborar las tablas 6 a la 11 del capítulo V y a graficar los resultados para conocer su eficiencia figura (24).

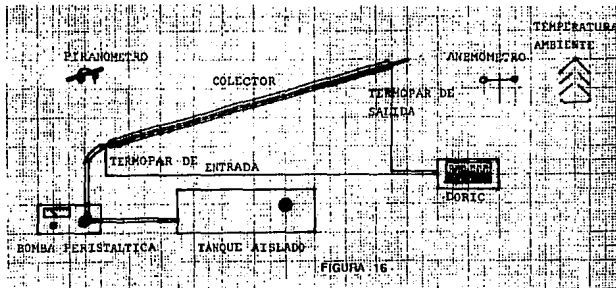


FIGURA 16

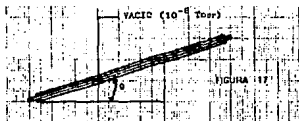


FIGURA 17

TUBO EVACUADO CON FLUIDO NEGRO

El fluido es Newtoniano de densidad (ρ), viscosidad (μ) y capacidad calorífica (C_p) conocidas [23]. El régimen permanente y laminar, observamos y medimos en la normalización del colector, que se llevó a cabo en los laboratorios del Departamento de Energía Solar del Instituto de Investigación de Materiales (I.I.M.) de la U.N.A.M. de acuerdo a la norma ASHRAE 93-77 para circuito abierto, en las mediciones tomadas del experimento, la variación máxima de la densidad fue del orden 10^{-3} veces la densidad de entrada, por lo que se tomó la aproximación de Boussinesq. Aquí la velocidad promedio del flujo no varía a lo largo del tubo y no se considerará la disipación viscosa.

La radiación incidente (I_i) fué medida en el piranómetro (marca Insolar). Las pérdidas de calor, son sólo debidas a la emisión de radiación del fluido negro. Las propiedades ópticas de absorción y emisión del fluido negro se toman globales.

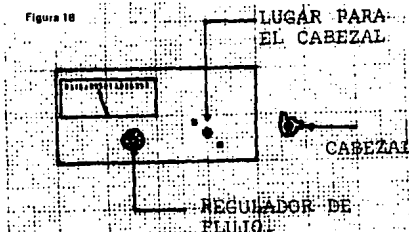
Este modelo de colector evacuado, se ajusta en la emisividad y se compara la temperatura de salida calculada con las medidas experimentales, a continuación describiremos el equipo utilizado en su caracterización.

III.3 EQUIPO EXPERIMENTAL.

I.- **El Colector**, como ya dijimos, consta de dos tubos concéntricos entre los cuales se ha hecho el vacío (10^{-6} Torr; 1 Torr = 1 mm Hg). El hecho de tener dos tubos de vidrio, facilita su unión con lo cual también nos elimina los problemas de contracción

que tendríamos, si uno de los dos tubos (el interno) fuese de metal. El colector se coloca en una base metálica con un ángulo de 28°, para el D.F., según lo indicado en la norma A.S.H.R.A.E. (figura 17).

II.- **Bomba Peristáltica**, ésta nos sirve para controlar el flujo que entra a nuestro sistema. El valor tomado para los experimentos es: $V = 22.727$ ml/min (flujo laminar). El cabezal de la bomba es desmontable en el cual se coloca la manguera de silicón que une al tubo con el tanque aislado. Figura (18).



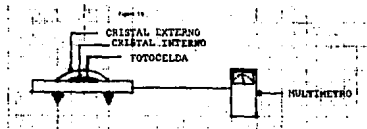
III.- **Termómetros**. El termopar es un alambre dúplex de "cobre-constantan" los cuales se unen simétricamente en uno de los extremos y se sueldan en una atmósfera inerte, usando argón, con lo que tendremos unión metal-metal, sin óxidos presentes, ya que los pulsos deben ser exactos sin alteración alguna. El otro extremo se conecta a un Doric, que es un aparato que mide el voltaje y reporta la información en grados centígrados.

En este caso toda la corriente se genera en el termopar, por la temperatura y nos informa los grados centígrados en la pantalla. Debido a que el Doric tiene cuatro entradas, podemos conocer las temperaturas de entradas y salidas al mismo tiempo.

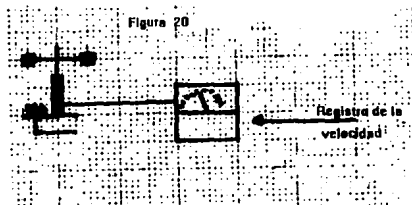
Para poder usar este aparato (Doric) tenemos que calibrarlo, esto es muy fácil, tomando para este caso las temperaturas de fusión y ebullición del agua y usando las resistencias variables del aparato para su ajuste.

IV.- **Tanque**, el tanque que usamos, es un tanque con un sistema eléctrico de resistencias, que nos permite trabajar con el fluido a las temperaturas deseadas y poder observar el comportamiento de las temperaturas de entrada y salida en nuestro colector a una irradiancia dada, con temperaturas de entrada variables.

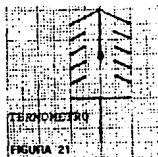
V.- **Piranómetro**, es un instrumento analógico que sirve para medir la irradiancia solar. Conectado a un voltímetro nos proporciona la irradiancia en milivolts. Este piranómetro se calibra, utilizando una celda patrón, de la cual sabemos la relación milivolts-watt/m² y que colocada a la misma inclinación del piranómetro para tomar medidas en ambos, al mismo tiempo, conoceremos la relación milivolts-watt/m² del piranómetro insolar. Como podemos ver el piranómetro es simplemente una fotocelda. Figura (19)



VI.- **Anemómetro**, se coloca junto al colector, este es un instrumento analógico que nos da la velocidad del viento. Figura (20)



VII.- **Temperatura Ambiente**, se mide simplemente con un termómetro ambiental, en un lugar aledaño al colector y a la sombra, cabe hacer notar que se puede utilizar otro termopar para medirla. Figura (21)



IV.1 COLECTOR EVACUADO .

ECUACIONES INTEGRALES

- i) Continuidad.
- ii) Cantidad de movimiento.
- iii) Conservación de la energía.

ANALISIS DIMENSIONAL DE LA ECUACION

CODIGO PARA CALCULO

- Programa para calculadora Texas Instruments 59
- Programa para computadora en lenguaje Basic.

CAPITULO IV

MODELO MATEMATICO

IV.1 COLECTOR EVACUADO.

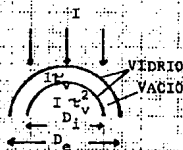
TUBO EVACUADO CON FLUIDO NEGRO.

En este punto desarrollamos un modelo simplificado que describe el comportamiento del colector evacuado de fluido negro, mencionado en III.2. El modelo propuesto es unidimensional, se discretiza la longitud "L" del tubo en proporciones de longitud ΔL y se aplican las ecuaciones integrales de balance de concentración de masa, conservación de movimiento y conservación de energía.

De las ecuaciones que resultan, se integra la cantidad de movimiento, obteniendo una expresión para la caída de presión en el tubo. Con respecto a la ecuación de conservación de energía, es posible integrarla para irradiancia constante y para irradiancia transitoria se integra numéricamente.

Los resultados del modelo los comparamos con los experimentales y sacamos el valor de emisividad global del aceite usado de automóvil.

FIGURA 22



- I = Irradiancia
- τ_v = Transmitancia del vidrio
- D_e = Diámetro externo
- D_i = Diámetro interno

Análisis de la cantidad de calor que entra al sistema, el cual toma en cuenta el área de incidencia ($\Delta l D_i$) de la irradiancia total (I) y la transmitancia de ambas capas de cristal (τ_v^2), quedando la ecuación siguiente :

$$Q_E = I_t \tau_v^2 \Delta l D_i \quad (18)$$

Ahora haciendo un análisis de la cantidad de calor saliente por radiación, ya que nuestro sistema está evacuado.

Como ya vimos anteriormente, en el desarrollo de la ecuación Stefan-Boltzmann.

$$Q = \epsilon_r \sigma T_r^4 A \quad (19)$$

ϵ_r = emisividad del fluido
 σ = Constante de Stefan-Boltzmann

pero como está radiado en geometría cilíndrica entonces :

$$A = \pi D_i \Delta l$$

y como interviene la transmitividad del vidrio :

$$Q_s = \epsilon \sigma \tau_v T_{\text{fluido}}^2 \pi D_i \Delta l$$

siendo esta ecuación, la representante del calor saliente. Haciendo un balance para evaluar el calor neto entrante,

$$Q_{\text{neto}} = Q_E - Q_s$$

Sustituyendo y simplificando,

$$Q_{\text{neto}} = Q_E - Q_s = \tau_v \Delta l D_i (I_t - \sigma \epsilon_r T_r^4 \pi) \quad (20)$$

ECUACIONES INTEGRALES EN Δl .

Integrando para Δl :



1) Continuidad .-

$$A_n = A_{n+1} = A \quad (\text{Area}) \quad (21)$$

$$\rho_n = \rho_{n+1} \quad (\text{Densidad}) \quad (22)$$

$$\dot{m} = \rho_n v_n A_n = \rho_{n+1} v_{n+1} A_{n+1} \quad (\text{Flujo}) \quad (23)$$

∴ las velocidades en n y (n+1) son iguales :

$$v_n = v_{n+1}$$

ii) Cantidad de movimiento.-

Análisis de las fuerzas que intervienen en el sistema. En el colector de fluido negro, las fuerzas de rozamiento se equilibran con las fuerzas dinámicas y las fuerzas de presión. En la siguiente expresión se muestra el balance,

$$\Sigma F = \rho_n v_n A_n (v_{n+1} - v_n) = 0 \quad (24)$$

$$\Sigma \vec{F} = \vec{F}_{\text{peso}} + \vec{F}_{\text{presión}} + \vec{F}_{\text{rozamiento}} = 0$$

donde,

$$\text{Peso del fluido} = \rho A \Delta l g \text{ Sen } \theta$$

g = gravedad

$$\text{Fuerzas de presión} = A (P_n - P_{n+1})$$

$$\text{Fuerzas rozamiento} = f \frac{\Delta l}{D} \rho \frac{v_n^2}{2} A$$

D = Diámetro

f = No. de Fanning

Como las velocidades de trabajo son bajas podremos hablar del flujo laminar donde el No. de Reynolds es de ≈ 0.6

Sustituyendo,

$$\vec{F} \text{ de rozamiento} = \frac{64 \mu}{\rho v_n D} \frac{\Delta l}{D} \rho \frac{v_n^2}{2} A$$

Cuando el valor de $\Delta l \Rightarrow 0$

$$-\frac{dP}{dl} = \rho g \text{ sen } \theta + \frac{32 \mu v_n}{D^2} \quad (25)$$

iii) Conservación de la energía .-

$$\Delta E = Q - W$$

$$\Delta E = \Delta E_c + \Delta U$$

$$W = \text{Trabajo} \quad (26)$$

E_c = Energía Cinética

U = Energía Interna

Q = Calor

En un intervalo Δt , los cambios son :

$$\Delta E = \overbrace{\rho v_n A \Delta t \left(\frac{1}{2} v_{n+1}^2 - \frac{1}{2} v_n^2 \right)}^{\Delta E_c} + \overbrace{\rho v_n A \Delta t (U_{n+1} - U_n)}^{\Delta U} \quad (27)$$

Como las velocidades son constantes en el término de la ecuación, el paréntesis es igual a cero. Por lo que :

$$\Delta E = \rho v_n A \Delta t (U_{n+1} - U_n) \quad (28)$$

Si ya sabemos que :

$$Q_{\text{neto}} = \tau_v \Delta l D \Delta t (I_t - \sigma \text{er Tr } \pi).$$

Analizando el término de trabajo de la ecuación (26) :

Trabajo para mover el peso.

$$W_{\text{peso}} = \rho A \Delta l g \sin \theta v_n \Delta t.$$

Trabajo para las fuerzas de presión.

$$W_{\text{presión}} = A (\rho_{n+1} - \rho_n) v_n \Delta t.$$

Trabajo debido al movimiento.

$$W_{\text{rozamiento}} = \frac{32 \mu \Delta l}{D^2} A v_n \Delta t.$$

Sustituyendo la ecuación :

$$\Delta E = Q - W_{\text{peso}} - W_{\text{presión}} - W_{\text{rozamiento}}$$

Quedando :

$$\rho v_n A (u_{n+1} - u_n) = \tau_v (I_t - \sigma \epsilon_f T_f \pi) \Delta l D^4 - \rho A \Delta l g \text{ Sen } \theta v_n - A (\rho_{n+1} - \rho_n) v_n - \frac{32 \mu \Delta l}{D^2} A v_n.$$

$\Delta \rho$: no se toma en cuenta por la aproximación de Boussinesq como ya vimos en la ec. (23), sustituimos el valor de:

$$\bullet$$

$$m = \rho v_n A$$

$$\bullet$$

$$m (u_{n+1} - u_n) = \tau_v (I_t - \sigma \epsilon_f T_f \pi) \Delta l D^4 - m \Delta l g \text{ sen } \theta - m (\rho_{n+1} - \rho_n) \Delta t - \frac{32 \mu \Delta l A}{D^2} v_n.$$

Temperatura media del fluido:

$$T_f = \frac{T_n + T_{n+1}}{2}$$

Quedándonos la ecuación total, que es la que rige el sistema evacuado y sobre la cual trabajamos para obtener datos que compararemos con el sistema de resultados experimentales para poder llegar a las conclusiones :

$$T_{n+1} = T_n + \frac{\tau_v \Delta l D^4}{m C_p} (I_t - \sigma \epsilon_f T_f \pi) - \frac{\Delta l g \text{ sen } \theta}{C_p} \quad (29)$$

Para trabajar dimensionalmente esta ecuación, se presentan las constantes **B** y **B'** :

$$T_{n+1} - T_n = B' \frac{\tau_v \Delta l D^4}{m C_p} (I_t - \sigma \epsilon_f T_f \pi) - B \frac{\Delta l g \text{ sen } \theta}{C_p}$$

ANÁLISIS DIMENSIONAL DE LA ECUACION.

Las constantes descritas B y B' toman en este caso, los siguientes valores:

Para poder hacer la corrección por la unidades que vamos a utilizar en la ecuación de comportamiento de las temperaturas en nuestro sistema, hallaremos un factor para nuestra ecuación haciendo un análisis dimensional como el siguiente, para el primer término de la ecuación B' :

$(\Delta l) = m$: Incremento de Longitud.
$(D_i) = m$: Diámetro Interno.
$(\dot{m}) = Kg / hr$: Flujo Másico.
$(C_p) = KJ / Kg \text{ } ^\circ C$: Capacidad Calorífica a presión constante.
$(I_t) = Watt / m^2$: Irradiancia Total.
$(\sigma) = Watt / m^2 \text{ } ^\circ K^4$: Constante de Boltzmann.
$(T_r) = ^\circ K$: Temperatura del Fluído.

Por lo que :

$$\therefore \underline{B' = 3.6 \text{ } ^\circ C.}$$

Haciendo un análisis dimensional para el segundo término B :

$$(B) = \frac{(g) \times (\Delta l) \text{ sen } \theta}{(C_p)}$$

$$(g) = m / \text{seg}^2 \quad : \text{ Aceleración de la Gravedad.}$$

resultando:

$$\therefore \underline{B = 10^{-3} \text{ } ^\circ C.}$$

Quedando :

$$T_{n+1} - T_n = 3.6 \left[\frac{I_t \Delta l D_i}{\dot{m} C_p} (I_t - \sigma \epsilon_f T_r^4) \right] - \left[\frac{g \Delta l \text{ sen } \theta}{C_p} \times 10^{-3} \right]$$

Sustituyendo los valores constantes en la ecuación, las dimensiones de los datos serán:

$$\tau_v = 0.85$$

$$\Delta l = 0.1 \text{ m}$$

$$D_i = 0.818 \times 10^{-2} \text{ m}$$

$$m = 2.0682 \text{ Kg / h}$$

$$\overline{C_p} = 1.35 \text{ KJ / Kg } ^\circ\text{C Calculado para hidrocarburo [1]}$$

$$\sigma = 5.6693 \times 10^{-8} \text{ watt / m}^2 \text{ } ^\circ\text{K}^4$$

$$\pi = 3.1415\dots$$

$$\epsilon_r = 0.21 \text{ dato experimental}$$

$$g = 9.81 \text{ m / seg}^2$$

$$\theta = 28^\circ$$

Sustituyendo los valores en la ecuación, se escribe

$$T_{n+1} = T_n + (8965 \times 10^{-4} (I_r - 1.7811 \times 10^{-7} T_r^4 \epsilon_r)) - 4.5111 \times 10^{-4} \quad (30)$$

CODIGO PARA CALCULO

Con el propósito de programar ésta ecuación para una calculadora portátil, daremos nombre a cada variable :

$$T_r = (T_{n+1} + T_n) / 2$$

Para el primer cálculo, se toma $T_n = T_r$

partiendo de : $T_n = T_{\text{ambiente}} = 20^\circ\text{C}$

$$A = T_n (^\circ\text{K})$$

$$B = T_r^4 (^\circ\text{K})^4$$

$$A' = \epsilon_r$$

$$B' = I: (\text{watt} / \text{m}^2)$$

$$T_{n+1} = A + (8.965 \times 10^{-4} (B' - 1.7811 \times 10^{-7} B A')) - 4.5111 \times 10^{-4} \quad (31)$$

Código para calculadora Texas TI-59

<u>No. de etiqueta</u>	<u>Instrucción</u>
01	2nd Lb A'
02	STO
03	0
04	0
05	R/S
06	2nd Lb B'
07	STO
08	0
09	01
10	R/S
11	2nd Lb A
12	STO
13	0
14	2
15	R/S
16	2nd Lb B
17	STO
18	0
19	3
20	R/S
21	CLR
22	RCL
23	0
24	0
25	x
26	RCL
27	0
28	3 ^x
29	Y
30	4
31	x
32	1
33	.
34	7
35	8
36	1
37	1
38	EE
39	7

<u>No. de etiqueta</u>	<u>Instrucción</u>
40	+/-
41	=
42	-
43	RCL
44	0
45	1
46	=
47	+/-
48	x
49	8
50	.
51	9
52	6
53	5
54	EE
55	4
56	+/-
57	=
58	+
59	RCL
60	0
61	2
89	=
90	STO
91	0
92	3
93	RCL
94	0
95	5
96	=
97	STO
98	0
99	2
100	GOTO
101	2
102	0
103	R/S

Programa para computadora en lenguaje BASIC :

```

5      DEG
10     PRINT "TUBO EVACUADO CON FLUIDO NEGRO"
20     PRINT "PARA NUESTRO MODELO TECLEARAS LOS SIGUIENTES DATOS"
30     PRINT "TEMPERATURA DE ENTRADA EN GRADOS KELVIN"
40     INPUT B(1)
50     PRINT B(1)
60     PRINT "TEMPERATURA PROMEDIO EN GRADOS KELVIN"
70     INPUT G
80     PRINT G
90     PRINT "LOS INTERVALOS DE LONGITUD EN M. SON"

```



```

100 INPUT C
110 PRINT C
120 PRINT "EL VALOR DE LA IRRADIACION EN W/M12 ES"
130 INPUT F
140 PRINT F
150 PRINT "      T(N+1)INTERVALO  T PROMEDIO "
160 FOR I = 1 TO 10
170 N = (3.6*0.85*0.00818*C) / (2.0682*1.35)
180 M = F - ((5.6693 E-0.8)*0.21*3.1416*G14)
190 O = (9.81*C*SIN 28) / (2.0682 E 03)
200 PRINT "....."
210 A = N*M-O+B(1)
220 G = (A+B(1)) / 2
230 PRINT "      .A"  ".I"  ".G"  ". "
240 B(I+1) = A
250 IF (I+1) + 9 THEN 145
260 S(I) = B(1)
270 FOR J = 1 TO 10
280 N = (3.6*0.85*0.00818*C) / (2.0682*1.35)
290 M = F - ((5.6693 E-08)*0.21*3.1416*G14)
300 O = (9.81*C*SIN 28) / (2.0682E 03)
310 PRINT "....."
320 A = N*M-O+S(J)
330 G = (A+S(J)) / 2
340 PRINT "      .A"  ".I"  ".G"  ". "
350 S(J+1) = A
360 NEXT J
370 GOTO 150
380 NEXT I
390 PRINT "QUIERES OTROS PUNTOS? SI (1), NO (2)"
400 INPUT R
410 IF R = 1 THEN 30
420 IF R = 2 THEN 990
430 PRINT "HASTA LUEGO"
440 END
1000 END

```

la corrida del programa, así como los resultados se encuentran en el último capítulo, donde se comparan con los resultados experimentales.

Los resultados de este programa se expresan en la gráfica (24):

$$\left[\frac{T - T_a}{I} \right] \quad \text{v.s.} \quad \eta \%$$

para conocer el comportamiento de nuestro sistema y compararla con nuestro modelo experimental, para lo cual daremos los resultados experimentales y luego los tabulados con el fin de corroborar lo obtenido y sacar conclusiones.

V.1 PLACA PLANA.

V.2 COLECTOR EVACUADO.

V.3 DISCUSION DE LOS RESULTADOS.

CAPITULO V

RESULTADOS Y CONCLUSIONES

V.1 PLACA PLANA.

En las tablas de la 1 a la 4, se presentan los resultados obtenidos en el experimento mencionado en el punto III.1, que compara un colector placa plana con otro de características similares operado con fluido negro. Donde se presenta la variación con el tiempo de los parámetros como la irradiancia, temperatura ambiente, temperatura del fluido, velocidad del viento, flujo, así como las diferencias de temperatura normalizada por la radiación solar. En la tabla 5, se presentan los cálculos de el calor útil y la eficiencia de los dos tipos de colector comparados.

Como se esperaba, de acuerdo a los análisis previos, los resultados experimentales confirmaron que el colector plano con fluido negro es más eficiente que el de placa plana ennegrecida(figura 23), aún cuando éste último, se encontraba más protegido de las corrientes de aire a su alrededor (figura 11), lo que provocaba una menor pérdida de calor por convección.

Se confirmó que realizar el fenómeno de fotoconversión en el seno del fluido, da mejores resultados.

En la tabla 5 y gráfica 23, se observa que a mayor temperatura de entrada, la eficiencia baja hasta llegar a valores cercanos a cero, como se puede observar en los dos últimos valores correspondientes a la placa ennegrecida, situación que no se presenta tan drásticamente en el colector con fluido negro.

Por otro lado, de los resultados obtenidos en los análisis del aceite usado de automóvil, como fluido de trabajo, se pudo confirmar que cumplan con las características deseadas, como era su estabilidad fotoquímica y fototérmica al paso del tiempo, así como su fácil adquisición y su bajo costo, por lo que se decidió utilizarlo como fluido de trabajo en la construcción de un colector solar con tubos evacuados.

Como podemos observar en la gráfica de la figura (23), las líneas correspondientes al colector de placas planas con fluido negro, tiene una eficiencia mayor que el colector de placa-plana con superficie ennegrecida, con lo que a las mismas condiciones de trabajo, se observa la importancia de las pérdidas de calor por conducción.

En cuanto a costos; el armazón del conducto en cobre como es el caso de los colectores planos tanto de pintura negra, como los de superficie selectiva son altos y los que utilizan superficies selectivas, son todavía mayores por el proceso electrolítico que requiere el depósito del cromo negro. En cambio los colectores con fluidos negros de vidrio son más baratos, de fácil adquisición y fabricación, logrando un ahorro en el costo de fabricación.

HORA	IRRADIACION I (W/m ²)	TEMPERATURA	VELOCIDAD	FLUIDO	FLUIDO	TEMPERATURA	TEMPERATURA	TEMPERATURA	DETEMP.	DETEMP.			
		AMBIENTE Ta °C	VENTO Vv (m/s)	FLUIDO NEGRO M1 (°C)	FLUIDO PLANA M2 (°C)	ENTRADA Te °C	SALIDA NEGRO Ta1 °C	SALIDA PLANA Ta2 °C	FLUIDO NEGRO Ta1-Ta °C	FLUIDO PLANA Ta2-Te °C			
11:20	892.32	22	1	0.00274209	0.00274683	30	40	33	10	3	0.009765294	0.014588785	0.010646406
11:21	892.32	22	1	0.00274276	0.00274683	30	39	33	9	3	0.008965194	0.014008427	0.010646406
11:22	895.84	22	1	0.00274276	0.00274683	30	39	32	9	3	0.008301668	0.013953385	0.010604672
11:23	902.85	21.5	0	0.00274209	0.00274581	30	40	34.8	10	4.8	0.009414319	0.014392163	0.011906344
11:24	892.32	21.5	0	0.00274209	0.00274547	30	40	38	10	5	0.009828731	0.015129102	0.012327416
11:25	894.08	22	1	0.00274209	0.00274647	30	40	39	10	5	0.008847745	0.014540086	0.011742816
11:26	892.32	22	0.8	0.00274344	0.00274818	30	38	34	8	4	0.008968384	0.01344809	0.011206742
11:27	892.32	22	1	0.00274276	0.00274581	30	39	34.5	9	4.5	0.008968384	0.014008427	0.011488811
11:28	890.58	23	0	0.00274276	0.00274581	30	39	34.5	9	4.5	0.007880223	0.012913223	0.010288723
11:29	894.08	23.5	0	0.00274209	0.00274547	30	40	35	10	5	0.007270043	0.012622384	0.010688213
11:30	892.32	23	1	0.00274209	0.00274547	30	40	35	10	5	0.007844719	0.01344809	0.010646406
11:31	892.32	22	1.8	0.00274218	0.00274647	30	39.9	38	8.9	5	0.008968384	0.014812731	0.011787079
11:32	882.32	22	0.25	0.00274208	0.00274547	30	40	35	10	5	0.008067006	0.014733883	0.011906444
11:33	882.32	22	0.5	0.00274209	0.00274547	30	40	35	10	5	0.00905489	0.014712873	0.011884281
11:34	895.28	22	0	0.00274209	0.00274448	30	40	38	10	8	0.009026498	0.01488442	0.012425447
SUM.	11374.8	332.5	8.75	0.04112544	0.04118217	450	893.8	517.8	143.8	67.5	0.131778298	0.212477230	0.189645303
PROM.	891.9633333	22.194666667	0.882323233	0.00274228	0.00274581	30	39.89233333	34.6	9.552323333	4.8	0.00878822	0.014188148	0.011380987

TABLA 1 NORMALIZACION DE UN COLECTOR CON FLUIDO NEGRO (1) Y PLACA PLANA (2). (MARZO 1984)

HORA	IRRADIACION I (w/m ²)	TEMPERATURA AMBIENTE T _a (°C)	TEMPERATURA VENTO T _v (°C)	FLUIDO NEGRO M1 (K/m ²)	FLUIDO PLACA M2 (K/m ²)	TEMPERATURA ENTRADA T _e (°C)	TEMPERATURA SALIDA NEGRO T _{s1} (°C)	TEMPERATURA SALIDA PLACA T _{s2} (°C)	ΔT ₁ (°C)	ΔT ₂ (°C)	(T _e -T _{s1}) (°C)	(T _{s1} -T _{s2}) (°C)	(T _e -T _{s1}) (°C)	(T _{s1} -T _{s2}) (°C)
13.11	883.52	22	1	0.00357009	0.00294337	33.8	40	40	6.1	6.1	0.013468952	0.018920953	0.018920953	0.018920953
13.12	883.52	22	1.5	0.00357017	0.00294788	33.8	40	37	6.2	3.2	0.013355688	0.016864381	0.016864381	0.016864381
13.13	888.8	22	2	0.00357017	0.00294685	33.8	40	38	6.2	4.2	0.013378326	0.016784178	0.016784178	0.016784178
13.14	897.6	23	1	0.00367017	0.00294605	33.8	40	38	6.2	4.2	0.012032086	0.01548574	0.01548574	0.01548574
13.15	902.88	23	0	0.00357017	0.00294885	33.8	40	38	6.2	4.2	0.011961722	0.015299518	0.015299518	0.015299518
13.16	909.92	23	0	0.00357017	0.00294885	33.8	40	38	6.2	4.2	0.011868175	0.015278088	0.015278088	0.015278088
13.17	913.44	23	2	0.00357017	0.00294788	33.8	40	37	6.2	3.2	0.011823437	0.015217201	0.015217201	0.015217201
13.18	913.44	23	1.5	0.00367017	0.00294831	33.8	40	36	6.2	2.2	0.011823437	0.015217201	0.015217201	0.015217201
13.18	911.78	23	1.5	0.00357017	0.00294831	33.8	40	36	6.2	2.2	0.011844863	0.015244908	0.015244908	0.015244908
13.20	916.96	23	2.5	0.00367017	0.00294803	33.8	40	38	6.2	1.2	0.011778048	0.015158768	0.015158768	0.015158768
13.21	909.92	23	1.5	0.00367017	0.00294831	33.8	40	36	6.2	2.2	0.011869175	0.015278088	0.015278088	0.015278088
13.22	920.48	23	1.5	0.00357017	0.00294788	33.8	40	37	6.2	3.2	0.011733009	0.015100817	0.015100817	0.015100817
13.23	918.72	23	0	0.00368219	0.00294788	33.8	41	37	7.2	3.2	0.011785486	0.015167391	0.015167391	0.015167391
13.24	960.84	23	1	0.00368783	0.00294788	33.8	43	37	6.2	3.2	0.012648601	0.017893681	0.017893681	0.017893681
13.25	888.8	23	2	0.00356763	0.00294788	33.8	43	37	6.2	3.2	0.012151216	0.017228733	0.017228733	0.017228733
SUM.	13520.42	342	19	0.06354636	0.04421214	507.1	607	557	99.8	49.8	0.182291402	0.23811883	0.21108508	0.21108508
PROM.	901.2613323	22.8	1.388066667	0.00368978	0.00294748	33.80666667	40.48666667	37.13333333	6.86	3.321066667	0.012219427	0.016221086	0.01607036	0.01607036

TABLA 2 NORMALIZACION DE UN COLECTOR CON FLUIDO NEGRO (1) Y PLACA PLANA (2). (MARZO 1984)

HORA	IRRADIACION I (W/m ²)	TEMPERATURA	VELOCIDAD	FLUIDO	FLUIDO	TEMPERATURA	TEMPERATURA	TEMPERATURA	DE TEMP.	DE TEMP.	T _{amb} -T _{amb} C m ² /h	T _{prom1} -T _{amb} C m ² /h	T _{prom2} -T _{amb} C m ² /h
		AMBIENTE T _a °C	VIENTO V _v m/s	FLUIDO NEGRO M1 °C	COLECTOR PLANO M2 °C	ENTRADA T _e °C	SALIDA NEGRO T _{s1} °C	SALIDA COLECTOR PLANO T _{s2} °C	FLUIDO NEGRO T _{s1} -T _e °C	COLECTOR PLANO T _{s2} -T _e °C			
11:58	897.6	23	0.5	0.00519788	0.00463696	39.5	41	38	1.8	-1.5	0.018582352	0.018217916	0.017548791
11:59	901.1	23	0.5	0.00519724	0.00463641	40	41	38	1	-2	0.018696831	0.019420708	0.017786078
12:00	902.88	23.5	0.5	0.00518724	0.00463641	40	41	38	1	-2	0.018274884	0.018812637	0.01787287
12:01	906.4	23.5	0	0.00619595	0.00463884	40.8	41.5	38	1	-2.5	0.018785518	0.018307148	0.017378434
12:02	908.4	23	0	0.00619328	0.00463228	42	42	39.5	0	-3.8	0.020882048	0.020962048	0.018582988
12:03	908.4	23	0	0.00619595	0.00463488	40	42	39.5	2	-0.5	0.018785518	0.019838782	0.0184787
12:04	906.4	23	0	0.00619595	0.00463528	40	42	38	2	-1	0.018785518	0.019858782	0.018203883
12:05	909.9	23.5	0	0.00619531	0.00463412	40.5	42	39.5	1.5	-1	0.018683372	0.019507838	0.018133861
12:06	908.18	23.5	0.5	0.00518402	0.00463354	41	42.5	39.5	1.5	-1.5	0.018289732	0.020095678	0.018443887
12:07	901.1	23	0	0.00519598	0.00463488	40	42	39.5	2	-0.5	0.018884831	0.018975888	0.018548382
12:08	909.9	23.5	0	0.00519595	0.00463488	40	42	39.5	2	-0.8	0.018133861	0.019232883	0.017859106
12:09	916.2	23	0	0.00518664	0.00463641	38.5	42	38.5	2.5	-1	0.018028846	0.018384868	0.017482517
12:10	917	23	1	0.00619664	0.00463584	38.8	42	38	2.8	-0.5	0.017883457	0.018385488	0.017720828
12:11	922.2	23.5	0	0.00619586	0.00463528	39.5	42.5	39.5	3	0	0.017348618	0.01897638	0.017349818
12:12	924	23.5	1	0.00518487	0.00463412	38.5	42.5	40.5	4	0	0.017318017	0.018480818	0.017857143
SUM.	13634.84	348.5	4	0.07793885	0.06862664	901.8	829	848.5	27.8	-16	0.278382666	0.293473851	0.289548887
PROM.	906.878	23.3333333	0.26666667	0.00619661	0.00463511	40.1	41.93333333	39.03333333	1.83333333	-1.06666667	0.018688604	0.018664823	0.017888812

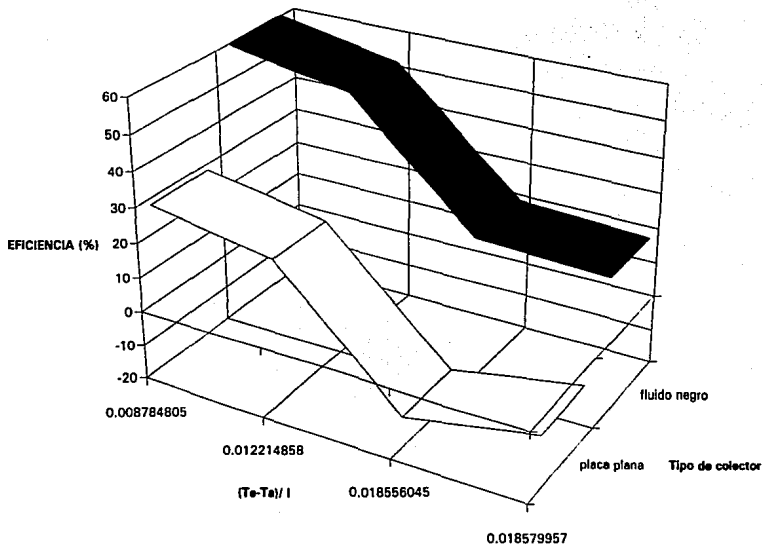
TABLA 3 NORMALIZACION DE UN COLECTOR CON FLUIDO NEGRO (1) Y PLACA PLANA (2). (MARZO 1984)

HORA	IRRADIACION	TEMPERATURA AMBIENTE	VELOCIDAD VIENTO	FLUIDO NEGRO	FLUIDO COLECTOR PLANO	TEMPERATURA ENTRADA	TEMPERATURA SALIDA FLUIDO NEGRO	TEMPERATURA SALIDA COLECTOR PLANO	SP. TEMP. FLUIDO NEGRO	SP. TEMP. COLECTOR PLANO	(T _o -T _{amb})	(T _{g1} -T _{amb})	(T _{g2} -T _{amb})
	I (W/m ²)	T _a (°C)	V _v (m/s)	ME1 (°C/m ²)	ME2 (°C/m ²)	T _e (°C)	T _{s1} (°C)	T _{s2} (°C)	T _{s1} -T _e (°C)	T _{s2} -T _e (°C)	(T _o -T _{amb}) (°C)	(T _{g1} -T _{amb}) (°C)	(T _{g2} -T _{amb}) (°C)
12:24	917.52	23.5	0	0.00310027	0.0032629	41.5	43.7	40.7	2.2	-0.8	0.01940889	0.02059268	0.01897632
12:25	925.76	24	0	0.00310081	0.00326265	41.5	43	41	1.5	-0.5	0.019903297	0.019712533	0.018633319
12:26	925.76	24.5	0	0.00310027	0.00329225	41.5	43.7	41.5	2.2	0	0.018363291	0.019551904	0.018363291
12:27	931.04	24.5	2	0.00310057	0.00326348	41.5	43.3	40	1.8	-1.5	0.018258151	0.018228812	0.0174636
12:28	931.04	24	1	0.00310042	0.0032833	41.5	43.5	40.2	2	-1.2	0.018796188	0.019870253	0.018079041
12:29	927.52	25	1	0.00310042	0.00328306	41.5	43.5	40.5	2	-1	0.017789374	0.018867819	0.017290302
12:30	931.04	25	0	0.00310004	0.00326265	41.5	44	41	2.5	-0.8	0.017722117	0.019084702	0.0174636
12:31	929.28	24	1	0.00310081	0.0032833	41.8	43	40.2	1.5	-1.3	0.019831784	0.01983896	0.018132317
12:32	925.76	25	0	0.0030995	0.00326208	41.5	44.7	41.7	3.2	0.2	0.017832194	0.019551904	0.017931213
12:33	916.96	25	0.5	0.00309927	0.00328185	41.5	45	42	3.5	0.5	0.017994242	0.019902722	0.018268682
12:34	916.96	25	0	0.00309888	0.00328209	41.5	45.5	41.7	4	0.2	0.017994242	0.020178262	0.018103298
12:35	915.2	25	0.5	0.00309888	0.0032828	41.5	45.5	40.7	4	-0.8	0.018028846	0.020214161	0.017818173
12:36	915.2	24	1	0.00309888	0.0032833	41.5	45.5	40.3	4	-1.3	0.018121603	0.021306818	0.018411276
12:37	909.92	23.5	1	0.00309888	0.0032833	41.5	45.5	40.2	4	-1.2	0.018781869	0.021879984	0.01908761
12:38	902.88	23.5	0	0.00309827	0.00328225	41.5	46.3	41.5	4.8	0	0.019996204	0.022894368	0.019926204
SUM.	13821.84	285.5	8	0.04649617	0.04894135	822.5	885.7	813.1	43.2	8.4	0.278782068	0.302249614	0.27388809
PROM.	922.1229687	24.36666667	0.93233333	0.00309974	0.00328278	41.5	44.38	40.87333333	2.68	-0.456666667	0.01983471	0.020148074	0.018244638

TABLA 4 NORMALIZACION DE UN COLECTOR CON FLUIDO NEGRO (1) Y PLACA PLANA (2). (MARZO 1984)

IRRADIACION	TEMPERATURA AMBIENTE	FLUJO FLUIDO NEGRO	FLUJO COLECTOR PLANO	TEMPERATURA ENTRADA	TEMPERATURA SALIDA FLUIDO NEGRO	TEMPERATURA SALIDA COLECTOR PLANO					CALOR ÚTIL FLUIDO NEGRO	CALOR ÚTIL PLACA PLANA	EFICIENCIA FLUIDO NEGRO	EFICIENCIA PLACA PLANA
I	T _a	MF1	MF2	T _e	T _{f1}	T _{f2}	(T _e -T _a) X	(I) dt	(T _{f1} -T _e) dt	(T _{f2} -T _e) dt	Q _u (1)	Q _u (2)	(%) Y	(%) Y
(w/m ²)	(°C)	(kg/m ² s)	(kg/m ² s)	(°C)	(°C)	(°C)	(°C m ² /hr)	(kWh/2)	(°C m ² /hr)	(°C m ² /hr)	(kwh/2)	(kwh/2)		
891.6523	22.167	0.0027424	0.0027458	30	39.593	34.5	0.008784405	802487.97	8633.7	4050	49.5411067	23.13684298	59.74295974	28.20054514
901.3613	22.8	0.0025684	0.0029475	33.81	40.467	37.133	0.012214858	811225.17	5991.3	2990.7	44.98413945	18.47222215	53.68322283	72.19902677
908.976	23.233	0.0051959	0.0046353	40.1	41.933	39.033	0.018554045	818078.4	1649.7	960.3	18.18337054	9.412215523	21.50993132	-----
922.1227	24.367	0.0030997	0.0032828	41.5	44.38	40.873	0.018579957	829910.43	2592	884.3	17.11574415	-3.907192602	19.55832656	-----

TABLA 5 RESUMEN DE RESULTADOS EXPERIMENTALES PROVENIENTES DE LAS TABLAS 1,2,3 Y 4.



GRAFICA 23 COMPARACION DE EFICIENCIAS DE UN COLECTOR CON FLUIDO NEGRO Y PLACA PLANA.

En la construcción del colector de tubo evacuado, se decidió usar tubos concéntricos de vidrio para evitar los problemas que se dan en la unión metal-vidrio de los colectores evacuados que utilizan un ángulo central de metal, que además de ser el captador conduce el fluido y protegido por un ánulo externo de vidrio, como es el que los materiales tengan diferentes coeficientes de dilatación que dificulta mantener el vacío en el espacio entre los anillos vidrio y metal.

A continuación presentamos en las tablas de la 6 a la 11, los resultados experimentales de la normalización del colector evacuado de fluido negro comparados con los obtenidos del modelo matemático. El formato de las tablas es similar al presentado en placa plana, generando la gráfica (24), que muestra la curva promedio, producto de los resultados experimentales de las tablas 6,7,8,9,10 y 11. En la gráfica 26 comparamos la gráfica 24 con la gráfica 25, se puede observar que se encuentra dentro del rango teórico y que el colector cumple con las expectativas en más del 90% del rango comparado, se presume que la eficiencia es mayor a la esperada, en virtud de que el colector capta lateralmente un poco de radiación difusa .

Se observa en las tablas (6-11) que, a medida que la temperatura de entrada incrementa la eficiencia del colector disminuye. Que la mejor irradiancia en la ciudad de México se presentó en el mes de abril.

Que debido a que nuestro colector se fabricó con un vacío entre los tubos de cristal el viento alrededor de éste, no provoca pérdidas por convección.

En la gráfica (25), se presentan las curvas calculadas a partir de los datos teóricos de las tablas (12-16), correspondientes a las diferentes irradiancias dentro del rango de los 700 a 1200 wats/ m², rango que es posible captar en la República Mexicana.

RESULTADOS EXPERIMENTALES.

Lecturas promedio tomadas en abril de los años 1983,1984,1985 y 1986.

HORA	IRADIACION	TEMPERATURA	VELOCIDAD	FLUJO	TEMPERATURA	TEMPERATURA	DP.TEMP.	TEMPERATURA	FLUJO	CALOR	CALOR	EFICIENCIA	
	I	AMBIENTE	VEGITO	FLUIDO NEGRO	ENTRADA	SALIDA	FLUIDO NEGRO	FLUIDO NEGRO	PROMEDIO	MASICO	ESPECIFICO		UTIL
	I	T_a	V_v	V	T_e	T_{a1}	$T_{e1}-T_e$	$T_{e1}-T_e$	$(T_{e1}+T_e)/2$	M	C_p	Q_u	
	(W/m^2)	$(^{\circ}C)$	(m/s)	(kg/m^2s)	$(^{\circ}C)$	$(^{\circ}C)$	$(^{\circ}C)$	$(^{\circ}C)$	$(^{\circ}C)$	(kg/m^3)	$(kJ/kg^{\circ}C)$	(W/m^2)	
												$(\%)$	
12.52	1046.87	23.1	2.5	0.3788	28.3	42.3	14	35.3	0.000338363	1.8862858	8.930877227	0.004870189	77.86638499
12.53	1042.2	23.5	1.5	0.3788	28.8	41.7	13.2	35.1	0.000338396	1.8844288	8.417428602	0.004707211	77.83367438
12.54	1042.2	23.3	5	0.3788	28.4	42.3	13.9	35.36	0.000338355	1.8844781	8.8678327	0.004801356	78.72129074
12.55	1041.3	23.1	6	0.3788	29	42	13	35.5	0.00033833	1.886103	8.296616644	0.00555927	71.84252845
12.56	1041.47	23.3	8	0.3788	28.3	42.3	14.1	38.25	0.000338371	1.8860885	8.93671681	0.00481624	77.87542147
12.57	1043.95	23	4	0.3788	28.8	42	13.5	35.25	0.000338371	1.8860565	8.610462257	0.005189416	78.38777645
12.58	1053.3	23	6	0.3788	27.6	42	14.4	34.8	0.000338447	1.8821728	8.17788743	0.004367227	80.00894893
12.59	1051.5	23.5	3	0.3788	28	41.7	13.7	34.85	0.000338438	1.8833821	8.732494876	0.004279601	78.33086292
13.00	1065.1	23.8	3	0.3788	27.6	41.8	13.9	34.85	0.000338488	1.8821263	8.85380694	0.003801554	77.14090292
13.01	1069.38	23.4	4	0.3788	28	41.8	13.5	34.75	0.000338455	1.8829835	8.603825588	0.004302041	73.85443758
13.02	1065.72	22.8	4	0.3788	27.5	41.5	14	34.5	0.000338497	1.881917	8.918318783	0.004410184	78.81457154
13.03	1067.49	22.7	4	0.3788	28	41.2	13.2	34.6	0.00033848	1.8823358	8.410153804	0.004864918	72.41211477
13.04	1068.8	22.8	5	0.3788	27.2	41.2	14	34.2	0.000338547	1.8806812	8.912685711	0.004406525	76.81180845
13.06	1060.4	22.7	4	0.3788	28	41.2	13.2	34.6	0.00033848	1.8823358	8.410153804	0.00498114	72.89617288
13.08	1068.8	23.1	5	0.3788	27.3	41.2	13.9	34.28	0.000338538	1.8806705	8.890782763	0.0039237748	78.26955688
SUM	15923.96	348.8	80	5.882	420.1	628.6	205.5	622.86	0.005076558	18.2611601	130.9883494	0.0089041821	1134.186728
PROM.	1061.897333	23.12	4	0.3788	28.0086967	41.7086467	13.7	34.9986967	0.000338457	1.883410007	8.732458637	0.004802378	78.61044858

TABLA 6 NORMALIZACION DEL COLECTOR SOLAR EVACUADO OPERADO CON FLUIDO NEGRO(ABRIL)

HORA	IRRADIACION I (W/m ²)	TEMPERATURA T _a (°C)	VELOCIDAD V _v (m/s)	FLUIDO NEGRO V (m/s)	TEMPERATURA T _o (°C)	TEMPERATURA T _{e1} (°C)	DEBIDA FLUIDO NEGRO T _{e1} -T _o (°C)	TEMPERATURA PROMEDIO (T _{e1} +T _{e2})/2 (°C)	FLUIDO NEGRO M (kg/m ³)	CALOR ESPECIFICO C _p (kJ/kg°C)	CALOR Q _m (kW)	(T _e -T _o)/M (°C/m ³)	EFICIENCIA Q _m /I (%)
11:30	738.44	17.2	0	0.3788	26	40.1	12.1	34.05	0.000338572	1.8800333	7.701809361	0.014648146	96.1248181
11:30	788.01	18.9	1.5	0.3788	28.5	38.2	10.7	33.85	0.000338605	1.8751961	6.875471866	0.0146886207	78.61498971
11:40	812.87	16.8	0	0.3788	27.3	39.3	11	33.8	0.000338781	1.8748008	6.865611252	0.012921966	79.02728143
11:41	826.73	17.4	0	0.3788	27	38.8	11.8	32.8	0.000338781	1.8748008	7.357629138	0.011612014	81.81044593
11:42	839.94	17.8	0	0.3788	27	39	12	33	0.000338747	1.875638	7.624408231	0.011006875	81.82062368
11:43	786.84	17.7	1.5	0.3788	27	38	11	32.8	0.000338831	1.872345	6.862984685	0.011874031	80.64545089
11:44	809.03	17.2	0	0.3788	26.7	38.5	11.8	32.6	0.000338814	1.8739836	7.482120788	0.011742467	88.11800809
11:46	782.47	17.2	0	0.3788	27	37.5	10.5	32.25	0.000338873	1.8724985	6.642685829	0.012524442	78.2819688
11:46	809.03	17.2	0	0.3788	27	38	11	32.5	0.000338831	1.872345	6.982984685	0.012113271	79.33182033
11:47	778.05	17	0	0.3788	27.8	37.5	10	32.8	0.000338831	1.872345	6.348148723	0.013495277	74.9237816
SUM.	7972.81	17.23	3	3.788	273	384.7	111.7	32.88	0.003387864	1.87518661	70.89801685	0.124639482	818.7739678
PROM.	797.281	17.23	0.3	0.3788	27.3	38.47	11.17	32.888	0.000338787	1.87518661	7.089801685	0.012463948	81.87739678

TABLA 7 NORMALIZACION DEL COLECTOR SOLAR EVACUADO OPERADO CON FLUIDO NEGRO (DICIEMBRE)

RESULTADOS EXPERIMENTALES.

Lecturas promedio tomadas en enero de los años 1983,1984,1985 y 1986.

HORA	IRRADIACION	TEMPERATURA	VELOCIDAD	FLUJO	TEMPERATURA	TEMPERATURA	DE.TEMP.	TEMPERATURA	FLUJO	CALOR	CALOR		EFICIENCIA
i	Ta	Vv	V	Ta	Ts1	Ts1-Ta	(Ts1 + Ts2)/2	M	Cp	Qu	[Te-Ts1]/ [C m2/h]	Qu/(I.A)	(%)
(m2)	(C)	(m/s)	(m3/s)	(C)	(C)	(C)	(C)	(kg/m3)	(KJ/g.C)	(WATT)	(C m2/h)	(W)	(%)
12.30	735.9	19.8	0.5	0.3788	34.5	45	10.5	39.75	0.000337819	1.8038925	8.749308512	0.01997354	84.29687078
12.31	734.3	19.5	0.25	0.3788	35	43.8	8.8	39.4	0.000337878	1.8024284	8.853188038	0.021108539	70.7805187
12.32	711.7	19.6	0	0.3788	33.5	43.8	10.3	36.86	0.000337803	1.8992886	8.808332283	0.019530701	85.34282778
12.33	892.2	19.8	0	0.3788	33	43.2	10.2	28.1	0.000337896	1.8969866	8.635019509	0.018069633	86.81319136
12.34	722.3	19.5	0	0.3788	32.6	43.2	10.7	37.85	0.000337937	1.8959401	8.858874671	0.017998082	87.23632368
12.35	736.4	19.8	0.5	0.3788	32.5	43	10.5	37.75	0.000337954	1.8958215	8.726280388	0.017246062	83.95224065
12.36	777.2	20	0	0.3788	32	43.2	11.2	37.6	0.000337979	1.8948936	7.172954481	0.015440041	84.87262042
12.37	794.9	20	1	0.3788	31	42	11	36.5	0.000338182	1.890289	7.031471559	0.013838219	81.30287448
12.38	782.5	20	1	0.3788	31	42.3	11.3	28.85	0.000338137	1.8908189	7.235102861	0.014057508	84.98642308
12.39	780.7	20	0	0.3788	30	42.3	12.3	36.15	0.000338221	1.8888235	7.857728889	0.012809018	82.8089326
12.40	777.2	19.8	0.5	0.3788	30	42.9	12.9	36.23	0.000338204	1.8892425	7.968871698	0.012124025	84.45283997
12.41	736.4	20.1	0	0.3788	30	42.2	12.2	36.1	0.000338228	1.8888148	7.792173622	0.013443781	87.28832863
12.42	734.7	20.2	1	0.3788	29	42	13	35.5	0.00033833	1.888103	8.295618444	0.011977878	103.7790816
12.43	754.1	20.2	0.5	0.3788	29.3	41.5	12.2	26.4	0.000338346	1.8895844	7.783773817	0.012087345	84.8707882
12.44	754.1	20.3	0.8	0.3788	28.6	42	13.2	25.4	0.000338348	1.8888844	8.431788064	0.011371719	103.8470499
SUM.	11234.8	298.6	5.75	5.882	472.1	642	169.9	587.05	0.00507084	28.2943113	108.6390828	0.322957898	1334.923214
PROM.	746.588867	19.8088887	0.36333333	0.3788	31.4733333	42.8	11.32888867	37.13888867	0.008238086	1.892964087	7.248808908	0.019330838	86.95488096

TABLA 8 NORMALIZACION DEL COLECTOR SOLAR EVACUADO OPERADO CON FLUIDO NEGRO(ENERO)

RESULTADOS EXPERIMENTALES.

Lecturas promedio tomadas en febrero de los años 1983, 1984, 1985 y 1986.

HORA	IRADIACION	TEMPERATURA	VELOCIDAD	FLUJO	TEMPERATURA	TEMPERATURA	DF. TEMP.	TEMPERATURA	FLUJO	CALOR	CALOR		EFICIENCIA
	I	AMBIENTE	WIENTO	FLUIDO NEGRO	ENTRADA	SALIDA FLUIDO NEGRO	$T_{s1}-T_e$	PROMEDIO	MASICO	ESPECIFICO	UTIL	$(T_e - T_{s1})/I$	$Q_u/(I \cdot A)$
	(W/m^2)	$(^{\circ}\text{C})$	(m/s)	$(\text{kg/m}^2\text{s})$	$(^{\circ}\text{C})$	$(^{\circ}\text{C})$	$(^{\circ}\text{C})$	$(^{\circ}\text{C})$	(kg/m^3)	$(\text{J/kg}^{\circ}\text{C})$	(WATT)	$(^{\circ}\text{C m}^2/\text{wt})$	$(\%)$
12:02	994.68	21.3	0	0.3788	45.7	54.2	8.5	49.95	0.00035915	1.9465907	5.558049339	0.024481278	51.25517951
12:03	983.05	20.6	1.5	0.3788	45.4	53	7.6	49.2	0.00033604	1.9434512	4.963385782	0.025727808	46.40694083
12:04	994.91	19.7	0	0.3788	45	53.8	8.8	49.25	0.000338032	1.9436805	5.851615598	0.025429436	51.28892812
12:05	982.8	19.7	0	0.3788	45	53	8	49	0.000338073	1.942816	5.227886043	0.025760636	48.85950871
12:06	920.58	20.7	0	0.3788	44	53.3	9.3	48.65	0.000338132	1.9411489	6.068081981	0.025748478	80.56640078
12:07	887.48	21.5	0	0.3788	44	53	9	48.5	0.000338157	1.940821	6.870875592	0.026978094	62.70680878
12:08	929.4	21.4	1	0.3788	43	53.3	10.3	48.18	0.000338218	1.9390558	6.714888434	0.022740801	68.40855644
12:09	945.34	21.4	0.9	0.3788	42	51.7	44.85	0.000338433	1.9326141	6.310148918	6.021751102	0.021751102	61.35115661
12:10	954.2	21.2	0	0.3788	41.8	52	10.8	48.75	0.000338449	1.931965	6.828425173	0.021274285	65.78247473
12:11	894	21.5	0	0.3788	41.2	51.2	10	48.2	0.000338841	1.930832	6.49825277	0.022036794	69.80826394
12:12	920.58	21.3	0	0.3788	40.7	51.4	10.7	48.05	0.000338866	1.9307853	6.95138712	0.021074358	69.40970987
12:13	920.55	21.3	0	0.3788	40.7	50.4	9.7	45.58	0.00033886	1.9281723	6.298454723	0.021074358	62.8665796
12:14	885.15	21.3	0	0.3788	40.4	50.2	9.8	45.3	0.000338892	1.9271268	6.358703128	0.021578284	66.02718474
12:18	754.15	22.2	0	0.3788	40.2	48.6	9.3	44.88	0.000338767	1.9257421	6.029272767	0.023861931	73.48709263
12:16	844.39	22.4	0	0.3788	39.8	48.5	9.7	44.88	0.0003388	1.9244048	6.288889998	0.027002281	69.87327054
SUM.	12592.87	317.1	3	5.682	638.6	779.2	140.6	708.9	0.000484442	29.0299854	91.51095189	0.355511784	942.4092015
PROM.	806.1913333	21.14	0.2	0.3788	42.87333333	51.86666667	9.373333333	47.26	0.000338364	1.93953038	6.100730126	0.022700798	62.8272801

TABLA 9 NORMALIZACION DEL COLECTOR SOLAR EVACUADO OPERADO CON FLUIDO NEGRO(FEBRERO)

RESULTADOS EXPERIMENTALES.

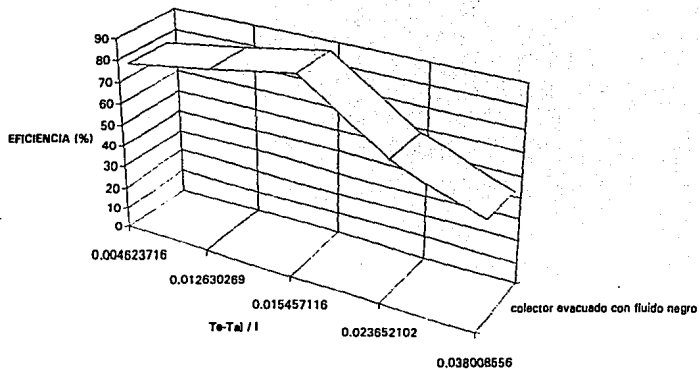
Lecturas promedio tomadas en marzo de los años 1983,1984,1985 y 1986.

HORA	IRRADIACION	TEMPERATURA AMBIENTE	VELOCIDAD VIENTO	FLUJO FLUIDO NEGRO	TEMPERATURA ENTRADA	TEMPERATURA SALIDA FLUIDO NEGRO	DETEMP. FLUIDO NEGRO	TEMPERATURA PROMEDIO	RENDIMIENTO SOLAR	RENDIMIENTO ESPECIFICO	CALOR UTE.		EFICIENCIA
	I	Ta	Ve	V	Te	Ts1	Ts1-Te	(Ts1 + Te)/2	M	Cp	Qc	(Ts-Te) / (C m ² /hr)	Qc/(IUA) (%)
	(kwh/m ²)	(C)	(m/seg)	(m ³ /seg)	(C)	(C)	(C)	(C)	(kg/m ²)	(KJ/kgC)	(mWH)	(C m ² /hr)	(%)
12.40	773.83	22.5	0	0.7578	60.5	63.5	3	62	0.000687801	1.997032	6.00068211	0.049118723	47.83318419
12.41	759.48	23	0.5	0.7578	59.4	63.2	3.8	61.3	0.000688035	1.9941018	6.042095848	0.047928792	81.28376071
12.42	819.85	22.7	0	0.7578	59.3	63.5	4.2	61.4	0.000688002	1.9945204	6.595842826	0.044453208	62.74918313
12.43	906.4	22.7	0	0.7578	59	62.5	3	60.9	0.000688303	1.990753	3.991277108	0.040048544	40.47278488
12.44	911.7	23.1	0.28	0.7578	59.8	63	3.2	61.4	0.000688002	1.9945204	4.263499087	0.04028447	42.96187186
12.45	952.42	23.1	0.28	0.7578	59	62	3	60.5	0.000688303	1.990753	3.991277108	0.037893488	38.91717962
12.48	970.12	23.8	0	0.7578	58.9	62	3.1	60.45	0.00068219	1.9908437	4.123985119	0.036181091	39.0717771
12.47	964.81	24.4	0	0.7578	59	62.2	3.2	60.8	0.000688269	1.9911718	4.269044473	0.03661983	40.86388118
12.48	989.06	23.9	0	0.7578	58.8	62	3.4	60.3	0.00068837	1.9899188	4.521997288	0.035190538	42.15004747
12.49	1009.1	23.8	0.28	0.7578	59	62	3	60.8	0.000688303	1.990753	3.991277108	0.034487989	38.25371343
12.50	1040.93	24	0	0.7578	59	62.8	3.8	60.78	0.00068219	1.9917996	4.68385238	0.033623779	41.13222318
12.51	977.2	23.9	0.8	0.7578	59	62.5	3.5	60.75	0.00068219	1.9917996	4.68385238	0.036021289	43.81674118
12.52	1014.38	24.1	0.8	0.7578	58.7	63.8	4.8	61.1	0.000688102	1.9932848	6.292181398	0.034109608	67.81879499
12.53	994.28	24.1	0.8	0.7578	59.2	63	3.8	61.1	0.000688102	1.9932848	6.04047894	0.036890884	47.28457856
12.54	984.8	24.2	0.8	0.7578	59	63.8	4.8	61.4	0.000688002	1.9945204	6.3952488	0.035344302	59.89922854
SUM	14064.73	353.2	3.25	11.384	887.4	940.7	63.3	914.06	0.010022352	29.8867133	70.96477931	0.076572845	701.4799876
PROM.	936.382	23.84888887	0.216666667	0.7578	58.18	62.71333333	3.883333333	60.93666667	0.000688187	1.992580887	4.730068287	0.036436296	48.78908841

TABLA 10 NORMALIZACION DEL COLECTOR SOLAR EVACUADO OPERADO CON FLUIDO NEGRO(MARZO)

IRRADIACION	TEMPERATURA ENTRADA	PURAS	TEMPERATURA ENTRADA	TEMPERATURA SALIDA	Fe-59	Co-60	Co-60	Co-60	Co-60	Co-60
(mrad)	(°C)	(mg)	(°C)	(°C)	(Ct)	(Ct)	(Ct)	(Ct)	(Ct)	(Ct)
1056.87	23.12	0.000338437	28.006667	61.706667	0.004423716	951183	12330	8.732584171	76.843088331	
787.291	17.23	0.000338787	27.3	38.47	0.012830269	478374.6	8702	7.093643973	61.79862584	
748.308887	19.308887	0.000338096	31.47333	42.8	0.015457118	873476.0003	10184.003	7.248215459	89.02714881	
808.191333	21.14	0.000338364	42.87333	61.848887	0.023682102	815572.1997	8438.0033	6.101812357	61.88981308	
836.982	23.546667	0.000468197	59.16	82.713333	0.038008584	643283.8	3187.9997	4.73078429	44.40818484	

TABLA 11 RESUMEN DE RESULTADOS EXPERIMENTALES PROVENIENTES DE LAS TABLAS 6,7,8,9 Y 10.



GRAFICA 24 RESULTADOS EXPERIMENTALES DEL COLECTOR EVACUADO OPERADO CON FLUIDO NEGRO.

IRRADIACION	TEMPERATURA	FLUJO	TEMPERATURA	TEMPERATURA	OP.TEMP.	TEMPERATURA	FLUJO	CALOR	CALOR		EFICIENCIA
I	AMBIENTE	FLUJO NEGRO	ENTRADA	SALIDA FLUJO NEGRO	FLUJO NEGRO	PROMEDIO	MASCO	ESPECIFICO	UTIL.	(T _e -T _a)/I	Q _w /(I/A)
(w/m ²)	T _a	V	T _e	T _{s1}	T _{s1} -T _e	(T _{s1} +T _e)/2	M	C _p	Q _u	(T _e -T _a)/I	Q _w /(I/A)
	°C	kg/m ² s	°C	°C	°C	°C	kg/m ² s	kJ/kg°C	kJ/m ² s	°C m ² /w	kJ/m ² s
700	20	0.378783	20	27.0051791	7.0061791	23.50258955	0.000340319	1.83189184	4.376738637	0	57.48780189
700	20	0.378783	25	31.4755189	6.8755189	28.33715945	0.000329611	1.864121861	4.208740775	0.007142857	55.2355669
700	20	0.378783	30	38.3300718	6.3300718	33.1850389	0.000338708	1.878328864	4.022894648	0.014285714	52.82181863
700	20	0.378783	35	40.868401	8.868401	37.8642006	0.000337898	1.894501863	3.824705269	0.031428571	60.21828691
700	20	0.378783	40	45.8900889	5.8900889	42.79803445	0.000337095	1.818640014	3.611688612	0.028571428	47.42228186
700	20	0.378783	45	50.196828	5.196828	47.597319	0.000336192	1.838742377	3.382331562	0.058714286	44.42395372
700	20	0.378783	50	54.7818707	4.7818707	52.39083335	0.000335492	1.866808037	3.13813167	0.042857143	41.21758758
700	20	0.378783	55	58.2507289	4.2507289	57.17536486	0.000334882	1.878826078	2.87857893	0.06	37.79548311
700	20	0.378783	60	63.8012792	3.8012792	61.9506486	0.000333894	1.886829587	2.601188607	0.087142857	34.15386828
700	20	0.378783	65	68.4331838	3.4331838	66.7185918	0.000333087	2.018778854	2.306364039	0.064285714	30.78300996
700	20	0.378783	70	72.8687099	2.8687099	71.47285495	0.000332303	2.036888371	1.992864428	0.071428571	26.17705187
700	20	0.378783	75	77.438128	2.438128	76.218263	0.000331609	2.056363838	1.682906328	0.078571428	21.8291272
700	20	0.378783	80	81.9112018	1.9112018	80.9638013	0.000330718	2.078380147	1.312415167	0.085714286	17.2324201
700	20	0.378783	85	86.2832128	1.3832128	85.68185845	0.000329828	2.098182414	0.942844183	0.092857143	12.37918142
700	20	0.378783	90	90.784433	0.784433	90.3972165	0.00032914	2.118802748	0.55261541	0.1	7.264516028
700	20	0.378783	95	95.2041422	0.2041422	95.1020711	0.000328384	2.13889727	0.163150899	0.107142857	1.87860358
700	20	0.378783	100	99.5520235	-0.4078765	99.79601178	0.000327589	2.159244816	0.288028302	0.114285714	3.781684214

TABLA 12 RESULTADOS TEORICOS DEL COLECTOR SOLAR EVACUADO OPERADO CON FLUIDO NEGRO.

IRRADIACION (w/m ²)	TEMPERATURA AMBIENTE T _a (°C)	FLUIDO FLUIDO NEGRO V _f (m ³ /seg)	TEMPERATURA ENTRADA T _e (°C)	TEMPERATURA SALIDA FLUIDO NEGRO T _{s1} (°C)	DF.TEMP. FLUIDO NEGRO T _{s1} -T _a (°C)	TEMPERATURA PROMEDIO (T _{s1} + T _e)/2 (°C)	FLUIDO MABICO M (kg/seg)	CALOR ESPECIFICO C _p (KJ/kg°C)	CALOR UTIL Q _u (WATT)		EFICIENCIA Q _u /(VA) (%)
800	20	0.378783	20	28.6578065	8.6578065	24.3290326	0.000340181	1.838340789	8.417268725	0	62.2385284
800	20	0.378783	28	33.3297089	8.3297089	28.1628446	0.000338373	1.838576709	6.284276741	0.00825	60.36872519
800	20	0.378783	30	37.877756	7.877756	32.988878	0.000338567	1.878777443	6.077268493	0.0125	83.33279519
800	20	0.378783	35	42.813511	7.813511	38.8062555	0.000337782	1.899945078	4.883808834	0.01875	56.132514
800	20	0.378783	40	47.232536	7.232536	43.818268	0.000338958	1.920077888	4.87834582	0.025	53.7808695
800	20	0.378783	45	51.8347938	6.8347938	48.4171968	0.000338186	1.940174386	4.87395413	0.03128	51.2108848
800	20	0.378783	50	56.678846	6.678846	53.209323	0.000335355	1.960234278	4.219450082	0.0378	48.42714384
800	20	0.378783	55	60.864683	6.864682	57.9924281	0.000334888	1.992258304	3.963000277	0.04375	45.65377157
800	20	0.378783	60	65.532588	6.532588	62.766294	0.000333786	2.000239707	3.692529825	0.05	42.43485323
800	20	0.378783	65	70.0814068	6.0814068	67.5307033	0.000332861	2.020182824	3.404520528	0.05625	39.11443834
800	20	0.378783	70	74.5708786	4.8708786	72.2814283	0.000332187	2.040056848	3.097451834	0.0625	35.88623405
800	20	0.378783	75	79.0805725	4.0805725	77.0302828	0.000331374	2.068948778	2.771800234	0.06878	31.84812138
800	20	0.378783	80	83.8300882	3.8300882	81.7880296	0.000330583	2.078768814	2.427046033	0.078	27.88419186
800	20	0.378783	85	87.9789123	2.9789123	86.48945818	0.000329783	2.098844882	2.08284432	0.08125	23.89268122
800	20	0.378783	90	92.4067083	2.4067083	91.20335416	0.000329005	2.11927724	1.87808548	0.0878	19.27447449
800	20	0.378783	95	96.8130289	1.8130289	95.90851345	0.000328218	2.138984885	1.272824804	0.09375	14.52385818
800	20	0.378783	100	101.1974818	1.1974818	100.5987289	0.000327435	2.158808267	0.848383117	0.1	9.72384098

TABLA 13 RESULTADOS TEORICOS DEL COLECTOR SOLAR EVACUADO OPERADO CON FLUIDO NEGRO.

IRADIAACION	TEMPERATURA AMBIENTE	FLUJO FLUIDO NEGRO	TEMPERATURA ENTRADA	TEMPERATURA SALIDA FLUIDO NEGRO	DE.TEMP. FLUIDO NEGRO	TEMPERATURA PROMEDIO	FLUJO MASICO	GRASA ESPECIFICO	CALOR UTIL	TEMPERATURA (T _e -T _{amb})	EFICIENCIA
I	T _a	V	T _e	T _{s1}	T _{s1} -T _e	(T _{s1} +T _e)/2	M	C _p	Q _u	(T _e -T _{amb})	Q _u (D/A)
(W/m ²)	(C)	(W/m ²)	(C)	(C)	(C)	(C)	(kg/m ³)	(KJ/kgC)	(W/m ²)	(C)	(%)
900	20	0.378783	20	30.3099004	10.3099004	25.1548502	0.000340043	1.842798822	6.460504825	0	65.87737771
900	20	0.378783	25	34.8753498	9.8753498	29.8878749	0.000338236	1.863028407	6.304475959	0.005555556	64.38284888
900	20	0.378783	30	39.8748755	9.6248755	34.8124375	0.000338429	1.883224884	6.134302713	0.011111111	62.84808529
900	20	0.378783	35	44.2980403	9.2980403	39.81902015	0.000337824	1.903387078	5.968492231	0.016666667	60.76870334
900	20	0.378783	40	48.8730876	8.8730876	44.4381336	0.000336831	1.923811333	5.788872384	0.022222222	58.70784828
900	20	0.378783	45	53.4735386	8.4735386	49.2247883	0.000336019	1.943656112	5.623981867	0.027777778	56.81512344
900	20	0.378783	50	58.0549926	8.049926	54.0274963	0.000335218	1.96308991	5.463223089	0.033333333	54.14680089
900	20	0.378783	55	62.8183378	7.8183378	59.8081685	0.000334418	1.982087818	5.3063842017	0.038888889	51.8118487
900	20	0.378783	60	67.183138	7.183138	63.581588	0.000333621	2.000652444	4.788278289	0.044444444	48.88991104
900	20	0.378783	65	71.8889324	6.6889324	68.3444782	0.000332825	2.018589977	4.506024005	0.05	48.00718959
900	20	0.378783	70	76.195354	6.195354	73.087877	0.000332031	2.043488876	4.203954888	0.065555556	42.32848858
900	20	0.378783	75	80.8818096	5.6818096	77.8409648	0.000331238	2.063342237	3.882347286	0.081111111	39.858387
900	20	0.378783	80	85.1481903	5.1481903	82.8740915	0.000330447	2.083195182	3.543878011	0.096666667	36.19154423
900	20	0.378783	85	89.93377	4.93377	87.298888	0.000329658	2.102924761	3.184619188	0.072222222	32.92260808
900	20	0.378783	90	94.0182257	4.0182257	91.00811285	0.000328871	2.122650148	2.806031896	0.077777778	28.8481907
900	20	0.378783	95	98.4211328	3.4211328	96.7105488	0.000328088	2.142330441	2.404802233	0.083333333	24.5580385
900	20	0.378783	100	102.8070899	2.8070899	101.401045	0.000327301	2.161964774	2.082798089	0.088888889	20.24814316

TABLA 14 RESULTADOS TEORICOS DEL COLECTOR SOLAR EVACUADO OPERADO CON FLUIDO NEGRO.

IRRADIACION I (W/m ²)	TEMPERATURA	FLUIDO	TEMPERATURA	TEMPERATURA	DETEMP.	TEMPERATURA	FLUIDO	CALOR	CALOR		EFICIENCIA
	AMBIENTE	FLUIDO NEGRO	ENTRADA	Salida NEGRO	FLUIDO NEGRO	PROMEDIO	MASICO	ESPECIFICO	UTIL		
	T _a	V	T _e	T _{a1}	T _{a1} -T _e	(T _{a1} + T _e)/2	M	C _p	Q _u	(T _a -T _e)/ (K)	Q _u /(I/A) (%)
	(°C)	(m ³ /seg)	(°C)	(°C)	(°C)	(°C)	(Kg/m ³)	(KJ/kg°C)	(WATT)		
1000	20	0.378783	20	31.8614589	11.8614589	25.98072645	0.000319906	1.848215329	7.506433791	0	68.93295264
1000	20	0.378783	25	36.6244376	11.6244376	30.8122188	0.000328098	1.866479948	7.387322655	0.006	67.82251821
1000	20	0.378783	30	41.271428	11.271428	35.635713	0.000338182	1.886671095	7.19393268	0.01	66.12070476
1000	20	0.378783	35	45.9019648	10.9019648	40.45099245	0.000337487	1.9066227654	7.015749061	0.015	64.4829877
1000	20	0.378783	40	50.5184765	10.5184765	45.25783825	0.000336684	1.926549311	6.822726589	0.02	62.70477163
1000	20	0.378783	45	55.1120629	10.1120629	50.05603145	0.000335882	1.947036548	6.613070146	0.025	60.78143516
1000	20	0.378783	50	59.6907065	9.6907065	54.84638325	0.000335081	1.967082649	6.387482153	0.03	58.70829185
1000	20	0.378783	55	64.2511705	9.2511705	59.62558525	0.000334283	1.9870927	6.145093097	0.035	56.48063508
1000	20	0.378783	60	68.7930185	8.7930185	64.39650945	0.000333485	2.007083789	5.885396723	0.04	54.09371988
1000	20	0.378783	65	73.315817	8.315817	69.1879085	0.000332689	2.026935005	5.60785368	0.045	51.54277188
1000	20	0.378783	70	77.8191321	7.8191321	73.90858605	0.000331896	2.046665543	5.311941704	0.05	48.8229936
1000	20	0.378783	75	82.302533	7.302533	78.6512665	0.000331103	2.066274202	4.997136494	0.06	46.92956336
1000	20	0.378783	80	86.7655915	6.7655915	83.38279525	0.000330312	2.085840383	4.687911566	0.06	42.85766874
1000	20	0.378783	85	91.2078817	6.2078817	88.10294045	0.000329523	2.106303056	4.3087405	0.08	39.80279431
1000	20	0.378783	90	95.6298809	5.6298809	92.81449045	0.000328736	2.126201487	3.934093897	0.07	36.15894947
1000	20	0.378783	95	100.02847	5.02847	97.514235	0.000327951	2.145564588	3.584447894	0.075	32.62745202
1000	20	0.378783	100	104.4059335	4.4059335	102.202968	0.000327167	2.165377619	3.121259411	0.06	28.68804608

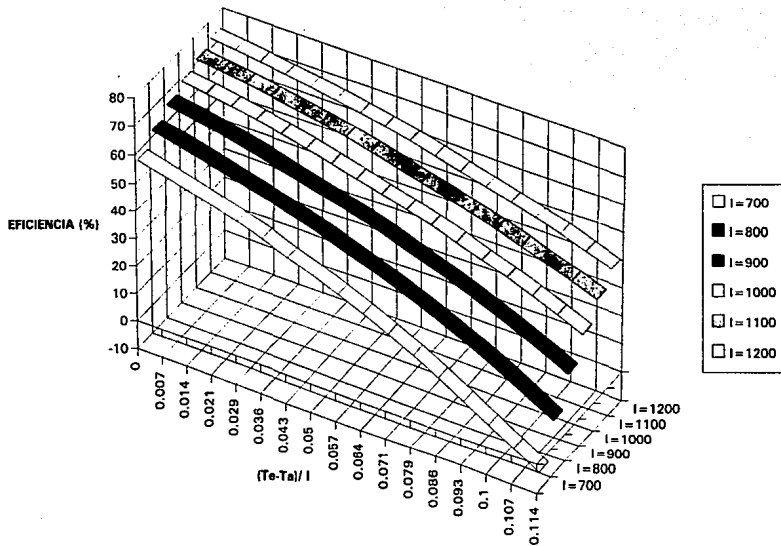
TABLA 15 RESULTADOS TEORICOS DEL COLECTOR SOLAR EVACUADO OPERADO CON FLUIDO NEGRO.

IRRADIACION	TEMPERATURA AMBIENTE	FLUJO FLUIDO NEGRO	TEMPERATURA ENTRADA	TEMPERATURA SALIDA FLUIDO NEGRO	DIFF.TEMP. FLUIDO NEGRO	TEMPERATURA PROMEDIO	FLUJO MASICO	CALOR ESPECIFICO	CALOR UTL		EFICIENCIA
I	Ta	V	Te	Ts1	Ts1-Ta	(Ts1 + Ta)/2	M	Cp	Qu	(Ts-Ta)/I	Qm/(I.A)
(w/m2)	(C)	(m3/mg)	(C)	(C)	(C)	(C)	(kg/mg)	(KJ/KgC)	(WATT)	(C m2/w)	(%)
1100	20	0.378783	20	33.6124721	13.6124721	26.80623606	0.000328767	1.849710904	8.855046487	0	71.46267427
1100	20	0.378783	25	38.2729884	18.2729884	31.8284842	0.000328968	1.8699320323	8.432827101	0.004854505	70.29434409
1100	20	0.378783	30	42.9174037	22.9174037	36.46870185	0.000329184	1.890118126	8.236166188	0.008292099	68.98534888
1100	20	0.378783	35	47.5453408	27.5453408	41.2726704	0.000329375	1.910267398	8.084568913	0.013636264	67.56164508
1100	20	0.378783	40	52.1563416	32.1563416	46.0781708	0.000329547	1.930383223	7.897525026	0.018181818	66.98678192
1100	20	0.378783	45	56.7499884	36.7499884	50.8748842	0.000329748	1.950482884	7.894559655	0.022727273	64.28277787
1100	20	0.378783	50	61.3257838	41.3257838	55.6828918	0.000329945	1.970504845	7.476133295	0.027272727	62.45923852
1100	20	0.378783	55	65.8833503	45.8833503	60.44187518	0.000330146	1.990508952	7.238742878	0.031818182	60.48414838
1100	20	0.378783	60	70.4222327	50.4222327	65.21111635	0.000330348	2.010473733	6.964871241	0.036363636	58.36289473
1100	20	0.378783	65	74.9419964	54.9419964	69.9709982	0.000330584	2.030379558	6.712958528	0.040909091	56.09123102
1100	20	0.378783	70	79.4422086	59.4422086	74.7211043	0.00033078	2.040282543	6.422602048	0.045454545	53.86478884
1100	20	0.378783	75	83.9224388	63.9224388	79.4812194	0.000330968	2.070124664	6.112157085	0.05	51.0781867
1100	20	0.378783	80	88.3822587	68.3822587	84.19112935	0.000331177	2.089974087	5.784138553	0.054545455	48.33002133
1100	20	0.378783	85	92.821243	72.821243	88.9106215	0.000329388	2.109879882	5.435013984	0.059090909	45.41288423
1100	20	0.378783	90	97.2389697	77.2389697	93.61848485	0.000328601	2.129791184	6.065259788	0.063636364	42.32330638
1100	20	0.378783	95	101.6350197	81.6350197	98.31750985	0.000327818	2.149507096	6.474345217	0.068181818	39.05702884
1100	20	0.378783	100	106.0089784	86.0089784	103.0044892	0.000327033	2.168678792	6.246174186	0.072727273	35.60847433

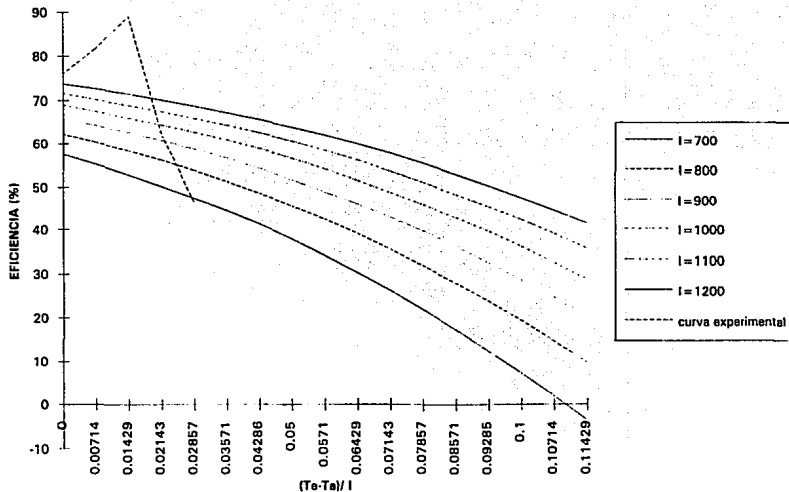
TABLA 16 RESULTADOS TEORICOS DEL COLECTOR SOLAR EVACUADO OPERADO CON FLUIDO NEGRO.

IRRADIACION	TEMPERATURA AMBIENTE	FLUJO FLUIDO NEGRO	TEMPERATURA ENTRADA	TEMPERATURA SALIDA FLUIDO NEGRO	DF.TEMP.	TEMPERATURA PROMEDIO	FLUJO MASICO	CALOR ESPECIFICO	CALOR UTE	EFICIENCIA	
I	Ta	V	Te	Ts1	Ts1-Te	(Ts1+Te)/2	M	Cp	Qu	Qu/(I/A)	
(w/m2)	(C)	(kg/m2s)	(C)	(C)	(C)	(C)	(kg/m2s)	(KJ/KgC)	(WATT)	(C.m2/w)	(%)
1200	20	0.378783	20	38.282942	18.262942	27.831471	0.000229629	1.853185338	9.606332974	0	75.67781494
1200	20	0.378783	25	39.820938	14.920938	22.480488	0.000328823	1.823279523	9.470957858	0.004186667	72.54103781
1200	20	0.378783	30	44.8828048	14.8828048	17.28140228	0.000328017	1.893569995	9.320992741	0.004833333	71.35240784
1200	20	0.378783	35	49.1881037	14.1881037	42.09408186	0.000327212	1.913705701	9.158941159	0.0125	70.12825579
1200	20	0.378783	40	53.7963979	13.7963979	48.99819896	0.000236409	1.933616461	8.978302184	0.018666667	68.74485505
1200	20	0.378783	45	58.387248	13.387248	51.8928248	0.000335608	1.863889512	8.778968783	0.020432323	67.23782003
1200	20	0.378783	50	62.8402196	12.8402196	56.4801098	0.000334808	1.97782674	8.688233926	0.025	65.60381377
1200	20	0.378783	55	67.814872	12.814872	61.257436	0.00033401	1.997823627	8.324779905	0.029166667	63.83889413
1200	20	0.378783	60	72.080773	12.080773	66.0283888	0.000333213	2.013882288	8.086391868	0.033232323	61.82851001
1200	20	0.378783	65	76.567488	11.867488	70.783743	0.000332418	2.033800748	7.820447887	0.0375	59.85528231
1200	20	0.378783	70	81.0848787	11.0848787	75.5322896	0.000331624	2.053878164	7.638524684	0.041666667	57.71894772
1200	20	0.378783	75	85.8416723	10.8416223	80.27081118	0.000330832	2.073613615	7.231397881	0.048833333	55.38784281
1200	20	0.378783	80	89.8981878	9.8981878	84.9980918	0.000330042	2.093306207	6.907838877	0.05	52.90701499
1200	20	0.378783	85	94.4338488	9.138489	89.71892495	0.000229254	2.113095048	6.683423107	0.054166667	50.27131689
1200	20	0.378783	90	98.8481877	8.8481877	94.42409285	0.000228467	2.132789287	6.196518898	0.059733333	47.47840067
1200	20	0.378783	95	103.2407828	8.2407828	99.1203913	0.000227682	2.152417958	5.812286111	0.0626	44.8182147
1200	20	0.378783	100	107.8112203	7.8112203	103.8056102	0.000226899	2.172030284	5.404232274	0.066866667	41.59271043

TABLA 17 RESULTADOS TEORICOS DEL COLECTOR SOLAR EVACUADO OPERADO CON FLUIDO NEGRO.



GRAFICA 25 EFICIENCIAS TEORICAS DEL COLECTOR EVACUADO OPERADO CON FLUIDO NEGRO.



GRAFICA 26 COMPARACION DE EFICIENCIAS TEORICAS Y EXPERIMENTALES DEL COLECTOR EVACUADO OPERADO CON FLUIDO NEGRO.

ESTA TESIS
SALIR DE LA
NO DEBE
BIBLIOTECA

V.3

DISCUSION DE LOS RESULTADOS.

DISCUSION DE LOS RESULTADOS EN PLACA PLANA.

El diseño de los colectores en placa plana con superficie ennegrecida y con fluido negro llevaba como finalidad el comparar una captación directa sobre el fluido de trabajo con una captación de radiación tradicional en la que existe un metal intermedio entre dicha radiación y fluido de trabajo con objeto de comparar sus eficiencias.

Como se observa en las últimas gráficas del capítulo, la eficiencia es mayor en los colectores de operados con fluidos negros, esto es debe a que las pérdidas que existen por la transferencia del metal al fluido han sido eliminadas.

Este fue el primer paso para la construcción de un colector en el cual la conversión fototérmica se llevara a cabo en el fluido negro.

Ahora una vez eliminadas las pérdidas por conducción, sólo nos restaba eliminar las perdidas por convección, evacuando nuestro sistema para aislarlo, para facilitar este trabajo tuvimos que cambiar la geometría del colector y la más sencilla fue la geometría cilíndrica, esto facilitaba su construcción, su adquisición y tenía bajo costo.

DISCUSION DE LOS RESULTADOS EN COLECTOR EVACUADO.

En las gráficas 24 y 25 se comparan los resultados experimentales con los valores numéricos calculados y se observa que nuestro sistema experimental, se compara bien con el modelo matemático, para poder definir una temperatura esperada en el sistema experimental, sólo tenemos que evaluar matemáticamente y darle un porcentaje por pérdidas que en este caso, como se ve en las dos gráficas, viene a ser solo del 3 %, pero por razones como son las pérdidas de calor en la tubería, aunque aislada es conveniente dar un margen mayor de tolerancia.

Ya que nuestro sistema funciona como se esperaba, podrá ser usado en los trabajos de sistemas de refrigeración por absorción para las zonas áridas y apartadas, como son los proyectos de los investigadores del Instituto de Investigación de Materiales de la UNAM, los cuales me brindaron asesoría para llevar a cabo este proyecto.

COMPARACION DE LOS RESULTADOS DEL COLECTOR PARA PLACA PLANA CON FLUIDO NEGRO CON EL COLECTOR DE TUBO EVACUADO CON FLUIDO NEGRO.

Una vez realizados los experimentos, procedimos a sacar las gráficas de eficiencia η contra $(T_e - T_a) / I$ y para esta comparación hemos fusionado los datos en una sola gráfica la No 26 para poder ver que la eficiencia del colector evacuado, con esto demostramos que al haber evacuado nuestro colector las ganancias son mayores,

aumentando así temperaturas de nuestro fluido con la que este podrá ser empleado en proyectos en los que se requieren temperaturas arriba de 100 °C.

Sugerimos, seguir realizando más experimentos de fluido negro, en tubos evacuados con el propósito de mejorar su diseño en busca de una mejor eficiencia.

C O N C L U S I O N E S

A continuación procederá a resumir las conclusiones obtenidas.

Se cumplieron los objetivos planteados en el presente trabajo indicados en el punto 2.3.

Se observó que el aceite usado de motores de combustión interna, escogido como fluido de trabajo en colectores solares de temperatura intermedia con fluido negro, cumplió satisfactoriamente con las características deseadas de estabilidad fototérmica y fotoquímica. Siendo adecuadas sus propiedades físicas y ópticas para la operación del colector diseñado, además de ser un fluido fácil de adquirir a un bajo costo.

Una vez decidido el uso de éste fluido, en la captación de energía solar, se realizaron las pruebas que compararon el comportamiento de un colector plano con fluido negro, contra otro tradicional de placa plana ennegrecida de las mismas dimensiones, ambos expuestos a las mismas condiciones, obteniendo como resultado, mejores eficiencias en el colector que utilizó fluido negro, debido a que el fenómeno fototérmico se lleva a cabo directamente en el seno del fluido, evitando las pérdidas de calor por conducción.

De la misma manera, se pensó que así como se eliminó la pérdida de calor por conducción, se podía eliminar también la pérdida de calor por convección, con lo que obtendríamos mayores ganancias energéticas. Se decidió fabricar y caracterizar un colector solar que estuviera aislado del aire que lo rodea, a través del vacío, utilizando para éste fin dos tubos concéntricos de cristal que evitarían los inconvenientes de las diferencias de dilataciones en el caso de utilizar diferentes materiales, tal como se presenta en III.2.

Para poder comparar los resultados experimentales, se construyó el modelo matemático mostrado en el capítulo IV y se observó que operan paralelamente en más del 96% del rango comparado.

El hecho de conocer la cantidad de energía renovable y limpia que proyectos como el presente pueden ofrecer, provocará un desarrollo de sistemas que requieran de esta energía, evitando gastar las fuentes de energía no renovables, así como de evitar la contaminación del ambiente, producto de la combustión y de desechos tóxicos como los radiactivos.

ANEXOS

ANEXO

INSTITUCIONES QUE TRABAJAN EN EL APROVECHAMIENTO DE LA ENERGIA SOLAR :

Fenómeno Fototérmico en México
Calentadores Solares de Agua.

Instituto de Investigación de Materiales, U.N.A.M.
Instituto de Ingeniería, U.N.A.M.
Instituto Tecnológico Regional de Ciudad Juárez.
Instituto de Investigaciones Eléctricas.
Proyecto Xochicalli, Casa Ecológica Autosuficiente.
Dirección General para el Aprovechamiento de Aguas Salinas y Energía Solar, SEDESOL.
Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey.
Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Azcapotzalco.
Sistemas de Ecodesarrollo.
Tecnología Adecuada.

DESTILADORES SOLARES.

Dirección General para el Aprovechamiento de Aguas Salinas y Energía Solar, SAHOP.
Instituto de Ingeniería, U.N.A.M.
Escuela Nacional de Arquitectura, Depto. de Investigaciones de Diseño Industrial, U.N.A.M.

SECADORES SOLARES.

Instituto de Investigaciones en Materiales, U.N.A.M.
Instituto de Ingeniería U.N.A.M.
Área de Ingeniería en Energía, Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad de Iztapalapa.
Instituto de Investigaciones Eléctricas.

REFRIGERADORES SOLARES

Instituto de Investigación de Materiales, U.N.A.M.
Instituto de Ingeniería U.N.A.M.
Área de Ingeniería en Energía, Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Iztapalapa.
Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Azcapotzalco.

CLIMATIZACION SOLAR DE VIVIENDAS.

Instituto de Investigación de Materiales, U.N.A.M.
Área de Ingeniería en Energía, Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Iztapalapa.
Proyecto Xochicalli, Casa Ecológica Autosuficiente
Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey

Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Azcapotzalco.

ESTUFAS SOLARES.

Instituto de Ingeniería U.N.A.M.

Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey.

Instituto Politécnico Nacional.

Centro de Enseñanza Técnica Industrial.

SOLARIMETRIA.

Instituto de Geofísica, U.N.A.M.

Instituto de Investigación de Materiales, U.N.A.M.

Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey

Instituto Tecnológico de Regional de Cd. Juárez.

BIBLIOGRAFIA

BIBLIOGRAFIA

- 1.- Methods of testing to determine the thermal performance of solar collector A.S.H.R.A.E. Standars 93-77 Corrected print 1987.
- 2.- I. Acevedo and A. Reis, Abstracts of The Solar World forum of the International Solar Energy Society, P. 532 Brighton U.K. August 1981.
- 3.- O.C. Baldonado and G.R. Schmith "Advanced Solar Collector Concepts Using Carbon", Proc. of the 1981, Annual Meeting of the American Section of the I.S.E.S. p.p. 235-239 May. 1981.
- 4.- D.C. Beekley and G.R. Mather, "Analysis and Experimental Tesis of a High-Performace, Evacuated Tubular Corrector" Internal Report, Omens-Illinois. Inc.
- 5.- Bereny, Justin. Survey of the Emerging Solar Industriy. San Mateo, California, 1977.
- 6.- Best Brown, Gustavo y Fernández Z. Jose Luis "Aplicaciones a baja temperatura de la Energía Solar" Boletín IIE, Junio de 1978.
- 7.- Best Brown, Gustavo "APROVECHAMIENTO DE LA ENERGIA SOLAR: Proyectos que se realizan en el IIM-UNAM" Ponencia presentada en la 2a. reunión sobre energía no convencional en Palmira, Mor. Febrero de 1978.
- 8.- R.B. Bird, W.E. Stewart, E.N. Light Foot "Transport Phenomena; John Willey & Sons, Inc. New York.
- 9.- A Castrejón, R. Martínez, L del Castillo, "Algunas Propuestas de los colectores solares evacuados" p.p. 74-77 Memorias del Sexto Congreso del ANIAC, Sep. 1980, México.
- 10.- R.H. Doremus, "Optical Properties of Small Gold Particles" J. Cheng Phys, Vol. 40 No 8 pp. 2389-2396 (1964).
- 11.- R.H. Doremus, "Optical Properties of Small Gold Particles" J. Cheng Phys. Vol. 42 No 1 pp 414-417 (1965).
- 12.- Fernández Z. Jose Luis " Investigaciones en el Instituto de Energía sobre fuentes no convencionales de energía (1978). Ponencia presentada en el 2o Encuentro Internacional sobre fuentes Alternativas en Morelia, Mich. Marzo de 1979.
- 13.- Galindo, Ignacio y Chávez, Adolfo. Estudio del Clima Solar en la Republica Mexicana, SARH y UNAM México 1987.
- 14.- F. Gutiérrez, A. Maldonado, J.A. Sandoval "Simulador de efectos solares para captadores planos" , Memorias de la VI Reunión Nacional de Energía Solar, Octubre de 1982, La Paz, Baja California Sur, México.
- 15.- Hernández Everardo. La distribución de la Radiación Global en México, evaluada mediante la Fotointerpretación de la nubosidad observada por satélites Meteorológicos. IIM-UNAM, México, D.F.

- 16.- B.J. Huang , T.Y. Wung and S. Nieh. "Thermal Analysis of a Black Liquid Cylindrical Parabolic Corrector", Solar Energy, Vol. 22 p.p.221-224, 1979.
- 17.- Y. Iwamoto, T. Itah, K. Kadotaw, Report 1,2 performance evaluation of heat collector Komatsu LTD., March 1982.
- 18.- Donald Kern "Procesos de Transferencia de calor" ED.CECSA, 7a. Edición. México 1973.
- 19.- R. Martínez A. Castrejón, L del Castillo, Z. Villarreal "Análisis teórico y experimental de un colector de alta temperatura" p.p. 78-72 Memorias del Sexto Congreso de la ANIAC, Sept. 1980.
- 20.- MC Veign, J.C. Sun Power: An Introduction to applications of solar energy. Pergamon, 1977.
- 21.- Y. Meas, J. Quintana, A. Sámano and A. Fernández, Proceeding of the 1981 Annual Meeting of the American Section of the International solar energy Society, Vol. 4.1 p.p. 231-234, Newark.
- 22.- Y. Meas, A. Sámano. A. Fernández, J. Quintana, Memorias de la III Reunión Latinoamericana y V Reunión Nacional de la Energía Solar, Vol. I p.p. 107-111 Guadalajara, México, 1981.
- 23.- Y. Meas, Y. J. Quintana, A. Sámano, A. Fernández. "Black- Fluids a new way to collect solar energy" Proceedings of the annual meetings of the American Section of the Internacional solar energy society, Vol I pp 231-239, May. 1981 Filadelfia, Pen. USA.
- 24.- Y. Meas, A. Sámano, J. Quintana, A. Fernández "Black Fluid Intermediate Temperature Vol. I Collector, U.N.I.T.A.R. , Israel, 1981.
- 25.- Y. Meas, A. Sámano, J. Quintana, A. Fernández "Black Fluid Intermediate Temperature Collector" Proceedings of the meeting of International Institute of Refrigeration. E-1, E-2, Jerusalem, Israel, March 14-19.1982.
- 26.- Meinel, Aden y Meinel, Merjoree, Applied Solar Energy And Introduction Addison Westley, 1977.
- 27.- Metz, William y Hammond, Allen, Solar Energy In America AAAS, Washing ton, D.C. 1978.
- 28.- J.E. Minardi and H.N. Chuang "Performance of a black fluid flat-plate solar collector" Solar Energy, Vol. 17 pp. 179-183, 1975.
- 29.- National Academy of Sciences. Energy for rural de development, Washington, D.C. 1976.
- 30.- J.J. O'Gallagher et al. "A. Stationary Evacuate Tube with Intergrated Concentrator for 100°C to 300°C", pp. 274-277 Proceeding of the American Section of the ISES, May. 1981.

- 31.- I. Pilatowsky y R. Best "Análisis sobre la utilización de absorbentes sólidos en la refrigeración solar" Memorias de la IV Reunión de la Asociación Nacional de Energía Solar" (1980)
- 32.- I. Pilatowsky and R. Best "Solar Absorption Refrigeration for Mexican Climates" U.N.I.T.A.R.
- 33.- I. Pilatowsky y. R. Best " Diseño de un refrigerador solar para la conversión de medicamentes en zonas áridas utilizando el sistema Ca Cl -NH " Memorias de la XX Convención Nacional del I.M.I.Q., P. 1 Acapulco, Gro. 1980.
- 34.- I. Pilatowsky y. R. Best "Análisis Termodinámico del Sistema Ca Cl -CH NH (Cloruro de Calcio- Monometilalúmina) para el acondicionamiento de aire utilizando energía solar: Memorias de la III Reunión Latinoamericana y V Reunión Nacional de energía solar p.p. 139-143, (1981).
- 35.- I. Pilatowsky, J. I. Hernández, A. Miranda "Diseño de un Sistema de Refrigeración solar por absorción sólido-gas (Ca Cl -CH NH) para la climatización de Escuelas Rurales, Memorias de la VI Reunión Nacional de Energía Solar, Octubre 1982.
- 36.- P.K.C. Pillai and R.C. Argawal, Sun World, Vol. 3, No 4, p.p. 108-110 1979.
- 37.- A. Sámano, J. Quintana, A. Fernández, Y. Meas "Proceedings of American Section of I.S.E.S. PP 253-255, Houston U.S.A., 1982.
- 38.- A. Sámano, Y. Meas, A. Fernández, J. Quintana " Una nueva alternativa en colectores de temperatura intermedia" Boletín No 1 Sociedad Mexicana de Física p.p. 161 Nov. 1981, México.
- 39.- D.D. Skillman And CH. R. Berry "Effect of Particle Shape on the spectral absorption of colloidal silver in gelatin "J. Chem. Phys. Vol 48 No 7 pp. 3797-3304 (1968).
- 40.- United Nations Industrial Development Organization Technology for solar energy utilization. New York 1978.
- 41.- G. Camera-Roda & M. Bertelà "A Model of Black Liquid Solar Collector". Istituto Impianti Chimici, Università di Bologna, Viale Risorgimento 2; I-40136 Bologna, Italy & Dipartimento di Energetica, Università di Firenze, Via S. Marta 3; I-50139, Firenze, Italy. Solar Energy Vol. 40, No.3 pp.197-209, 1988.
- 42.- Farrington Daniels y Robert A Alberty, "Fisicoquímica" Ed. CECSA, 5a. edición, México, 1976.
- 43.- Hobart H. Willard, Lynne L. Merritt, Jr., John A. Dean, "Métodos Instrumentales de Análisis" Ed. CECSA, México, 1978.
- 44.- Gilbert H. Ayres, "Análisis Químico Cuantitativo" Ed. Harla SA de CV, 1978.