

OICME
\$ 500.-

27 ENE. 1986

FECHA DE DEVOLUCION

El último sello marca la fecha tope para ser devuelto este libro.
El lector pagará \$500 pesos por cada día que pase una semana después del vencimiento.

22 ENE. 1987	10 ABR. 1992
28 ENE. 1987	07 MAYO 1992
4 FEB. 1987	
17 FEB. 1987	
26 FEB. 1987	
30 OCT. 1987	
30 ENE. 1989	
28 ABR. 1989	
5 MAYO 1989	
22 ABR. 1992	
10 FEB. 1992	
27 MAR. 1992	

UNIVERSIDAD DE MONTERREY

OCT. 7 1998

VENCIMIENTO

BIBLIOTECA

UNIVERSIDAD DE MONTERREY
DIVISION DE CIENCIAS NATURALES
Y EXACTAS



Título
= RENTABILIDAD DE UN SISTEMA DE CALENTAMIENTO DE
AGUA POR ENERGIA SOLAR, Y CONSTRUCCION DE
UN MODELO EXPERIMENTAL

REPORTE DEL PROGRAMA DE EVALUACION FINAL
PRESENTADO POR

Autor
CARLOS S. PEREZ DE LA GARZA
ALEJANDRO G. PRICE RAMIREZ WIELLA

EN OPCION AL TITULO DE
INGENIERO MECANICO ADMINISTRADOR

Clasif.
040.6218
P 4384
1985
C-1

BIBLIOTECA
UNIVERSIDAD DE MONTERREY

MONTERREY, N. L.

DICIEMBRE DE 1985

Folio
900574

A Mis Padres:

Dr. Carlos F. Pérez E.

Laura de la G. de Pérez

Por darme la oportunidad de desarrollarme y
darme su confianza.

A Mi Asesor:

Ing. Pedro García G.

Por su Apoyo y sus sabios consejos.

A Todos mis Maestros:

Por transmitirme sus conocimientos.

A Todos Mis Compañeros y Amigos.

A Mi Novia Sara:

Por su grán apoyo.

A Mis Padres:

Ing. J. Federico Price F.

Lic. Ma. Guadalupe Ramírez-Wiella de Price

Por toda la paciencia y la confianza que ellos
tuvieron en mi durante todos estos años.

A Mi Asesor:

Ing. Pedro García G.

Por sus enseñanzas y su ayuda.

A Mis Amigos y Compañeros:

Por demostrarme lo que es una verdadera amistad
y por ayudarme siempre tan desinteresadamente.

A Mi Novia Cata:

Por todo su apoyo, ánimo y su cariño, ya que sin
ella nunca hubiera logrado alcanzar esta meta.

Queremos expresar nuestro agradecimiento a las siguientes personas por su ayuda en el desarrollo de esta tesis.

Ing. Guadalupe Zavaia Z.

Ing. Ramiro Garza Cavazos

Ing. Miguel Angel Baz

Ing. Pedro García G.

Ing. Carlos López S.

Ing. Francisco Arce

Ing. Juan Antonio González Aréchiga

Ing. Federico Price F.

Dr. José Manrique

I N D I C E

Handwritten signature and date:
20/10/85

	<u>PAG.</u>
1. INTRODUCCION	1
1.1. Objetivo	3
1.2 Historia de la Energía Solar	3
1.3 Posibilidad de un Sistema de Calentamiento de Agua por Energía Solar en Monterrey	5
2. RADIACION SOLAR	
2.1 ¿Qué es el Sol?	7
2.2 Principios Teóricos	7
2.2.1. Radiación Directa	7
2.2.2. Radiación Difusa	7
2.2.4. Longitud de Onda	8
2.3 Constante Solar	8
2.4 Trayectoria de la Radiación en la Atmósfera	9
2.5 Cambios Estacionales	11
2.6 Efecto Témosifón	13
3. TRANSFERENCIA DE CALOR	
3.1 Conducción	14
3.2 Convección	15
3.3. Radiación	16
3.3.1 Leyes de Kirchhoff	17
3.3.2. El Cuerpo Perfectamente Negro	18
3.3.3. Leyes de la Emisión de Radiación del Cuerpo Negro	19
3.4 Pérdidas en los Colectores de Placa Plana	20
3.5 Efecto Invernadero	22

	<u>PAG.</u>	
4.	DISEÑO Y CONSTRUCCION DEL MODELO FISICO	
4.1.	Consideraciones del Diseño	24
4.2.	Selección de Dimensiones	25
4.3	Selección de Materiales	27
4.4	Construcción del Modelo Experimental Colector Plano Solar	33
4.5	Orientación del Colector	42
5.	RESULTADOS	
5.1.	Análisis y Comparación de Costos	44
5.2.	Ventajas y Desventajas del Calentador Solar Comparado con el Calentador de Gas	48
5.3.	Ganancia de Calor en los Dos Sistemas	48
5.4.	Conclusión	49

BIBLIOGRAFIA

INTRODUCCION

Debido a los altos costos para la obtención de combustibles fósiles, así como su peligro de extinción por ser recursos no renovables, se ha visto en la necesidad de buscar otras opciones que sustituyan a los ya existentes.

Los combustibles fósiles, o sea el carbón, gas natural y petróleo, proporcionan el 98% de nuestra energía actualmente, pero las reservas se están agotando debido al alto crecimiento de la población, y por lo mismo, por la alta demanda de energía.

La energía solar es un recurso que no ha sido explorado por muchos países; un recurso que no requiere ni transporte de combustible ni almacenamiento de electricidad, no se paga impuestos -- por su obtención, es un recurso renovable, no contaminante, no se necesita comprar, está ahí simplemente, al alcance de cualquier persona que lo sepa aprovechar.

Los países menos desarrollados económicamente son los que tienen una urgencia más inmediata de investigación sobre energía solar. México se encuentra dentro de este grupo de países y cuenta con la ventaja de ser un país altamente soleado, por lo que sería conveniente que se dirigiesen hacia el desarrollo y estudio de la energía solar parte de los recursos con los que se cuentan.

La energía solar no es ninguna teoría fantasiosa, sino que es algo que realmente funciona. Se ha demostrado que realmente funciona. Se ha demostrado que la energía solar puede calentar, enfriar, etc., pero el problema es hacerlo que funcione en una forma rentable para que compita con los métodos actuales.

1.1. OBJETIVO

Nuestro trabajo se basa en el estudio de la rentabilidad de un sistema de calentamiento de agua por medio de la energía generada por el sol. Con esto nos referimos al desarrollo de un calentador de tipo experimental para efectuar ciertas pruebas, ver cuáles son los gastos en los que se incurre al hacer dicho prototipo y eventualmente, comparar los resultados obtenidos con los sistemas rudimentarios de calentamiento de agua.

1.2. HISTORIA DE LA ENERGIA SOLAR

Aunque la aplicación de la energía solar parezca como un recurso nuevo, ha sido utilizado desde hace miles de años en diferentes áreas, como la agricultura, evaporación de agua para obtener sal, etc.

Remontándonos al año 1615, un francés, Solomon de Caux, desarrolló una de las primeras máquinas activas por energía solar, la cual expandía el aire calentándolo con energía solar y con esto bombeaba agua. 250 años después otro francés, August Mouchot hizo un intento de conseguir energía solar a mecánica, pero su proyecto era muy caro y no podía satisfacer las demandas del comercio.

En 1774 Joseph Prlestley expuso óxido de mercurio a los rayos solares concentrados y recogió el gas producido al ca-

lentarlo descubrió de esta manera el oxígeno.

En 1872 en Chile se construyó una planta de destilación solar dulce. Funcionó bien durante 40 años.

En 1901 se construyó el motor solar "Pasadena Ostrich Farm".

En 1908 se organizó la "Eastern Sun Power Company, Ltd." en Inglaterra.

En 1913 se construyeron calentadores solares parabólicos - en Egipto, pero con la Primera Guerra Mundial y el desarrollo de combustibles fósiles, se abandonó el proyecto por no ser rentable.

De 1913 a 1950, casi todos los proyectos de energía solar - estaban enfocados a la producción de energía. El hecho de calentar agua por medio del sol no es nada nuevo, ya que se ha venido haciendo durante siglos. A finales del Siglo XIX ya existían calentadores solares muy sofisticados.

En 1907 Frank Shuman usó colectores de energía solar para calentar agua y con ésta mover motores de vapor para bombear agua. El calentamiento de agua por energía solar es actualmente un método estándar para proporcionar agua caliente doméstica en partes de Australia, Israel y Japón. Ya en 1951 existían en Miami, Florida, más de 50,000 calentadores de agua solares.

En México se han hecho estudios importantes en algunas Universidades como el ITESO, ITESM, etc.

1.3. POSIBILIDAD DE UN SISTEMA DE CALENTAMIENTO DE AGUA POR ENERGIA SOLAR EN MONTERREY

México, como ya nombramos en la introducción, cuenta con mucha energía solar disponible, puesto que se encuentra en el cinturón de insolación anual máxima, formada por los paralelos 35° Norte y 35° Sur. En promedio, la energía solar que se recibe es de 5.5 KWH/M² anual.

En el norte del país (Monterrey), es la zona donde se encuentra la mayor insolación, por tener una proporción muy alta de radiación directa. ¿Porqué en Monterrey la mayor parte del año tenemos sol y no lo hemos aprovechado, puesto que no nos cuesta, ni contamina y está al alcance de todos?

Nosotros estudiamos la posibilidad de implantar sistemas de calentamiento de agua por energía solar aquí en Monterrey, presentando los resultados más adelante en nuestro trabajo.

La comparación se llevará a cabo a partir de los costos de materiales e instalación de nuestro modelo experimental y los resultados de la experimentación contra las siguientes consideraciones:

- Cantidad de gas usado en el calentamiento de agua doméstica.
- Costo del gas.
- Costos de instalación, compra y mantenimiento de sistemas convencionales.

Estudiaremos la posibilidad de implantar este sistema en diferentes estratos sociales y/o en diferentes zonas metropolitanas.

2. RADIACION SOLAR

2.1. ¿QUE ES EL SOL?

El sol es una esfera de materia de intensos gases calientes con un diámetro de 1.39×10^6 Kms. y tiene una distancia - promedio de la tierra de 1.5×10^8 Kms. Visto de la tierra, el sol rota sobre su propio eje una vez cada cuatro semanas, pero realmente no rota como un cuerpo sólido, en el ecuador tardando como 27 días y en las regiones polares como 30 - - días por cada rotación sobre su eje.

La superficie del sol está a una temperatura efectiva de -- cerca de $5,762^\circ\text{K}$.

La temperatura en las regiones centrales varía de 8×10^6 a 40×10^6 °K, y la densidad es de 80 a 100 veces la del agua.

En el sol ocurre una reacción termonuclear. (Ver Apéndice A-3)

2.2. PRINCIPIOS TEORICOS

2.2.1. RADIACION DIRECTA

Es la radiación solar recibida, sin ningún cambio en su dirección. En días claros, sin nubosidad, la radiación llega a la tierra casi como pasa a la atmósfera, sin obstáculos - que la debiliten.

2.2.2. RADIACION DIFUSA

Es la radiación solar que nos llega de todas direcciones - después de ser desviada por las nubes, polvo o mezcla de - partículas en el aire.

2.2.4. LONGITUD DE ONDA

El sol emite radiación en diferentes longitudes de onda. Los rayos infrarrojos, que son los que nos abastecen de calor, nos llegan en una longitud de onda larga. Esta longitud de onda (λ) llega hasta $\lambda > 0.78$ Mm (microns). La radiación visible, que es la que se puede ver, tiene una longitud de onda de $0.38 < \lambda < 0.78$. Por último los rayos ultravioleta, que son los que tienen una longitud de onda corta, o sea de 0.38 Mm.

2.3 CONSTANTE SOLAR

La constante solar es la energía del sol por unidad de tiempo recibido en una unidad de área perpendicular a la radiación, o sea, la cantidad de energía solar que incide en la parte exterior de la atmósfera terrestre.

Su magnitud es de $2 \text{ Cal/cm}^2\text{-min}$, ó de 1353 Watt/M^2 o de $1160 \text{ K Cal/M}^2\text{-Hr}$.

Cabe mencionar que no toda la cantidad de energía atraviesa la atmósfera y llega a la superficie terrestre.

(Ver Fig. 2-1, en la siguiente página).

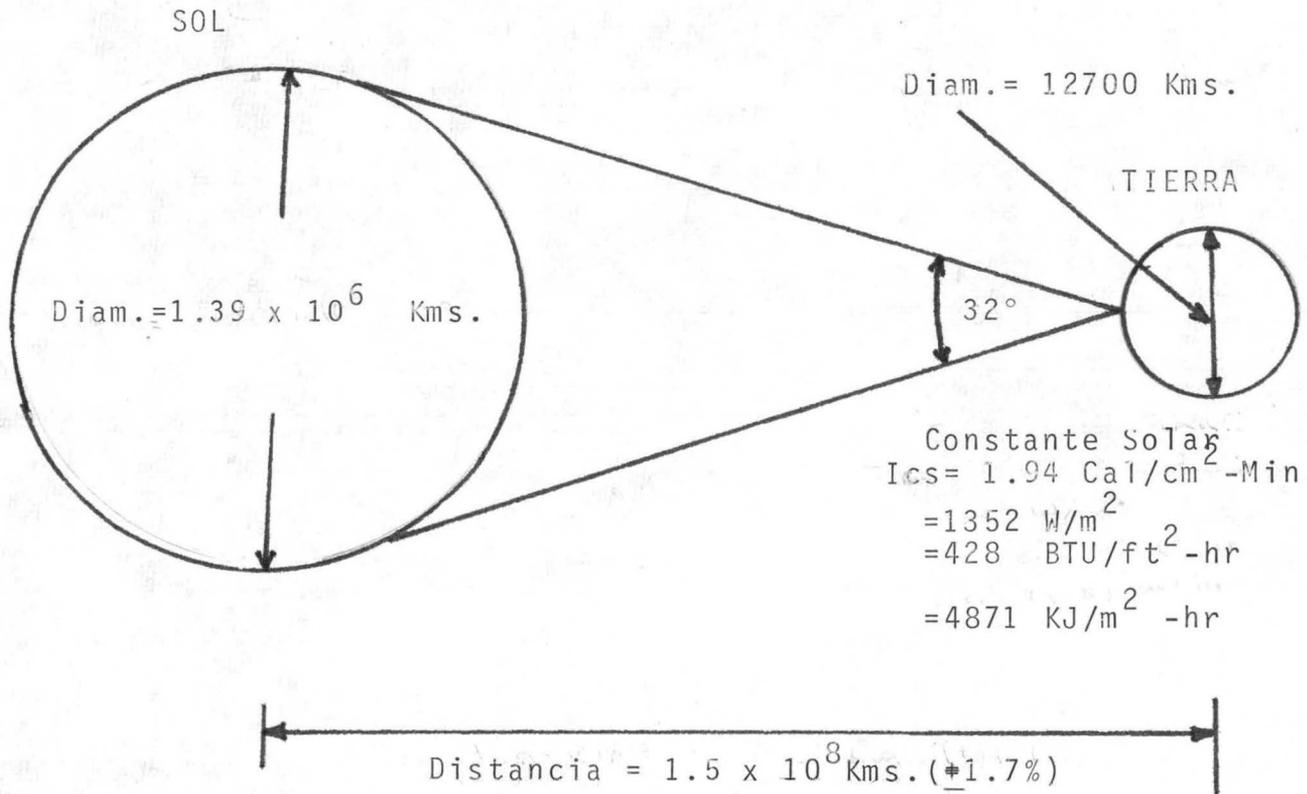


FIG. 2-1

2.4 TRAYECTORIA DE LA RADIACION EN LA ATMOSFERA

La radiación emitida por el sol tarda aproximadamente 8 minutos en llegar a la tierra. En la parte exterior de la atmósfera, la radiación puede considerarse como una constante (constante solar), y es de $2 \text{ Cal/cm}^2\text{-min}$.

Una gran parte de esta radiación se refleja al espacio exterior por la atmósfera, especialmente los rayos ultravioleta, los cuales son los que mayor contenido de energía -- tienen. Estos son rebotados en la capa de ozono en la parte superior de la atmósfera, haciendo posible la vida en -

la tierra, ya que si llegaran directamente nos quemarían.

De la energía restante, mucha es dispersada por las nubes, partículas de polvo, contaminación, gotas de agua, etc. - De esta forma, las $2 \text{ Cal/cm}^2\text{-min}$, incidentes en la atmósfera exterior, se reducen de tal manera que cuando alcanzan la superficie de la tierra su valor está entre 1.5 y 0.7 -- $\text{Cal/cm}^2\text{-min}$.

Parte de esta radiación llega directamente del sol, pero a veces una cantidad que puede llegar al 10% del total, nos llega como radiación difusa, incluso cuando el sol no está oculto tras las nubes. En tiempo nubloso, la radiación total se reduce mucho, y la mayor parte de la luz que atraviesa las nubes, es probablemente luz difusa. (Ver Fig.2-2)

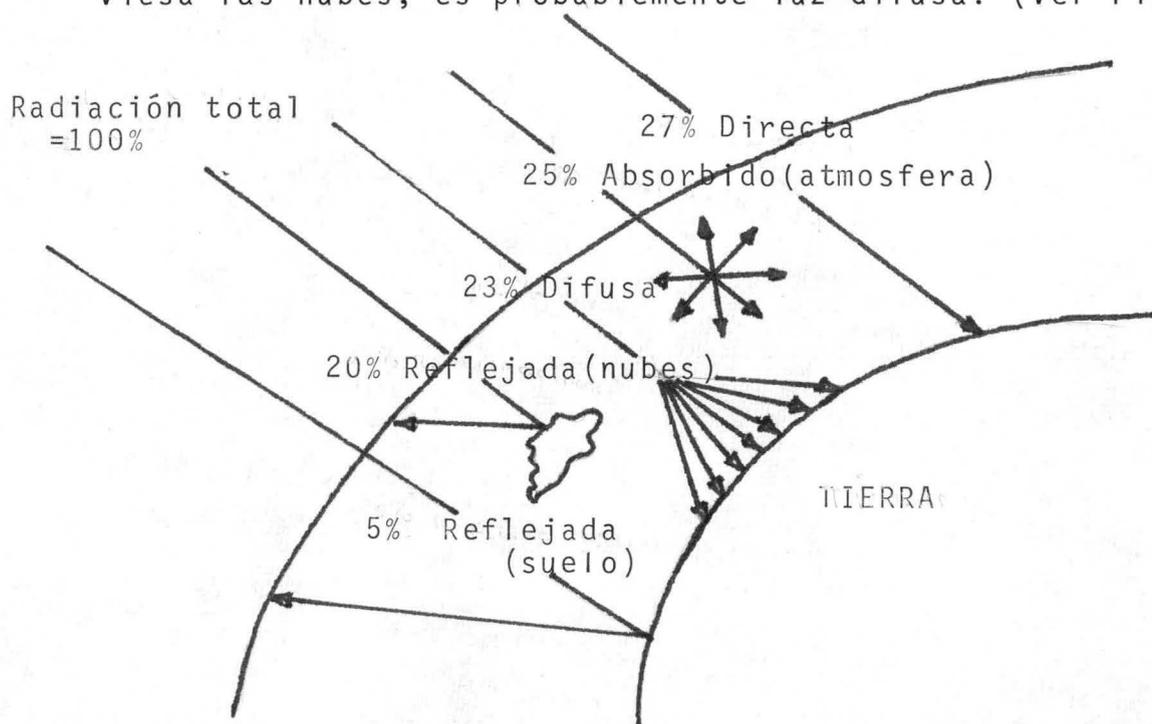


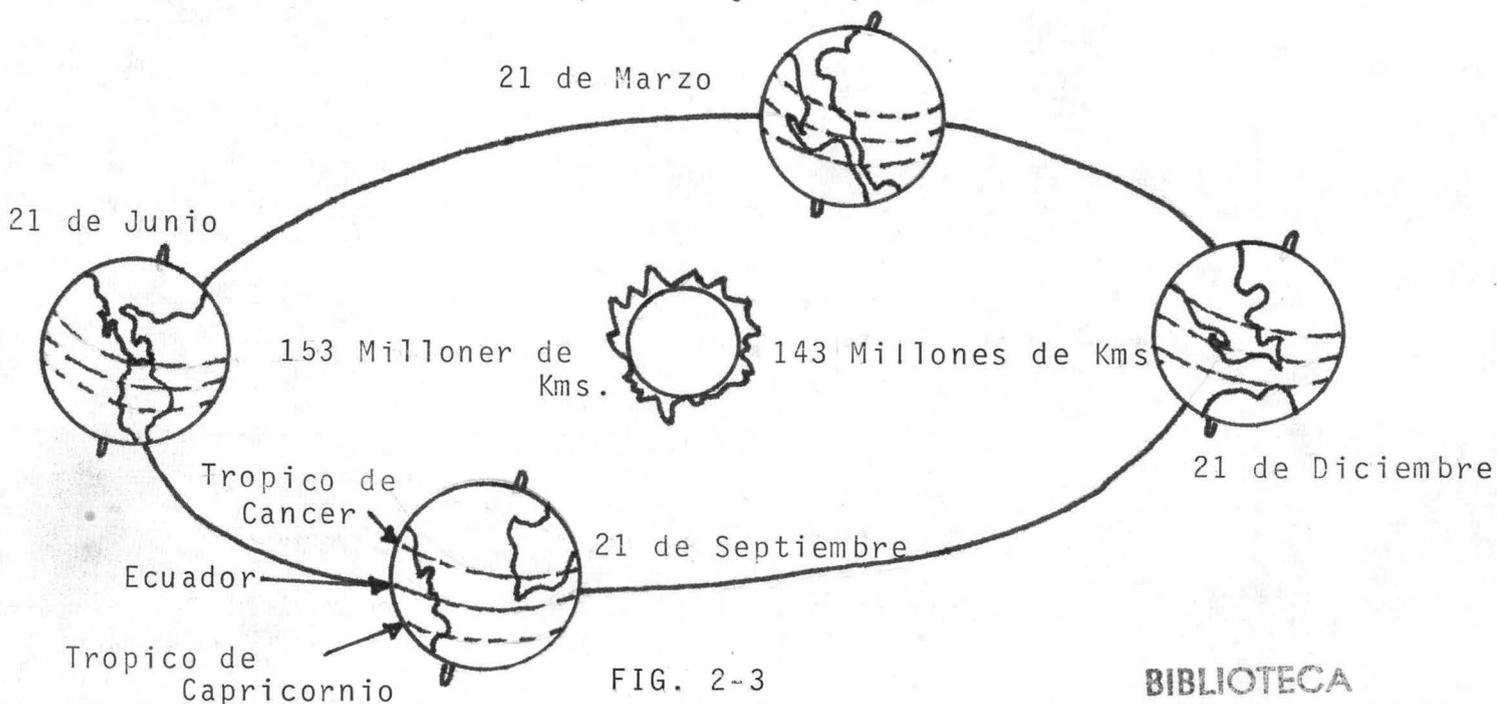
FIG. 2-2

2.5 CAMBIOS ESTACIONALES

La tierra gira alrededor del sol y le da una vuelta completa cada 365.25 días, por lo que en cada 4 años, hay un día biciesto. El sol no se encuentra exactamente en el centro de esta órbita, por lo que no está siempre a la misma distancia de la tierra. Esto es, que el día 21 de junio, la tierra se encuentra más alejada del sol que el 21 de diciembre, que es cuando más cerca está del mismo.

La tierra a su vez, está inclinada sobre su eje vertical - 23.5 grados. Todo esto hace que halla cambios en las condiciones climatológicas, o sea, que existan diferentes estaciones durante el año.

Al estar la tierra inclinada, los rayos solares tienen que recorrer más o menos distancias, dependiendo de donde se encuentre el sol. (Ver. Fig. 2-3)



Por ejemplo, el día 21 de junio, los rayos solares llegan directamente sobre el Trópico de Cáncer, por lo que tienen que recorrer menos distancia en la atmósfera, por lo que llegan con más intensidad sobre el Hemisferio Norte, que sobre el Hemisferio Sur.

Al contrario, el 21 de diciembre, los rayos llegan directamente sobre el Trópico de Capricornio, por lo que en el Hemisferio Sur llegan más fuertemente que en el Norte, todo ésto debido a que tienen que recorrer más distancia en la atmósfera terrestre. Así, cuando es verano en el Hemisferio Norte, es invierno en el Sur y viceversa. De esta manera existen los equinoccios de primavera y de otoño, que es cuando el sol está sobre el ecuador y en los que la tierra tiene igual superficie soleada que en penumbra y los solsticios de verano y de invierno (21 de junio y 21 de diciembre) los cuales ya mencionamos anteriormente. (Ver Fig. 2-4).

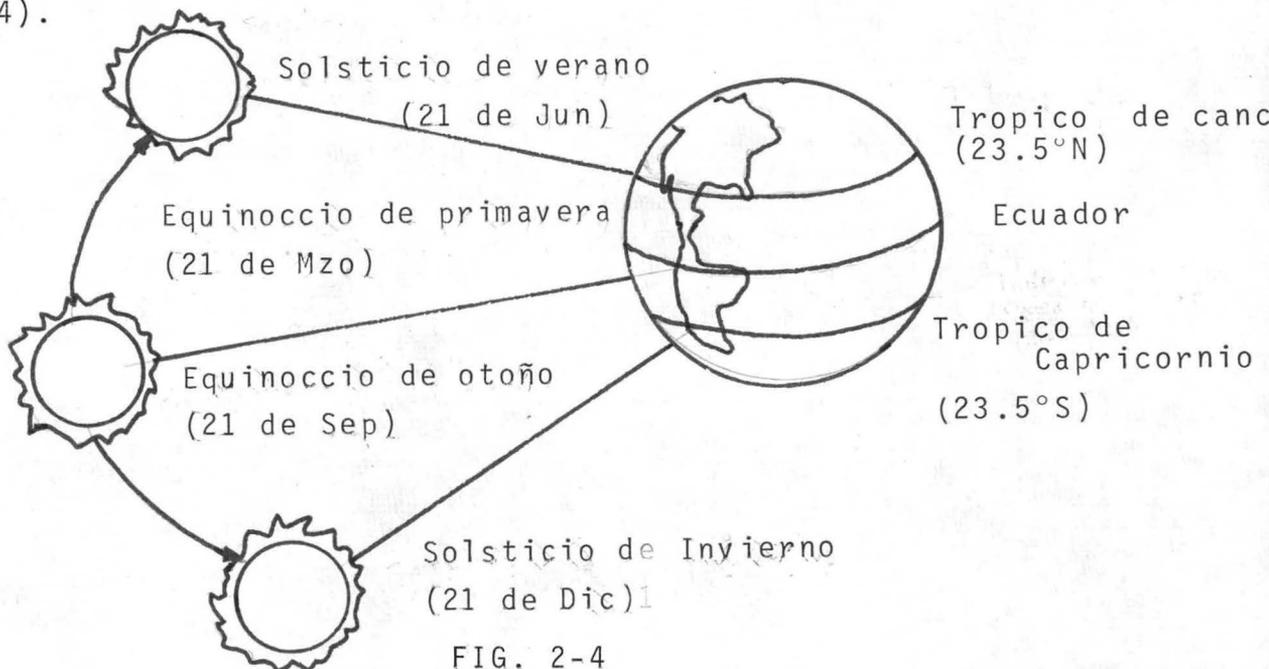


FIG. 2-4

Otro punto importante es que en verano el sol está durante más tiempo visible y está más alto en el cielo, por lo que los días son más calurosos y largos que en invierno, que es cuando el sol está con una menor altitud con respecto al horizonte. (Ver. Fig. 2-4).

La velocidad de la tierra disminuye cuando ésta se encuentra más cerca del sol y aumenta cuando está más lejos del mismo; la trayectoria que la tierra tiene alrededor del sol no es a una velocidad constante.

2.6. EFECTO TERMOSIFON

El agua que se encuentra dentro de la tubería del colector recibe calor, por lo que disminuye su densidad y se hace más ligera. El agua caliente, ayudada por la presión de la columna de agua del tanque dentro del cual se separará el agua fría (más pesada) del agua caliente (más ligera) debido al gradiente de temperatura. El agua fría permanecerá en la parte del fondo del tanque, la cual circulará continuamente al colector, siempre y cuando haya captación solar.

Para que este efecto se realice de una forma óptima es recomendable que el tanque esté a una altura de 30 a 60 cms. por encima de la parte más alta del colector; de esta forma, la corriente inducida por la diferencia de temperaturas será mayor, aumentando la eficiencia de captación.

3. TRANSFERENCIA DE CALOR

3.1 CONDUCCION

Cuando dos cuerpos con diferentes temperaturas están en contacto, ocurre un flujo de calor del más caliente al más frío, ya que sus moléculas vibran más violentamente que las del cuerpo frío, en donde se mueven más lentamente. (Ver Apéndice A-3).

Parte de la energía cinética de las moléculas del cuerpo caliente se comparten con las del frío, las que a su vez las transmiten a otras más alejadas.

La cantidad de calor que fluye es directamente proporcional a la diferencia de potencial y es inversamente proporcional a la resistencia que se añoca al sistema.

$$\text{FLUJO} \propto \frac{\text{POTENCIAL}}{\text{RESISTENCIA}}$$

La conductancia es recíproca a la resistencia, por lo que:

$$\text{FLUJO} \propto \text{CONDUCTANCIA} \times \text{POTENCIAL}$$

Para solucionar problemas térmicos de conducción, se utiliza la ley de Fourier, quien fué el que estableció los fundamentos de conducción de calor. Esta ley es la siguiente:

$$\frac{q}{A} \propto \frac{t}{x} \qquad q = -KA \frac{dt}{dx}$$

Donde K es el factor de conductividad térmica que está -

definido como la conductancia de un material de un pie de grueso con un área de flujo de un pie cuadrado, por espacio de una hora y con una diferencia de temperatura de 1°F , quedando las unidades $\text{BTU}/\text{n pie}^2 \text{ }^{\circ}\text{F}/\text{pie}$.

3.2 CONVECCION

Este tipo de propagación de calor se debe a un movimiento real de una substancia caliente propagando calor a una substancia fría adyacente, recibiendo ésta el calor y mezclándose con él (Ver Apéndice A-3).

Existen dos tipos de convecciones, la forzada y la libre o natural.

La primera es cuando se obliga al fluido a moverse por algún medio mecánico.

La segunda es la que ocurre cuando el fluido se mueve por si solo y no por alguna ayuda mecánica externa.

Cabe mencionar que la convección forzada es más rápida en cuanto a la propagación de calor que la convección libre.

Cabe mencionar que la conductividad térmica es mayor en los sólidos que en los líquidos, en los que, a su vez, es mayor que en los gases.

3.3. RADIACION

La radiación se define como la emisión continua de energía desde la superficie de todos los cuerpos, ya que cualquier cuerpo que no está en el cero absoluto (-273°C) emite radiaciones térmicas. (Ver Apéndice A-3).

Si todos los cuerpos emiten radiaciones, a su vez, éstos las recibirán también de otros cuerpos próximos. Esto indica pues, que todos los cuerpos pierden energía, por la emisión, pero a su vez ganan energía por la absorción de las radiaciones que les llegan.

El intercambio de estas radiaciones tiende a igualar las temperaturas de los cuerpos, aunque éstos no estén en contacto.

Las radiaciones son iguales a las ondas electromagnéticas difiriendo sólo de éstas por su longitud de onda.

La longitud de onda de la luz, como ya lo mencionamos anteriormente, está entre 0.1 y 100 mm, estando formada por las radiaciones ultravioletas, visibles e infrarrojas.

Las radiaciones térmicas se mueven a la velocidad de la luz, y cuando chocan con algún cuerpo, parte se refleja, parte se transmite y parte son absorbidas. Estas últimas son las que se transforman en calor.

El poder absorbente total es el cociente que la división -

de la energía absorbida entre la energía total recibida. El poder emisor total, a su vez, es la cantidad de energía que irradia el cuerpo por cada unidad de superficie en la unidad de tiempo.

3.3.1. LEYES DE KIRCHHOFF

Kirchhoff enunció dos leyes las cuales dicen así:

1. Un cuerpo es absorbente para las mismas radiaciones - que es capaz de emitir.
2. Para cada radiación simple, el cociente entre el poder emisor y el absorbente, a la misma temperatura es constante para todos los cuerpos.

Es por esto que todos los cuerpos que tienen gran poder absorbente tienen poder emisor.

Tenemos que:

$$\frac{e_1}{a_1} = \frac{e_2}{a_2} = \frac{e_3}{a_3} = \dots \dots \frac{e_n}{a_n} = \text{CTE.}$$

Donde:

$e_1, e_2, e_3 \dots e_n$, son los poderes emisivos de varios cuerpos.

$a_1, a_2, a_3 \dots a_n$, son los poderes absorbentes de los mismos respectivamente.

Si se representa la energía que incide sobre un cuerpo como E y la cantidad absorbida por el mismo como E_a , tenemos

$$\text{que: } a = \frac{Ea}{E}$$

Ya que el cuerpo no absorbe toda la energía recibida.

En un cuerpo perfectamente negro, el poder absorbente es la unidad, pues EA y E son iguales.

Según la segunda ley de Firchhoff, si tenemos que E es el poder emisor del cuerpo perfectamente negro, y que A es su poder absorbente, tenemos que:

$$\frac{e_1}{a_1} = \frac{e_2}{a_2} = \frac{e_3}{a_3} \dots \frac{e_n}{a_n} = \frac{E}{A}$$

Como $A = 1$, entonces $e_n = a_n E$

Por lo tanto, para una longitud de onda y una temperatura determinada, tenemos que el cociente de los poderes emisor y absorbente de un cuerpo cualquiera es igual al poder emisor del cuerpo perfectamente negro.

3.3.2. EL CUERPO PERFECTAMENTE NEGRO

Es el cuerpo que no difunde hacia el ojo las radiaciones con que es iluminado.

Este cuerpo es un perfecto absorbedor de radiación, ya que absorbe todas las radiaciones que inciden sobre él.

Ningún cuerpo es un negro absoluto, pero existen algunos que están próximos a serlo, ya que pueden absorber hasta el 90% de las radiaciones recibidas, éstos son el negro -

humo y el negro de platino.

3.3.3. LEYES DE LA EMISION DE RADIACION DEL CUERPO NEGRO

1) Ley de Stefan-Boltzman

Esta fué encontrada por J. Stefan (1835-1893) en el año de 1879 y fué demostrada por Boltzman en el año de 1884.

Dice que la cantidad total de energía que irradia un cuerpo negro por unidad de superficie en un segundo, es proporcional a la cuarta potencia de su temperatura absoluta. - Esto es:

$$E_b = \sigma T^4$$

Donde: E_b = Cantidad total de Energía

T = Temperatura absoluta

$$\sigma = 5.6697 \times 10^{-8} \text{ w/M}^2 \text{ K}^4 \quad (0.1713 \times 10^{-8} \frac{\text{BTU}}{\text{Hr pie}^2 \cdot \text{R}^4})$$

2) Ley de Planck

Esta nos dá la distribución de longitud de onda para un cuerpo negro de la radiación térmica emitida por el cuerpo. Esto es:

$$E_{by} = \frac{2 \pi h c^2}{\lambda^5 (e^{hc/\lambda kT} - 1)}$$

Donde:

E_{by} : Potencia emisiva monocromática de un cuerpo negro a una temperatura T ($\text{W/m}^2 \text{ mm}$).

T = Temperatura absoluta del cuerpo negro ($^{\circ}k$)

λ = Longitud de onda (mm)

h = Centímetros de placa (6.6256×10^{-34} J seg.)

c = Velocidad de la luz (299,751.14 Km/seg.)

k = Cte. de Boltzman ($1.3803508 \times 10^{-23}$ j/k)

$C1 = 2 \pi^5 hc^2 =$ Primera constante de radiación ($3.7405 \times 10^{-16} \text{ w m}^2$)

$C2 = hc/k =$ Segunda constant de radiación ($0.0143879 \text{ M}^{\circ}/k$)

3. Ley de Desplazamiento de Wien

Esta ífué encontrada por Wien en 1893, y dice algo sobre la distribución de energía en el espectro del cuerpo negro.

Si se descompene la radiación por un prisma y se gráfica, se ve que en todos los casos, la máxima intensidad de la radiación corresponde a las longitudes de onda intermedia, y se se aumenta la temperatura del cuerpo emisor, el máxi mo de intensidad se desplaza hacia las radiaciones de menor longitud de onda.

Esta vez dice que la longitud de onda (λ_m) a la cual corresponde el valor máximo de la energía calorífica irradiada es inversamente proporcional a la temperatura absoluta (T) del cuerpo radiante, o sea que:

$$\lambda_m T = 2885 \mu m \text{ } ^{\circ} k = \text{cte.}$$

3.4 PERDIDAS EN LOS COLECTORES DE PLACA PLANA

Los colectores planos reciben la radiación de la placa y

en la red intercambiadora, los que al estar pintados de negro, la absorben y se calientan, y al suceder esto emiten radiación infrarroja, como todo cuerpo caliente.

Este tipo de colectores, por su naturaleza y construcción, pueden incurrir en ciertos tipos de pérdidas, ya sea por conducción, convección o radiación.

Por conducción, la paca puede tener pérdidas hacia las paredes y fondo del colector, como hacia el aire que está en contacto con él.

Por convección, el colector puede tener pérdidas por el aire circulante que está a una temperatura más fría.

Por último, por radiación, que como ya dijimos, emitió al calentarse en una longitud de onda larga, la cual pudiera perderse en la atmósfera exterior.

Para evitar estos tipos de pérdidas se toman ciertas medidas al construir los colectores.

Primeramente, se aísla el colector por los lados y por el fondo con el fin de evitar las pérdidas por conducción.

También se colocan una o más placas de un material transparente a los rayos solares visibles, como por ejemplo vidrio, plástico, etc.

Esto es con el fin de evitar las pérdidas por convección,

ya que evita que el colector se enfríe con el roce del viento.

A su vez, este recubrimie_to evita las pérdidas por radiación, ya que se comporta como espejo con los rayos de -- continua onda larga, o sea, los rayos infarrojos, y evita que estos se pierdan en la atmósfera. Esto es lo que se llama efecto invernadero.

3.5. EFECTO INVERNADERO

Al cubrir el colector una placa de cristal, se reduce la pérdida de calor, sin gran reducción en la admisión de - calor por el fenómeno llamado efecto invernadero.

Este consiste en que la placa de cristal tiene una transmitancia selectiva, o sea que es transparente para radiaciones solares de alta temperatura y onda corta, pero es prácticamente opaco para radiaciones infrarrojas de longitudes de onda más largas, emitidas por la placa absorbadora. Al llegar la radiación de onda corta a la placa de absorción, se refleja y algo se irradía al exterior, pero la intensidad está muy debilitada, o sea que se convirtió su longitud de onda en larga.

Esta no puede atravesar de nuevo el cristal, por lo que vuelve a incidir sobre la placa de absorción una y otra vez, dando oportunidad a la placa de absorberla de nuevo. (Ver Figura 5-1).

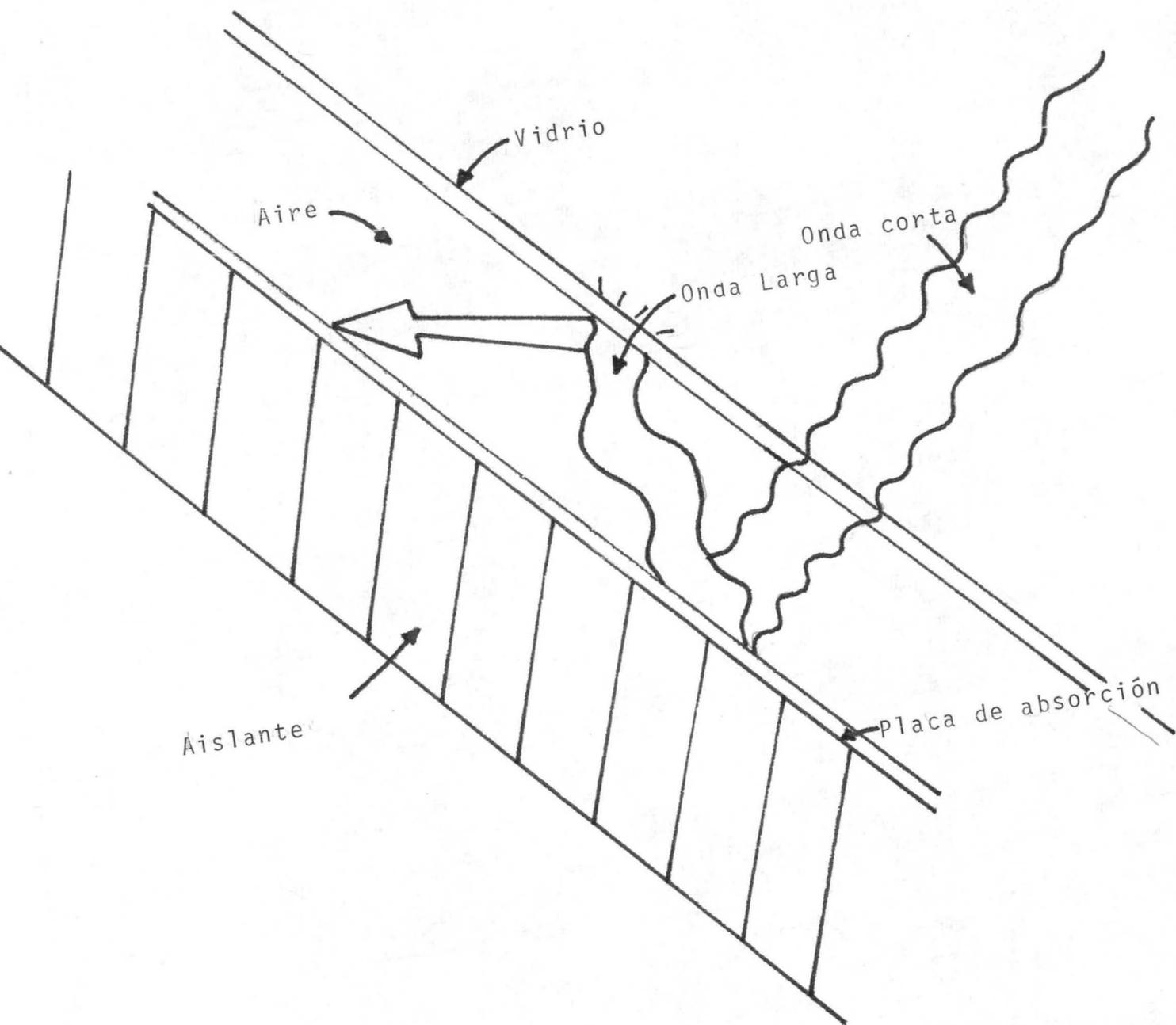


FIG. 5-1

4. DISEÑO Y CONSTRUCCION DEL MODELO FISICO

4.1. CONSIDERACIONES DEL DISEÑO

El tipo de receptor solar escogido es el colector plano. - Dentro del colector, fluirá agua por una tubería que es -- donde se realiza el intercambio de calor. Bajo la tubería y en contacto con ésta, se coloca una lámina que junto con los tubos se pintarán de negro para absorber la energía ra_{diante}, y a su vez la lámina transmitirá calor a la tubería por conducción y ésta al agua.

Se recibe la radiación solar cubriendo la base receptora - con una lámina transparente (vidrio) a la luz del sol, enfocando la radiación recibida a una superficie. Para redu_{cir} las pérdidas de calor por los rayos infrarrojos de lar_{ga} longitud de onda que despide la lámina negra caliente, se pueden colocar 2 ó más láminas de vidrio, pero para - - nuestros propósitos no es necesario, puesto que reduce la radiación solar que pasa por el vidrio hasta en un 15% por cada lámina. Por lo tanto, el vidrio atraparé el calor. - Todas las paredes y la parte inferior del colector estarán aisladas y herméticamente sellado para evitar pérdidas de calor.

Este colector lo escogimos pues su costo de materiales e - instalación son económicos y aprovechan tanto la radiación directa como la difusa, o sea que puede funcionar tanto en

días nublados como claros.

Otro tipo de colector es el focal, pero éste es además muy costoso y difícil de instalar, solamente recibe la radiación directa.

La superficie colectora debe ser tan negra como sea posible, de esta manera se podrá absorber el 95% de la radiación y se reflejarán cantidades despreciables. Se escogió el tipo de circulación natural (principio termosifón).

4.2 SELECCION DE DIMENSIONES

Para hacer la selección de dimensiones de un sistema de calentamiento de agua por energía solar, del tipo colector - de pared plana se deben de considerar el número de personas que van a utilizar el agua, y el uso que se le vaya a dar, ya sea para aseo personal, lavado de ropa, de platos, etc.

El uso normal de agua caliente por persona es de aproximadamente 70 litros por día, para el número de personas que se quiera, simplemente se multiplica por 70.

Para el desarrollo de nuestro modelo experimental, se supuso la necesidad de una sola persona en un día (70 litros). La temperatura a la que nos llega el agua de la ciudad de Monterrey es de aproximadamente 18°C, la temperatura a la que queremos llegar es a 50°C, por lo que nos da una diferencia de temperatura de 32°C (ΔT).

Como ya sabemos, una caloría es la cantidad de calor necesario para aumentar un grado centígrado la temperatura de un gramo de agua. Con esto tenemos que:

$$Q = m C \Delta T$$

Donde: Q = Energía en calorías.

m = Masa del agua en Kg_m (1 Kg_m=1 Lt.)

C = Calor específico del agua (1 Kcal/Kg_m-°C)

ΔT = Diferencia de temperaturas de entrada y salida.

Por lo tanto:

$$Q = (70 \text{ Kg}_m) (1 \text{ Kcal/Kg}_m\text{-}^\circ\text{C}) (32^\circ\text{C})$$

$$Q = 2,240 \text{ Kcal.}$$

En Monterrey, el máximo de solación que se obtiene es de 1000 Watts/M² y el mínimo es de 200 Watts/M². (Ver Apéndice A-1 y A-2). Pudiéndose suponer un promedio óptimo para fines de diseño de 500 Watts/M², según datos proporcionados por el Depto. de Térmica, Fluidos y Control del ITESM.

Suponiendo 8 horas de solación por día, tenemos que se obtienen un promedio de 4,000 Watts-Hr/M².

Nuestro colector tiene características para obtener un 60% de eficiencia por lo que obtenemos 2,400 Watts-Hr/M², o sea un aproximado de 2.4 KWatts-Hr/M². Convirtiendo a Kcalorías tenemos:

$$2.4 \frac{\text{K Watts-Hr}}{\text{M}^2} \times \frac{860.5 \text{ Kcal}}{1 \text{ KWatts-Hr}} = 2,064 \text{ Kcal/M}^2$$

Dividiendo la cantidad de calor que necesitamos entre lo - que experimentalmente obtenemos por metro cuadrado, nos dá el área de recepción óptima:

$$\frac{2,240 \text{ K Cal}}{2,064 \text{ K Cal M}^2} = 1 \text{ M}^2$$

Concluimos que se necesita un metro cuadrado por cada 70 - litros de agua que se quiera calentar.

4.3. SELECCION DE MATERIALES

Nuestros objetivos principales para la selección de mate-- riales de nuestro modelo físico fueron los siguientes:

- Construir un modelo pequeño (a escala) para fácil manejo y ser usado en demostraciones posteriores.
- Disminuir los costos de materiales e instalación.
- Facilidad de uso e instalación de materiales.

COLECTOR

a) Red Intercambiador:

Para la construcción de la red intercambiador escogimos - tubería galvanizada de pared delgada (Cédula 40) para me- jor paso del calor al interior del tubo. Se seleccionó -- galvanizada porque es la más comunmente utilizada para -- transportar agua, por ser de pared interna lisa y no se - corroe, además de que se encuentra fácilmente en el mercado en variedad de medidas y un gran número de accesorios y

conexiones y tiene menor costo.

La tubería de cobre es mejor conductor de calor, pero se eliminó por ser muy cara y escasa en el mercado, además de no contar con la variedad de accesorios y conexiones necesarias. Los accesorios galvanizados son más ventajosos -- por ser roscados, además de cumplir con las características requeridas.

b) CAJON COLECTOR:

El cajón se construyó de lámina negra calibre 22, procurando que el colector fuera lo más ligero y lo más pequeño posible para su mejor movilidad.

c) VIDRIO

Como el colector tiene una área de recepción de rayos solares muy grande (1.24 x 1.10), se procuró que el vidrio fuera lo más delgado posible (para mejor transmisión de energía), y lo suficientemente grueso para no romperse con la fuerza del viento. Se seleccionó un vidrio de 4mm de espesor, soportado en ángulos de aluminio de 1" x 1", por ser el aluminio un material ligero y contar con buenas cualidades mecánicas. El vidrio a diferencia del plástico transparente no se deteriora por los elementos atmosféricos. El vidrio es transparente a la luz solar excepto a la ultravioleta, pero es opaco a la infrarroja de gran longitud de onda

actuando de esta manera como una trampa de calor.

d) AISLAMIENTO:

Para el aislamiento del colector se seleccionó poliestireno por sus siguientes ventajas:

- Bajo costo.
- Buen aislante a pequeño espesor.
- Es un aislante muy liviano.
- Facilidad de manejo e instalación.

Se escogió de 5 cms. de espesor, por ser un grosor óptimo para la temperatura que obtendremos.

e) PLACA CONDUCTORA

Para la placa conductora se escogió lámina negra calibre - 22 por ser buena transmisora de calor; facilidad de manejo, como barrenar, doblar, pintar y que no se incrementará el peso del colector.

TANQUE

Se escogió un tanque que cumpliera con las necesidades de un diseño experimental, que fuera del volumen requerido y que cumpla con los requerimientos de trabajo, como implantarle accesorios, etc. Se seleccionó un tanque cilíndrico de fierro, de 46 cm. de diámetro por 60 cms. de altura con tapa en su parte superior.

ESTRUCTURA

a) DEL TANQUE Y COLECTOR

Se seleccionó para soportar el tanque ángulo de fierro dulce de 1" x 1/8" de espesor, al igual que para soportar el colector.

CONEXION TANQUE-COLECTOR

Se buscó que fuera una conexión flexible de pared gruesa - para evitar pérdidas de calor y lo más económica posible. Se seleccionó una manguera negra flexible térmica de 3/8" de espesor, de 3/4" de diámetro, la cual fue la mejor selección por su gran resistencia a fluidos calientes.

Ver Tabla 4-1 para una mayor descripción de los materiales utilizados.

TABLA 4-1

ESPECIFICACIONES DE LOS ELEMENTOS UTILIZADOS EN EL DISEÑO EXPERIMENTAL

COLECTOR:

<u>ELEMENTO</u>	<u>No. de Piezas</u>	<u>MATERIAL</u>	<u>TAMAÑO</u>
Tubos Verticales	9	Galvanizado	1/2" x 1 m.
Tubos Horizontales	2	Galvanizado	2" x 1.30 m.
Placa Conductora	1	Lámina Negra	1 x 1 m.
Colector	1	Lámina Negra	1.24 x 1.10 x .15 m.
Aislante Paredes Costados	2	Poliestireno	1.24 x .15 x .05 m
Aislante Paredes Sup. e Inf.	2	Poliestireno	1.10 x 0.15 x .05 m
Aislante Pared del Fondo	1	Poliestireno	1.24 x 1.10 x .05 m
Abrazaderas en "V" Tubería-Lámina	27	Acero	1/2"
Tuercas para abrazadera Std.	54	Acero	1/4"
Remaches	80	Aluminio	1/8"
Pijas	16	Hierro Dulce	1/8"
Angulo sujetador del vi- drio der. e izq.	2	Aluminio	1/2" x 1.24 m.
Angulo sujetador del vi- drio sup. e inf.	2	Aluminio	1/2" x 1.10
Soportes Vidrio	8	Aluminio	1/2 x 0.15 m.
Coples para limpieza in- tercambiador	9	Galvanizado	1/2"
Tapones para coples	9	Galvanizado	1/2"
Reducción Campana Entrada y Salida	2	Galvanizado	2" - 3/4"
Reducción Bushing Entrada y Salida	2	Galvanizado	3/4" - 1/2"
Tapón Cachuca para red	2	Galvanizado	2"
Niples Entrada y Salida	2	Galvanizado	1/2" x 4"
TANQUE:			
Tanque-Depósito	1	Fierro	0.46 x 0.60 m.
Coples Entrada-Salida- Flotador	3	Galvanizado	1/2"
Niples Salida del Tanque	5	Galvanizado	1/2" x 3"

<u>ELEMENTO</u>	<u>No. de Piezas</u>	<u>MATERIAL</u>	<u>TAMAÑO</u>
TANQUE:			
Válvula Flotador	1	Cobre	1/2"
Flotador	1	Cobre	0.10 m de Diam.
Tees	2	Galvanizadas	1/2"
Termómetros Bimetálicos	2		2" x 6" (0-100°C)
Aislante	2	Colchón Lana Mineral	0.61 x 1.20 m.
Tubo	1	Plástico Negro	0.50 x 1/2"
Reducción Bushing para Termómetros	2	Galvanizado	1/2 - 1/4"
SOPORTES			
Soportes del tanque y del colector	2	Fierro	1" x 1/8" x 6 m.
MATERIALES EN GENERAL			
Manguera	1	Hule térmico	3/4" x 4 m.
Abrazaderas	4	Acero	3/4"
Bisagras Colector	2	Fierro	1/2"
Soporte Colector	1	Galvanizado	1/2" x 0.75 m.
Soldadura	1	Estaño 30-70	1 Kg.
Soldadura	2	Bronce	1/8"
Pintura	1	Negro Mate	1/2 litro
Adelgazador	1		2 Litros
Brocha	1		38 mm
Sellador	1	Silicón	
Sellador	1	Sellador Automotriz	

4.4. CONSTRUCCION DEL MODELO EXPERIMENTAL COLECTOR PLANO SOLAR

a) RED INTERCAMBIADORA

Para la tubería intercambiador de calor como ya comentamos en la sección de materiales se construyó galvanizada. Se buscó que los dos tubos horizontales tuvieran la misma área que los 9 tubos verticales, fuera la misma velocidad en toda la red y no tenga caídas de presión, por lo tanto:

$$\begin{aligned} 9 A_1 &= A_2 \\ 9 \frac{\pi d_1^2}{4} &= \frac{\pi d_2^2}{4} \\ 9 d_1^2 &= d_2^2 \\ d_2 &= \sqrt{9 d_1^2} \end{aligned}$$

Como el diámetro interior de la tubería de 1/2" es de 5/8" entonces:

$$d_2 = \sqrt{9 (5/8)^2} = 1.87 \approx 2 \text{ plg.}$$

donde:

A_1 y d_1 = Área y diámetro de la tubería de 1/2"

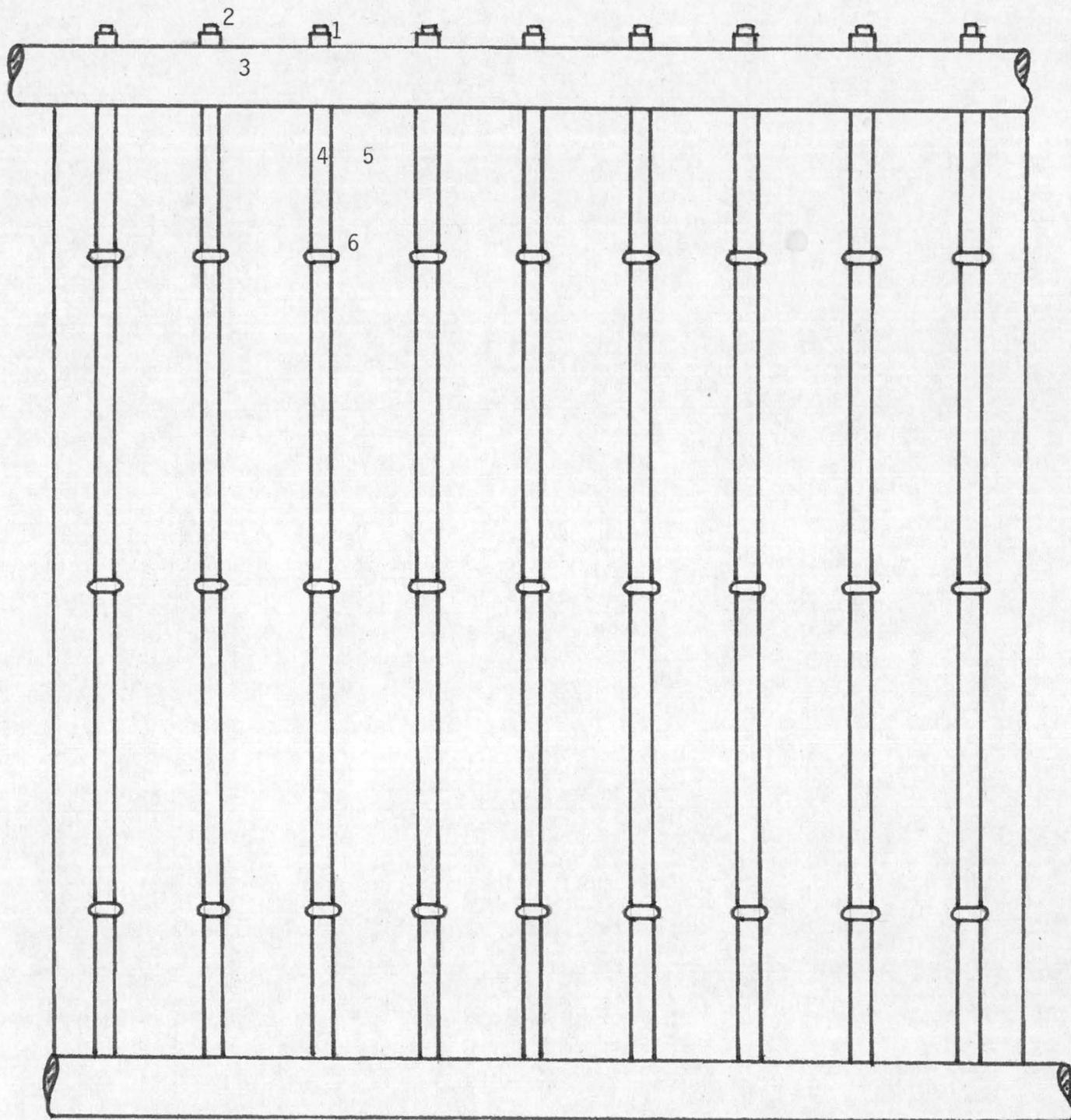
A_2 y d_2 = Área y diámetro de la tubería de 2"

por lo que una tubería de 2" evitará lo anterior. La tubería de 2" se barrenó con broca igual al diámetro exterior de la tubería de 1/2" (7/8"). Se colocaron los barrenos a 11.1 cm. de centro a centro, dato obtenido en literatura sobre calentadores solares, la cual indica que entre 10 y 15 cm. es lo óptimo.

En uno de los tubos de 2" se barrenó por los dos lados, esto con el fin de colocar coples con tapones en uno de los lados para la limpieza de los tubos de 1/2" debido a la dureza del agua de Monterrey, que contiene gran cantidad de sales que no son solubles y se convierten en sarro.

Se prosigue a soldar los tubos con soldadura eléctrica 10-13 para darle mejor firmeza a la red, seguido de añadir soldadura de estaño (30-70) para evitar fugas posteriores.

(Ver. Fig. 4-1)



- | | |
|------------------------------|----------------------|
| 1.- Cople | |
| 2.- Tapón | 5.- Placa absorbente |
| 3.- Tuberia galvanizada 2" | 6.- Abrazadera |
| 4.- Tuberia galvanizada 1/2" | |

Fig. 4-1

b) CAJON DEL COLECTOR

Para el diseño del cajón tomamos en cuenta que requeríamos un metro cuadrado de área de recepción y se tenía que tomar en cuenta el tubo alimentador, el tubo evacuador y 5 cm. de material aislante por cada lado y por la parte de abajo. De esa manera, calculamos que las dimensiones del cajón colector deben ser de 1.24 x 1.10 mts. y con una pared de 15 cms. de alto. Se cortó la lámina del tamaño requerido en la cortadora y después las esquinas con la cortadora neumática, dejando una ceja de 2.5 cm. de cada lado para remachar el cajón al estar éste doblado. Después se dobló el cajón en la dobladora manual, e inmediatamente después se procedió a taladrar los barrenos y remachar las cejas para de esta manera dejar el cajón ya formado.

c) VIDRIO

Como ya comentamos, se seleccionó un vidrio de 4 mm de espesor, de 1.24 m x 1.10 m. Se colocó sobre ángulo de aluminio remachado a las partes superior de las paredes, por dentro y a la vez, se sujetó con ángulo por fuera, con pijas, para poder quitarlo cuando se realice la limpieza de la tubería o del vidrio. Se aconseja que el vidrio se encuentre bien limpio al colocarlo en el cajón, para no obstruir el paso de la radiación, puesto que ya no se podrá limpiar por dentro. Después se prosigue a sellar bien todas las juntas del vidrio con el colector y donde se remachó el cajón con silicón, por ser un material durable y se puede remover al quitar el vidrio.

d) AISLANTES

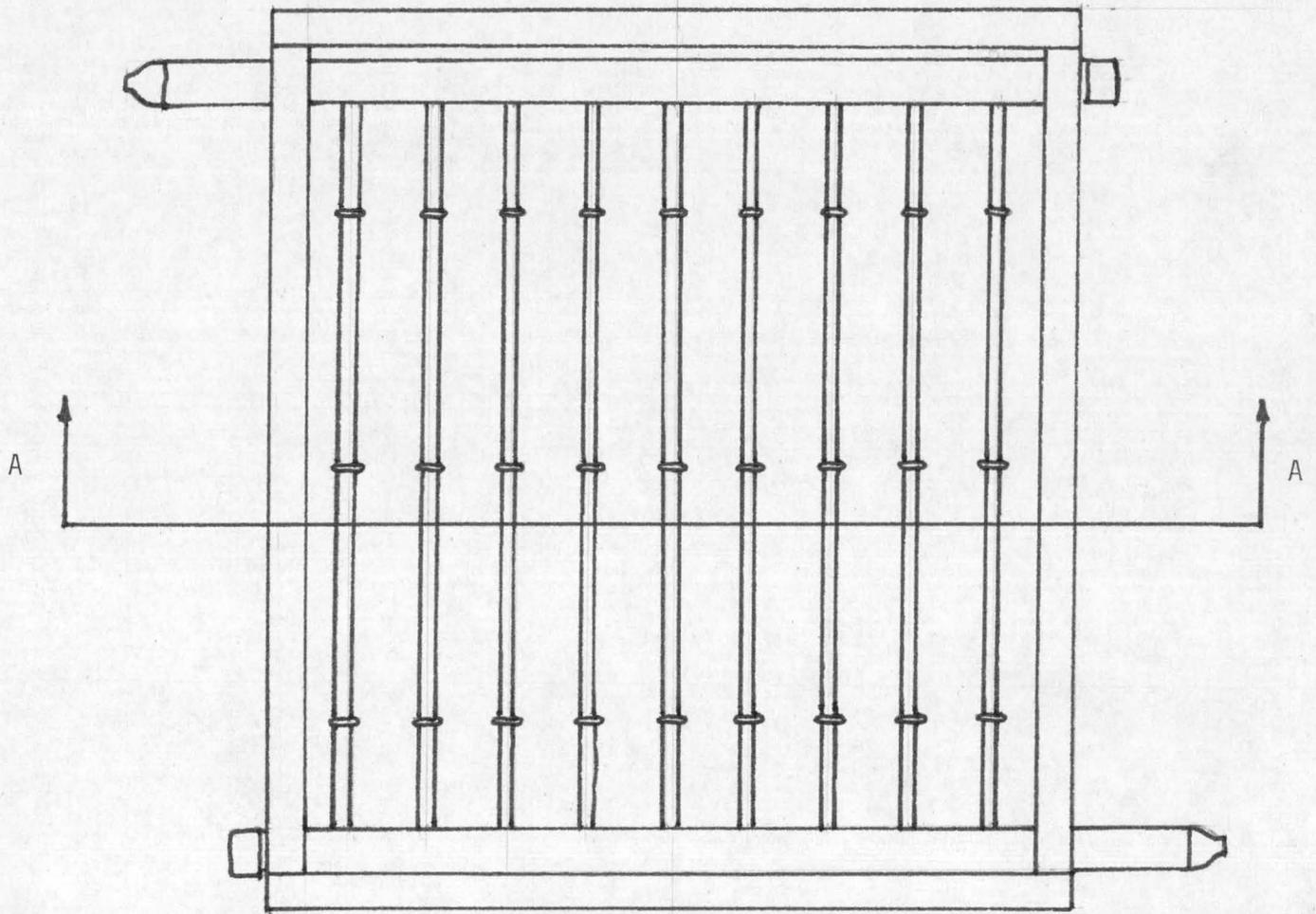
El poliestireno se cortó con las mismas dimensiones de las paredes del cajón colector, o sea, dos piezas de 1.24 m x 1.10 m y dos de 1 m x 0.10 m. y la parte inferior de 1.24 m x 1.10 m., todo con espesor de 5 cm. Con lo dicho anteriormente, el cajón quedó perfectamente aislado. El aislante entró a presión para evitar ventilas por las juntas.

e) ENSAMBLE DEL COLECTOR

Los pasos que se siguieron fueron los siguientes:

Primero se colocan los aislantes en el cajón, tanto en la parte inferior como en las paredes. Posteriormente se colo

ca la red intercambiadora en el cajón. Después se ponen los ángulos que soportarán al vidrio, e inmediatamente - después se coloca éste y se sella bien como ya lo especificamos en el Inciso c) de este punto. (Ver Fig. 4-3)



Sección A-A

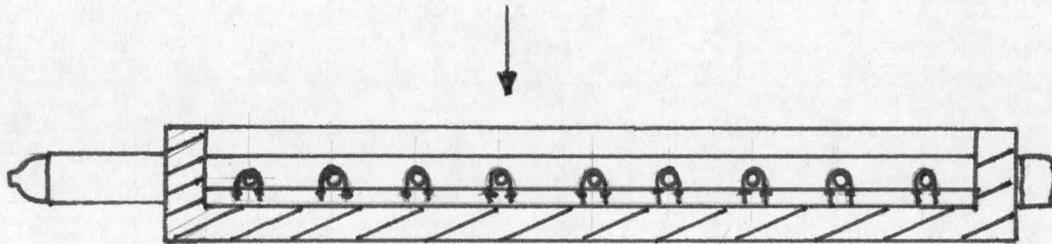
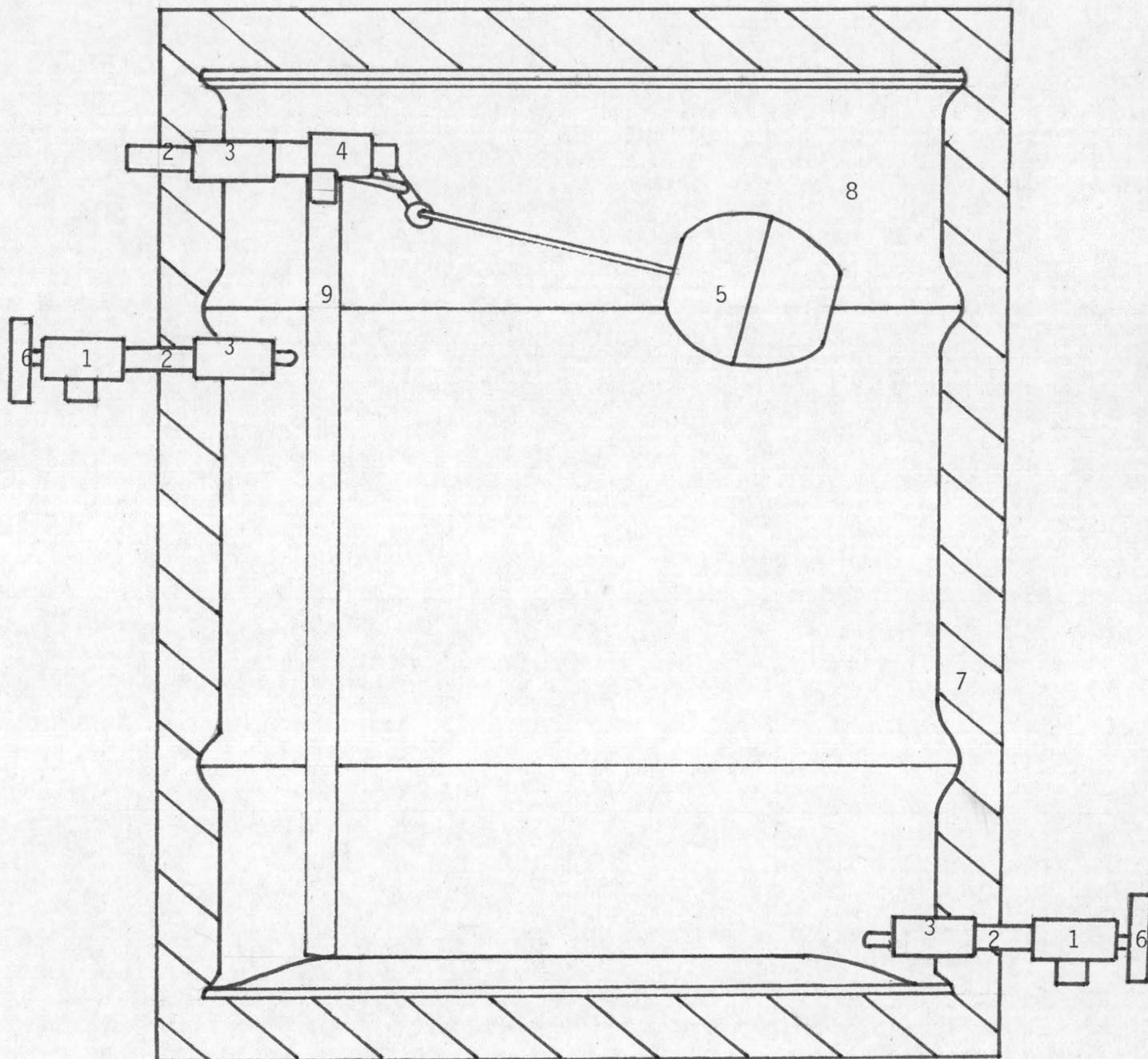


Fig. 4-3

f) TANQUE DE ALMACENAMIENTO

A) Se colocan los coples barrenando el tanque y soldando - los mismos, los cuales son para la entrada y salida del agua caliente, así como la entrada de agua de la ciudad. - Se colocan las conexiones (tees y nipples), el flotador y - los termómetros, así como la manguera que lleva el agua -- fría de la ciudad a la parte baja del tanque para que no se revuelva con el agua ya caliente de la parte superior. Por último, se aísla bien el tanque con los colchones de lana mineral. (Ver Fig. 4-4).



- 1.- Tee
- 2.- Niple
- 3.- Cople
- 4.-Valvula

- 5.- Flotador
- 6.- Termómetro
- 7.- Aislante
- 8.- Tanque

- 9.- Manguera

Fig. 4-4

g) ENSAMBLE FINAL

Se coloca el tanque en una estructura previamente fabricada, y se conecta al colector por medio de las mangueras -- térmicas flexibles.

El colector se inclina con el ángulo deseado sobre la estructura que lo ha de soportar y que también se fabrica -- previamente.

Por último se llena el sistema por la entrada que tiene el flotador. (Ver Fig. 4-5)

h) HERRAMIENTAS UTILIZADAS

Para la fabricación y ensamble de nuestro modelo experimental, nos vimos en la necesidad de utilizar cierto tipo de herramientas que se utilizan normalmente en todo tipo de trabajos mecánicos.

En nuestro modelo, fueron saliendo problemas con respecto al desarrollo del mismo, los cuales nos obligaron a realizar trabajos de soldadura, corte por soplete, doblado de lámina, etc.

Con respecto a la soldadura, se tuvieron que utilizar 3.

Para la fabricación y montaje del sistema se utilizaron las herramientas mencionadas en la Tabla 4-2.

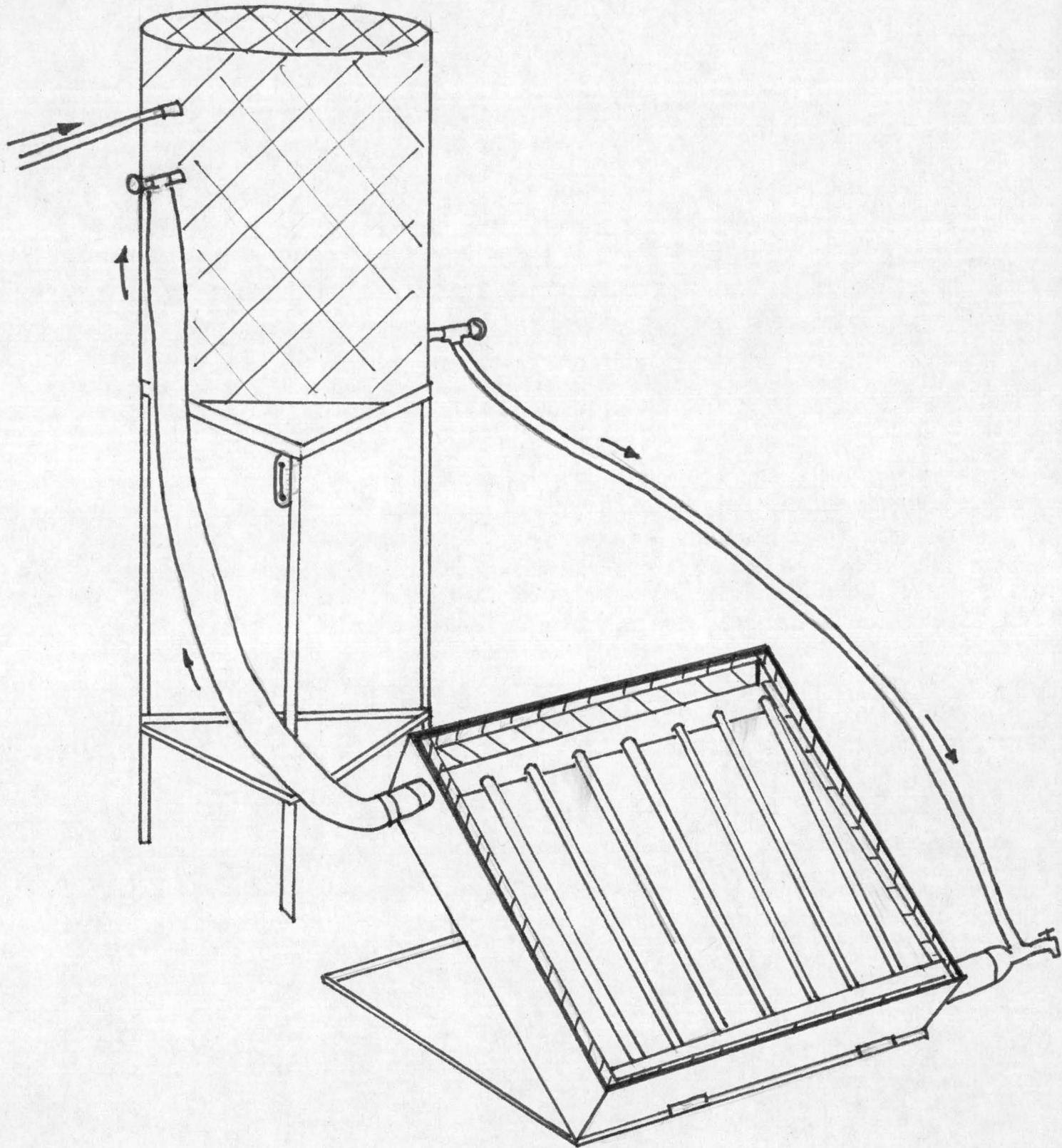


Fig. 4-5

TABLA 4-2:

HERRAMIENTAS UTILIZADAS PARA LA CONSTRUCCION DEL MODELO EXPERIMENTAL

<u>HERRAMIENTA</u>	<u>USO</u>	<u>ELEMENTO</u>
Soldadora Eléctrica	- Soldar tubos verticales en horizontales	- Intercambiador de calor (Colector)
	- Soldar ángulos para soportes de tanque y colector	- Estructuras del tanque y colector
	- Soldar bisagras en soporte colector	- Colector
Soldadura Autógena	- Soldar con estaño tubos del intercambiador para evitar fugas y coples del tanque	- Colector - Colector y Tanque
	- Soldar con bronce coples del tanque para darles firmeza	- Tanque
	- Barrenar para colocar coples (Soplete)	- Tanque
	- Barrenar para colocar tubos 2" (Soplete)	- Colector
	- Corte de ángulos (soplete)	- Estructura tanque y colector
	- Barrenar Tubo 2"	- Colector
Taladro de Banco	- Barrenar para introducir remaches	- Colector
	- Barrenar para introducir pijas	- Colector
Terraja	- Roscar tubos 2" para colocar reducciones y tapas.	- Colector
Cortatubo	- Cortar tubo de $\frac{1}{2}$ " y 2"	- Colector
Remachadora	- Remachar láminas y ángulos en lámina	- Colector

TABLA 4-2 (Continúa)

<u>HERRAMIENTA</u>	<u>USO</u>	<u>ELEMENTO</u>
Segueta	- Cortar ángulo de aluminio, aislante, ángulo, etc.	- Colector y Estructura del tanque
Cortador Neumático	- Cortar lámina para formar colector	- Colector
Dobladora	- Doblar lámina	- Colector

4.5. ORIENTACION DEL COLECTOR

Los colectores planos en el Hemisferio Norte deben de estar apuntados hacia el sur, para recibir en forma directa los rayos solares.

La orientación del colector depende de la latitud, el tamaño, el costo, la estación, etc.

En ambos equinoccios, el sol pasa por encima del ecuador, por lo que es recomendable darle al colector una inclinación igual a la latitud, para de esta forma optimizar la incidencia de los rayos en el mismo.

En el solsticio de invierno el sol está sobre el Trópico de Capricornio, por lo que lo óptimo sería inclinar el colector a 23.5° más que los grados de la latitud del lugar donde se coloque el colector.

En el solsticio de verano, es conveniente inclinar el colector a un ángulo de 23.5° menos que la latitud, ya que en esta fecha el sol se encuentra sobre el Trópico de Cáncer.

En el caso de Monterrey, los ángulos de inclinación serán de 49.3 para el solsticio de invierno y 2.3 para el de verano.

Colocarlo a estos ángulos sería colocarlo a la inclinación

donde el sol incide perpendicular en ese día, por lo que -
habría que cambiarlo con mucha frecuencia.

Nuestro colector lo colocaremos a una inclinación igual a la latitud, más 10 grados, para que permanezca fijo en cada estación e incidan correcto los rayos solares, o sea a 35° ; esto en invierno. Para el verano, se le restarán 10° a la latitud, o sea a 15° . Para los equinoccios se colocará a un ángulo igual a la latitud, o sea a 25° , todos - estos ángulos con respecto a la horizontal.

Sería posible adptar un mecanismo que siga al sol durante el día, para de esta manera optimizar algo la incidencia de los rayos sobre el colector, pero este sistema sería - algo costoso de implementar y lo que mejoraría la recep--
ción sería mínimo, por lo que no es costeable ni convenien
te.

Con el colector plano fijo detendremos las temperaturas propuestas y a menor costo. (Ver Fig. 5).

5. RESULTADOS

5.1. ANALISIS Y COMPARACION DE COSTOS

Para el análisis y comparación de costos, se realiza para diferentes porcentajes de eficiencia del boiler, comparán dola con el calentador solar.

El análisis se realiza por el método del valor presente, evaluando los costos del gas (para el boiler) a través -- del tiempo, en el momento de la inversión, arrojando los siguientes resultados:

Boiler:

Eficiencia	50%
Capacidad	75 Litros
Dif. de Temperatura	32°C
Cap. por Persona	75 Litros

Considerando el Calor de Combustión del gas por M³

$$9,000 \text{ Kcal/M}^3 \times 50\% = 4,500 \text{ Kcal/M}^3$$

Para elevar 75 litros de agua 32°C y considerando 1 Kg igual a un litro:

$$Q = m C T$$

$$Q = 75 \text{ Kg} \times 1 \frac{\text{Kcal}}{\text{Kg}^\circ\text{C}} \times 32^\circ\text{C} = 2,400 \text{ KCal/Día}$$

Mensual: 72,000 Kcal/Mes

Dividiendo entre el Calor de Combustión del gas/M³, nos dá el gasto por persona al mes:

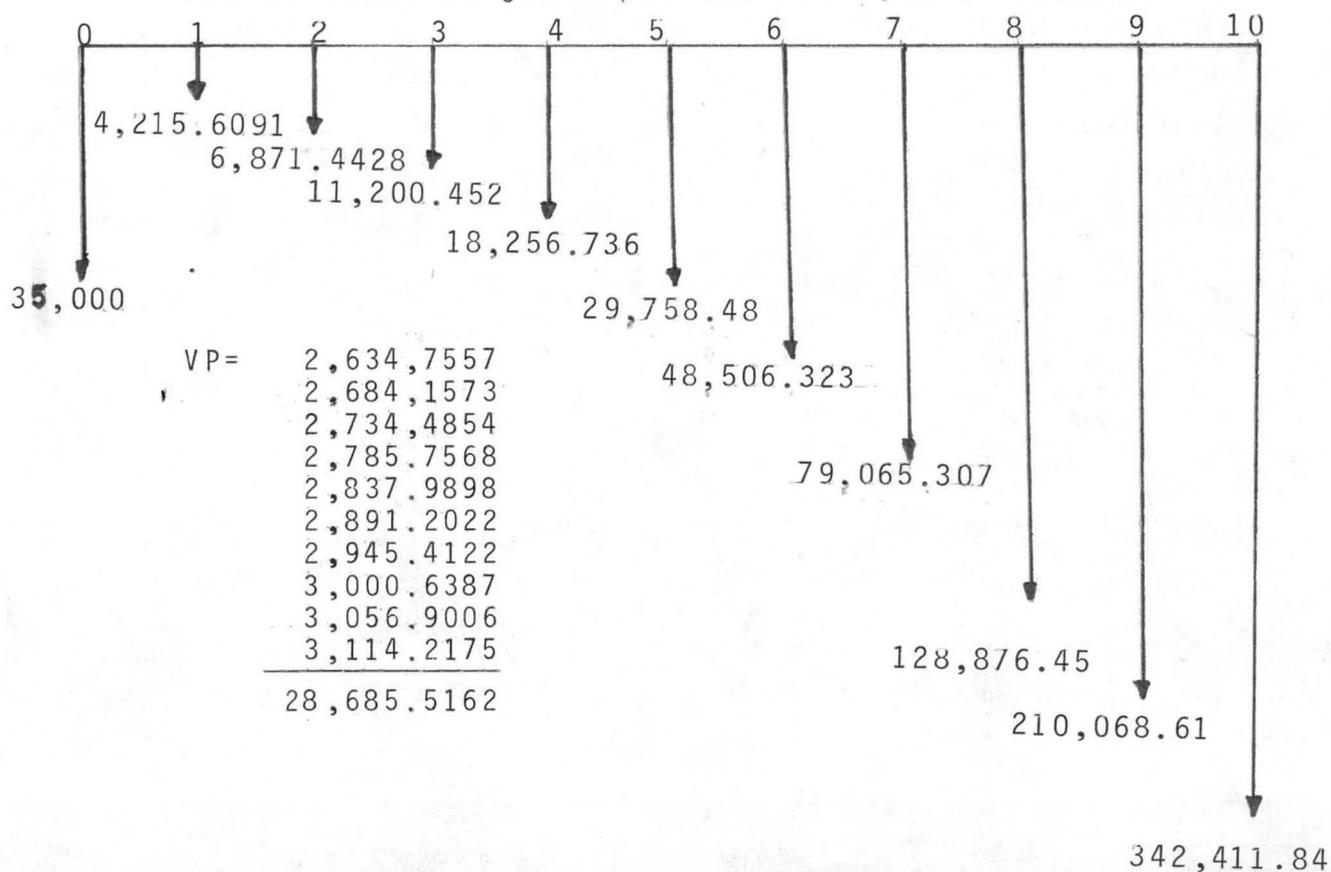
$$\frac{72,000 \text{ Kcal/Mes}}{4,500 \text{ Kcal/M}^3} = 16 \text{ M}^3/\text{Mes}$$

Considerando el incremento en el precio del gas del 63% -

anual o 5.25% mensual (dato obtenido de la Comisión Federal de Electricidad, Div. San Jerónimo), en el mes de enero el gas costará $15.549/M^3$. Entonces el gasto por mes - será el siguiente:

Mes:	Gasto por mes por una Persona
Enero	\$ 248.7856
Febrero	275,5938
Marzo	290.0624
Abril	305.2907
Mayo	321.3185
Junio	338.1877
Julio	355.9426
Agosto	374.6295
Septiembre	394.2976
Octubre	414.9982
Noviembre	436.7856
Diciembre	459.7169

Por lo tanto el gasto por año es: 4,215.6091/año.



Un boiler de esta capacidad cuesta \$35,000.00, por lo tanto nos da un valor de \$63,685.51.

Para el calentador solar se incurrió solamente en los siguientes costos:

Materiales	46,725.00
Indirectos	3,000.00
Mano de Obra	<u>12,000.00</u>
	61,725.00

En cuanto a costos se refiere, el calentador solar si es mejor opción que el boiler, pero habría que analizar las características y las ventajas y desventajas de las dos opciones.

Ver Tabla 5-1.

Siguiendo el mismo procedimiento para una eficiencia del 40% nos arrojan los siguientes resultados:

Boiler:	70,877.30
Calentador Solar:	61,725.00

Con esta eficiencia nos sigue conviniendo el calentador solar.

Para 30% del boiler nos da:

Boiler:	77,012.28
Calentador Solar:	61,725.00

El calentador solar es la mejor opción. (Ver Apéndice A-5)

En el siguiente punto se analizarán las características, ventajas y desventajas.

TABLA 5-1

COSTOS DE LOS MATERIALES DEL MODELO EXPERIMENTAL

2.6 m. Tubería galvanizada de 2", Cédula 40 (17K)	\$	3,715.00
10 m. Tubería galvanizada $\frac{1}{2}$ " Cédula 40		4,200.00
26 kg. Lámina negra, calibre 22		3,796.00
1.22 x 2.40 m. Aislante poliestireno		2,000.00
.61 x 1.20 m. Lana mineral		3,000.00
2"x1 m - $\frac{1}{2}$ "x2m. Aislante Poliestireno (cunetas)		500.00
3 Tees $\frac{1}{2}$ " galvanizadas		476.00
9 Tapones $\frac{1}{2}$ " galvanizados		1,015.00
5 Niples $\frac{1}{2}$ " x 4" galvanizados		477.00
12 Coples $\frac{1}{2}$ " galvanizados		635.00
4 m. Manguera negra térmica		3,022.00
4 Abrazaderas		200.00
Vidrio - 1.24 x 1.10 m		6,000.00
6m. Angulo de $\frac{1}{2}$ " aluminio		1,500.00
2 m. Angulo fierro 1"		2,650.00
$\frac{1}{2}$ Litro Pintura negra		683.00
27 Abrazaderas		450.00
54 Tuercas		186.00
2 Reducción campana 2" - 3/4"		1,380.00
2 Reducción bushing 3/4" - $\frac{1}{2}$ "		345.00
2 Tapón cachucha 2"		1,495.00
1 Válvula y Flotador		2,500.00
Tanque de presión 75 litros		6,500.00
		<u>6,500.00</u>
	\$	<u>46,725.00</u>
		=====

5.2. VENTAJAS Y DESVENTAJAS DEL CALENTADOR SOLAR COMPARADO CON EL CALENTADOR DE GAS

Calentador de agua por gas:

Ventajas

Rapidez de calentamiento
Tiempo de recuperación de calor de 18°C a 50°C (24 min)
Funcionamiento continuo diario

Desventajas

Gas recurso no renovable
Se incurre en un gasto mensual
Utilización de un energético caro y en aumento
Agotamiento del gas

Calentador de agua por energía solar:

Ventajas

Utilización de un energético renovable
Utilización de un energético no contaminante
No impuestos
Recurso al alcance de todos
Fácil fabricación
Menor costo (sin costos mensuales)
No costos
Mayor costo de recuperación

Desventajas

Se dispone de este recurso cierto número de horas diarias.
Menor tiempo de recuperación de temperatura
No genera calor en ciertas condiciones de tiempo ambiente ni en la noche

5.3. GANANCIA DE CALOR EN LOS DOS SISTEMAS

Basado en nuestro modelo experimental y tomando temperaturas por 5 días (mes de noviembre) se obtuvieron los resultados mostrados en la Tabla 5-2. Estos resultados -- pueden compararse con el calor generado por los dos sistemas.

El calentador de gas con el que hacemos la comparación genera 4500 K Cal por hora, mientras que nuestro calentador genera 787.5 K Cal por hora (tomado de datos experimentales), en un día soleado.

5.4 CONCLUSION

Basándonos en los resultados obtenidos en este trabajo se llegó a la conclusión de que depende en mayor grado con las necesidades y posibilidades de las personas que requieran un sistema para calentar agua. Con los resultados obtenidos por el valor presente neto se observó que en cuanto a costos, gastos, etc., es más rentable el calentador solar. Si se requiere de rapidez de calentamiento y se puede pagar el energético (gas) se puede escoger el calentador de gas.

En cuanto a los requerimientos actuales de nuestro país, en cuanto a que se requiere el ahorro de energéticos y de dinero, bien se puede escoger el calentador por energía solar como una opción.

Este calentador solar puede ser utilizado también como precalentador de agua, con lo que ahorraría el gasto en energéticos y menor funcionamiento del calentador de gas.

TABLA 5-2

DIA	HORA	T. AMB.	\bar{T}	T_e	T_s	CONDICION	Q G
1	8:00	21°C	21	21°C	36°C	Nublado	
	9:00	23	23	23	36	Semi-nublado	150
	10:00	25	26	27	33	Semi-nublado	225
	11:00	27	30	33	41	Soleado a medio nublado	300
	12:00	27.5	30.75	34	44.5	" "	56.25
	1:00	28	34.5	41	48	Soleado a medio nublado (aire fresco)	281.25
	2:00	26.5	34.25	42	42.5	Nublado aire fresco	-18.75
	3:00	26.5	33.5	40.5	39	Nublado frío fogoso	-56.25
	4:00	26	32	38	42	Nublado más claro	-112.5
	5:00	26	31.25	36.5	43	Nublado	-56.25
							<u>768.75</u>
							=====
	2	8:00	18°C	21	24°C	35	Nublado frío
9:00		18	22	26	35	Semi-nublado	75
10:00		19	23	27	36	Fogoso	75
11:00		20	24	28	38	Fogoso	75
12:00		20	26	32	41	Sol a medio nub.	150
1:00		20.5	28.75	37	45	Sol a medio nub. (viento)	206.25
2:00		20	30	40	48	Sol a medio nub.	93.75
3:00		19.5	29.25	39	39	Sin sol Nublado frío	-56.25
4:00		18	28	38	36	Sin sol nublado frío	-93.75
5:00		17	26.5	36	37	Sin sol nublado frío	-112.5
6:00		16	23.75	31.5	40	Sin sol nublado frío	-206.25
						<u>206.25</u>	
						=====	

(TABLA 5-2)

DIA	HORA	T.AMB.	Te	T	Ts	CONDICION	Q.G.(KCal)
3	8:00	23°C	19°C	22	25°C	Medio nublado	
	9:00	24	20	24	18	Medio nublado	150
	10:00	24	22	27	32	Sol despejado	225
	11:00	26	25	30	35	Sol despejado	225
	12:00	26.5	28.5	31.5	34.5	Sol despejado	112.5
	1:00	26.5	34	39	44	Sol despejado	562.
	2:00	27	36	42	48	Sol despejado	225
	3:00	29	39	43.5	48	Sol despejado	112.5
	4:00	27.5	38	42	46	Medio soleado	- 112.5
	5:00	27	38	41	44	Sin sol	- 75
						<u>1,424</u>	
						=====	
4	8:00	24.5	34	34.5	35	Medio soleado	
	9:00	24	36	36.5	37	Soleado	250
	10:00	26	36	38	40	Soleado	112.5
	11:00	26	40	42.5	45	Soleado	337.5
	12:00	26	42	45	48	Soleado	187.5
	1:00	27.5	46	49.5	53	Soleado	337.5
	2:00	26	47	48.5	50	Sin Sol	75
	3:00	25	48	48	48	Sin sol medio nub.	-37.5
	4:00	24	48	48	48	Nublado aire frío	0
	5:00	24	45	44.5	44	Nublado aire frío	-262.5
						<u>900</u>	
						=====	
5	8:00	24	30	31.5	33	Nublado	
	9:00	25	30	31.5	33	Medio Nublado	0
	10:00	27	32	33.5	35	Fogoso	150
	11:00	27	40	44	48	Soleado	787.5
	12:00	27	41.5	46.25	51	Soleado	168.75
	1:00	26	47	50.5	54	Soleado	318.75
	2:00	25	50	52.5	55	Soleado	150
	3:00	26	51.5	52.75	54	Soleado	18.75
	4:00	25	51.5	51.5	51.5	Soleado	- 93.75
	5:00	24	49	-47	46	Soleado	-337.5
						<u>1162.5</u>	
						=====	

APENDICE.

34

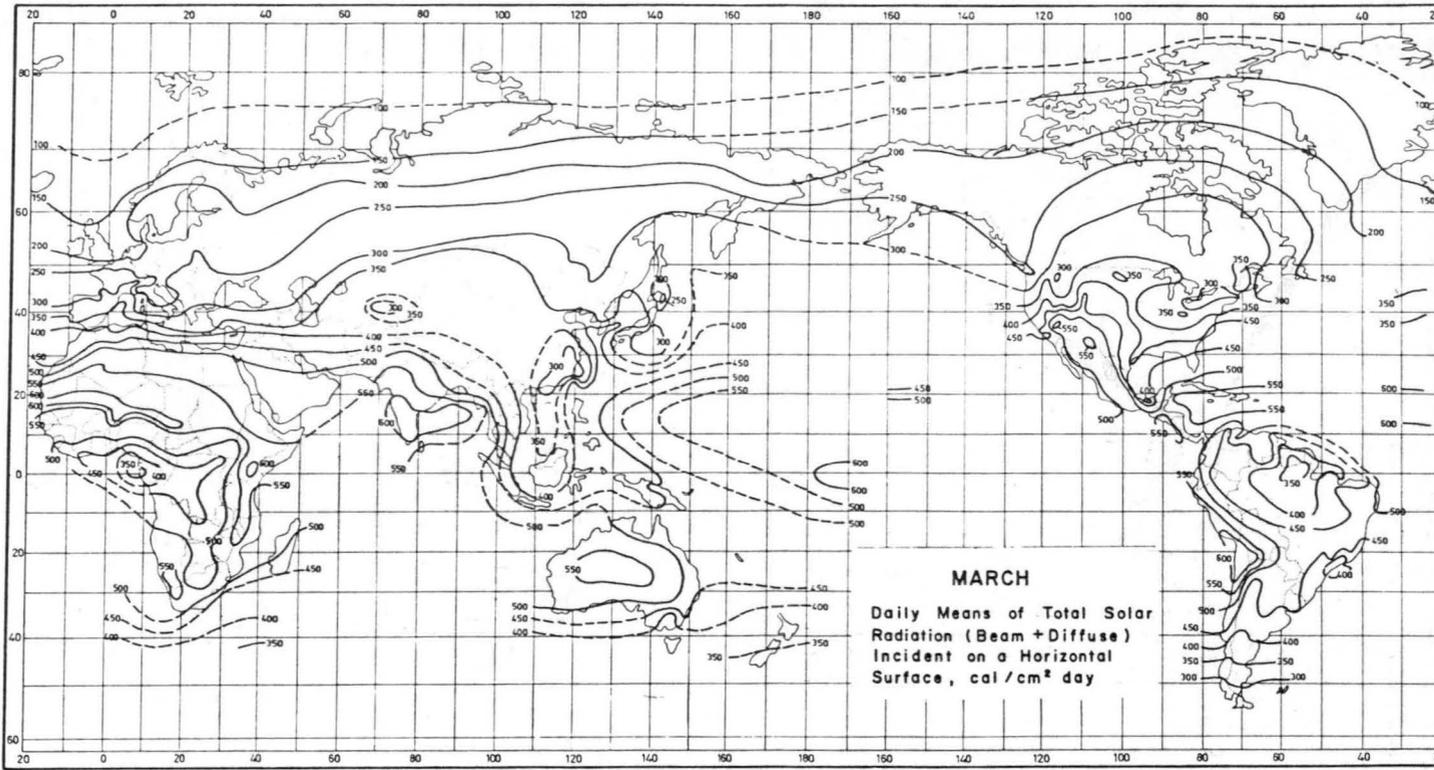


Figure 3.3.1 Daily radiation for March.

500

600 cal (860 W/hr) dia (100°)
cm² (1 cal) 24hr (100°)

600

35

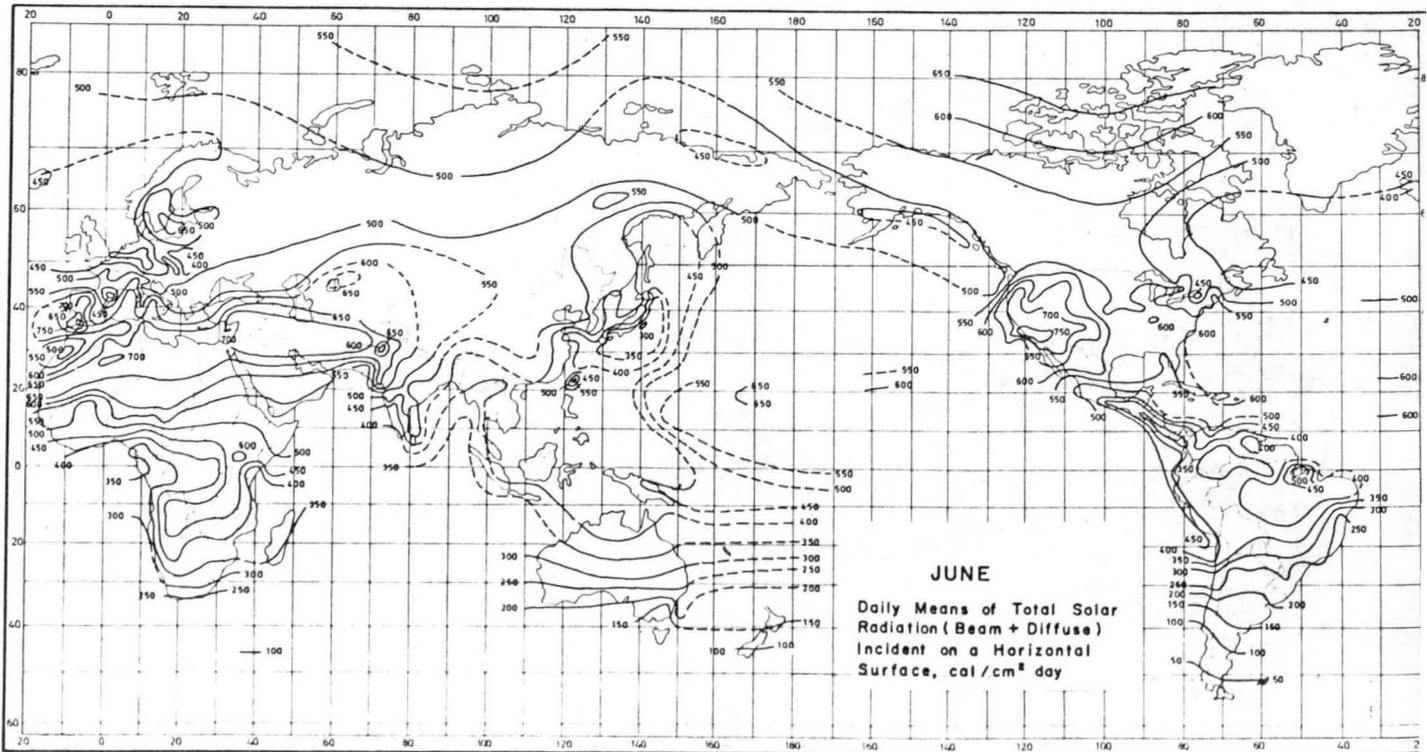


Figure 3.3.2 Daily radiation for June.

36

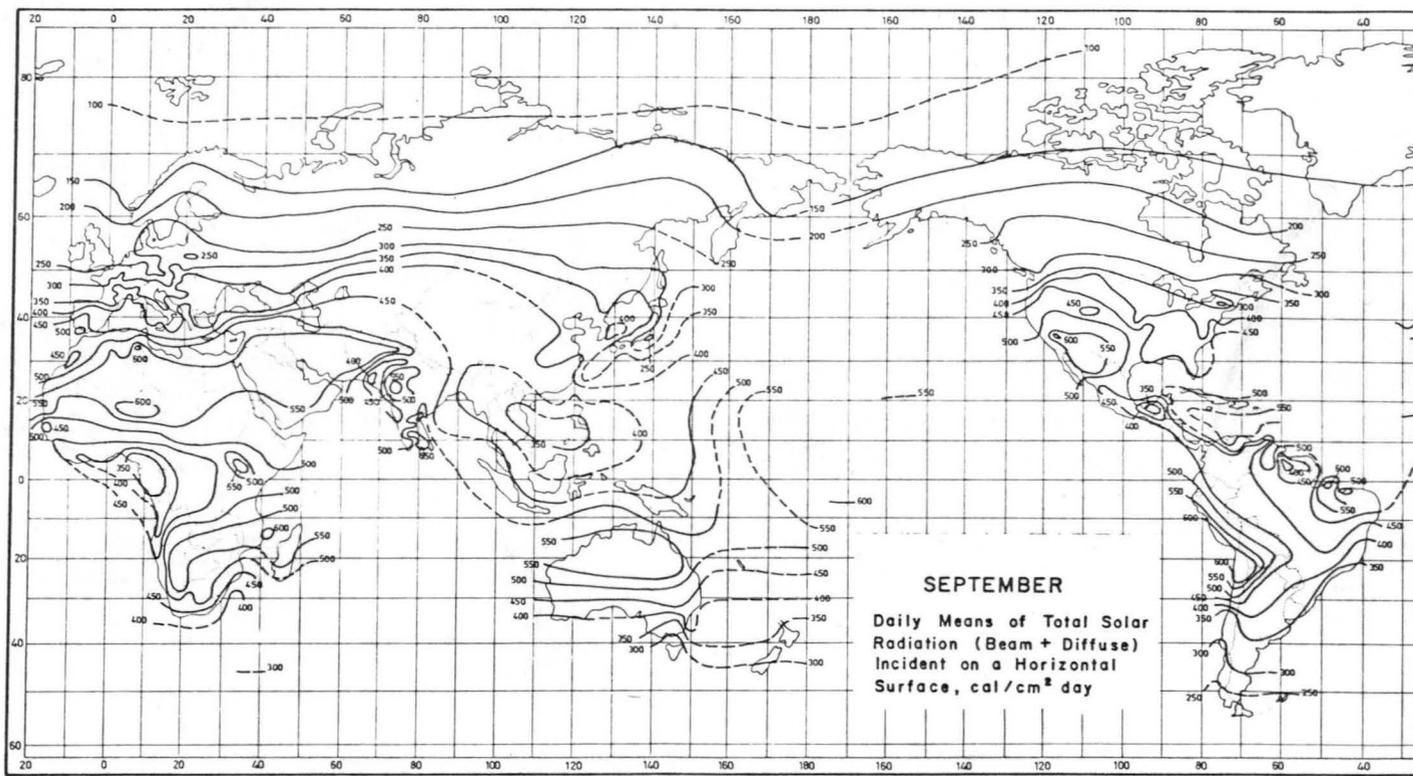
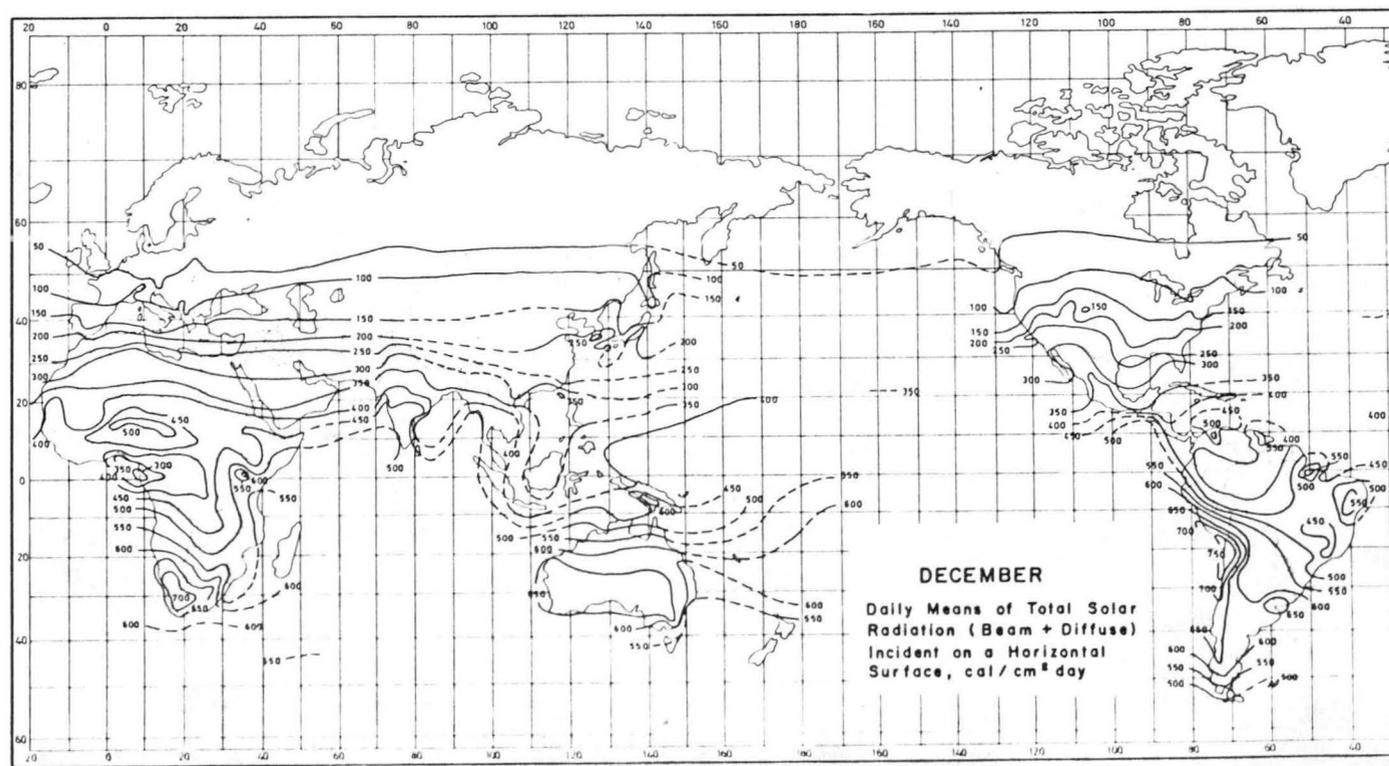


Figure 3.3.3 Daily radiation for September.

500

37



300

REACCION TERMONUCLEAR.- Es una reacción mediante la cuál 4 protones (átomos de Hidrógeno desprovistos de su electrón orbital) se combinan a través de los efectos catalíticos del Carbono, formando un núcleo de Hélio. La diferencia en masa entre la correspondiente a la de 4 protones y la de un núcleo de Hélio se convierte en energía, la cual es la fuente última de la energía que se radia del sol.

CONDUCCION.- Se considera a nivel molecular como un transporte de la cantidad de movimiento a lo largo del gradiente de temperatura.

CONVECCION.- El flujo de Entalpía $dH=dU+d(PV)$ se llama flujo convectivo de calor, o simplemente convección. Termodinámicamente la convección no se considera como flujo de calor, sino como una densidad de flujo de entalpía.

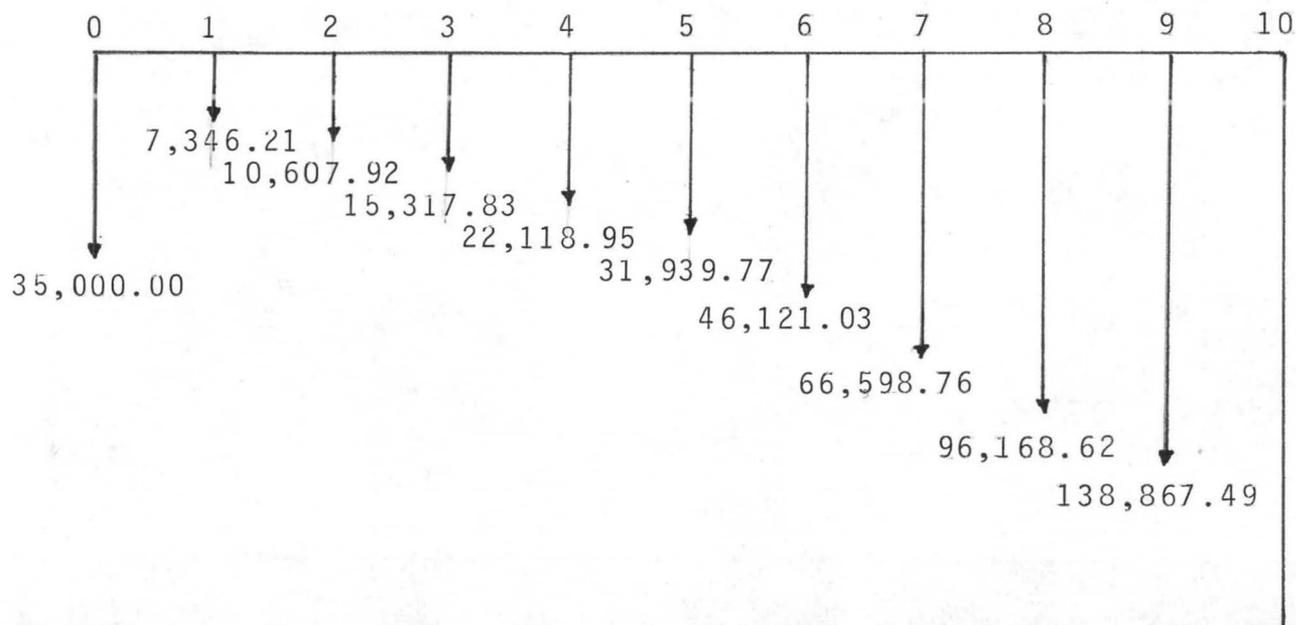
RADIACION.- Es la transmisión de energía a través del espacio mediante ondas electromagnéticas.

ONDAS ELECTROMAGNETICAS.- Es la energía radiada en forma de campos interdependientes, uno eléctrico y otro magnético, tendiendo cada uno de ellos a mantener el otro. El campo magnético cambiante da lugar a un campo eléctrico y el campo eléctrico cambiante a un campo magnético. Se dice que la radiación consiste de ondas electromagnéticas que viajan al espacio a la velocidad de la luz (299,976 Km./Seg.).

En el mes de Diciembre del presente año, el gas tuvo un incremento en su costo de 15.549 a 30.05 pesos el metro cubico, con un incremento del 3.7% mensual. Con estas condiciones y con una eficiencia del boiler del 50%, tenemos lo siguiente:

<u>Mes:</u>	<u>Gasto en pesos por persona al mes</u>
Enero	\$ 480.80
Febrero	517.03
Marzo	536.16
Abril	556.00
Mayo	576.57
Junio	597.91
Julio	620.03
Agosto	642.97
Septiembre	666.76
Octubre	691.43
Noviembre	717.01
Diciembre	743.54

Por lo tanto el gasto por año es: \$7,346.21/año.



VP =	5,247.29
	5,412.20
	5,582.29
	5,757.74
	5,938.70
	6,125.34
	6,317.85
	6,516.42
	6,721.22
	6,932.46
	<hr/>
	60,551.51

Si tomamos en cuenta que un Boiler de esta capacidad nos cuesta \$35,000, usando un 40% de interes del banco y un 44.4% de incremento anual en el costo del gas, tenemos un valor total de \$95,551.51, que comparado con los costos incurridos en un calentador solar que en total son del orden de los \$61,725.00, podríamos concluir que la opción solar es la mejor en cuanto a lo que se refiere a rentabilidad.

BIBLIOGRAFIA

CAMPBELL, S.T.U.

Construya su Propio Calentador Solar

México, D. F., Ed. Calypso, S. A., 1978. Pag. 117

COMISION FEDERAL DE ELECTRICIDAD

Campaña de Uso Racional de Energéticos

Monterrey, 1985

DANIELS, FARRINGTON

Uso Directo de la Energía Solar

Madrid, Artigrafía, S. A., 1981. 301 pp.

DUFFIE, JOHN A. Y WILLIAM A. BECKMAN

Solar Energy Thermal Processes

New York, John Wiley & Sons., 1979. 386 pp.

ENCINAS, MANUEL POLO.

Energéticos y Desarrollo Tecnológico

México, D. F., Ed. Limusa, 1979. 269 pp.

FAIRES, VIRGIL MORING

Termodinámica

México, D. F., Uteha, 1980. 890 pp.

FERNANDEZ DEL VALLE LARSEN, MIGUEL

Acondicionamiento de Aire y Refrigeración de Locales

Monterrey, 1985. 100 pp.

FOSTER, WILLIAM F.

Build it Book of Solar Heating Projects

U.S.A., Tab Books, 1977, 195 pp.

JENNINGS, BUNGESSH Y SAMUEL R. LEWIS

Aire Acondicionado y Refrigeración

México, D. F., CECSA, 1982. 791 pp.

JORDAN, RICHARD C.

Applications of Solar Energy for Heating & Cooling of Buildings

New York, ASHRAE, 1977, 206 pp.

KERN, DONALD Q.

Procesos de Transferencia de Calor

México, D. F. Ed. CECSA, 1974, 980 pp.

KUNZE, GERHARD

Horno Solar para Secar Madera en la Sierra Huichola

Guadalajara, COFE. 195, 40 pp.

MANRIQUE, JOSE A., CARDENAS RAFAEL S.

Termodinámica

México, D. F., HARLA. 1981, 330 pp.

MJZQUIZ TANAKA, GERARDO JESUS

Análisis y Desarrollo de un Destilador Solar Tipo Estanque

Monterrey, 1983. 90 pp.

PALZ, WOLFGANG

Electricidad Solar

Barcelona. Imprenta Juvenil. 1977. 261 pp.

900574