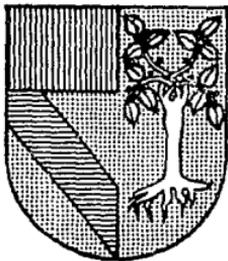


308917



UNIVERSIDAD PANAMERICANA

2
2ej.

ESCUELA DE INGENIERIA

Con estudios incorporados a la
Universidad Nacional Autónoma de México

**EVALUACION E IMPLEMENTACION DE UN
CALENTADOR SOLAR DE AGUA
PARA USO DOMESTICO**

TESIS CON
VALIA DE ORIGEN

TESIS PROFESIONAL

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:
INGENIERO MECANICO ELECTRICISTA

AREA: MECANICA ELECTRICA

P R E S E N T A

JOSE ANGEL AGUERREBERE GALVEZ

DIRECTOR: FIS. MARIANO ROMERO VALENZUELA

MEXICO D. F.

1992



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.

INDICE.

Introducción	1
Capítulo 1: Generalidades.	4
1.1 Historia del aprovechamiento de la energía solar	4
1.2 Utilización actual de la energía solar	6
1.3 Características del sol	7
Capítulo 2: Bases Teóricas.	10
2.1 El método del diagrama F	10
2.2 Prueba de eficiencia de los colectores solares	13
2.3 Coeficiente de pérdidas de calor totales del colector	15
2.4 Factor de eficiencia de eliminación de calor	18
2.5 Radiación total sobre plano inclinado	20
2.6 Producto transmitancia-absortancia	22
Capítulo 3: Selección del Sistema.	27
3.1 Sistema de calentamiento solar de agua	27
3.2 Selección entre circulación forzada y termosifón	28
3.3 Selección entre sistema directo e indirecto	29
3.4 Selección de la localización del colector	30
3.5 Selección del área de captación y volumen de almacenamiento	30
3.6 Consideraciones adicionales	31
Capítulo 4: Implementación del Sistema.	
4.1 Desarrollo del programa de simulación	46
4.2 Análisis de los resultados del programa de simulación.	47
4.3 Desarrollo del programa de diseño	48
4.4 Análisis de los resultados del programa de diseño solar	49

Capítulo 5: Análisis Económico.	53
5.1 Relación de costos de los sistemas solares y de gas LP.	53
5.2 Primera estimación de costos de los sistemas solares	53
5.3 Segunda estimación de costos de los sistemas solares: el método del costo de ciclo de vida.	55
Conclusiones.	68
Bibliografía	69
Apéndice 1: Mapas de Insolación para la República Mexicana	72
Apéndice 2: Listados, Corridas y Diagramas de Flujo de los Programas Usados.	85

Índice de Figuras.

1.- Colector Solar	9
2.- Balance térmico del colector	24
3.- Datos técnicos del colector solar	25
4.- Banco de pruebas planta solar, UNAM	26
5.- Detalle de instalación de un calentador solar	34
6.- Comparación entre termosifón y bombeo	35
7.- Comparación entre sistema directo e indirecto	36
8.- Ventana solar	37
9.- Curva de la circuladora usada en el sistema de Tlalpan	38
10.- Curva de la circuladora usada en el sistema de Bosques	39
11.- Vista general del sistema de Bosques de las Lomas	40
12.- Vista de la circuladora y válvula de solenoide	40
13.- Vista del control Heliotérmico	41
14.- Vista de la válvula anticongelante y el desagüe	41
15.- Vista general del sistema de Tlalpan	42
16.- Vista del termostato y el termómetro	43
17.- Comparación entre el programa de simulación y los datos del fabricante.	51
18.- Comparación entre el programa de simulación y la prueba de eficiencia de la UNAM	52

Índice de Tablas.

1.- Pérdida de carga en el circuito de Tlalpan	44
2.- Pérdida de carga en el circuito de Bosques de las Lomas	45
3.- Cuantificación del equipo solar de Tlalpan	58
4.- Cuantificación del equipo solar de Bosques de las Lomas	59
5.- Cuantificación del calentador de gas	60
6.- Primera estimación de costos del sistema solar de Tlalpan	61
7.- Primera estimación de costos del sistema solar de Bosques de las Lomas	62
8.- Relación entre el índice nacional de precios al consumidor y la cotización de cetes a 28 días.	63-64
9.- Costos por el método de ciclo de vida, escenario realista	65
10.- Costo por el método de ciclo de vida, escenario optimista	66
11.- Costos por el método de ciclo de vida, escenario pesimista	67

Introducción

Nuestra civilización se ha basado en el presente siglo, en la extracción de energía principalmente del petróleo, que es una energía que hasta el momento ha resultado barata, pero que no lo será por mucho tiempo, y además tiene las desventajas de ser un recurso no renovable y contaminante. El reto de hoy de la ingeniería consiste en mantener y aumentar el nivel actual de comodidad y desarrollo sobre la base de fuentes energéticas renovables y limpias, y que a la vez aprovechen la tecnología existente.

En la medida en que seamos capaces de usar racionalmente nuestros recursos naturales estaremos dispuestos para competir favorablemente en el exterior, en donde se vislumbra una globalización de la economía.

En este sentido, el aprovechamiento de la energía solar no aparece como la única solución a este cambio energético, sino solamente es una ayuda para utilizar el gas LP o el gas natural en áreas más productivas para el país como pudiera ser la producción de hierro esponja o para el transporte de mercancías dentro de las ciudades, en vez de utilizarlos para el calentamiento de agua o calefacción.

En México tenemos una situación geográfica envidiable y una insolación suficientemente intensa para desperdiciarla.

El desconocimiento de la tecnología adecuada y el precio tan barato que ha tenido, hasta el momento, el gas LP han sido obstáculos que no han permitido la utilización de la energía solar en aplicaciones como la calefacción o el calentamiento de agua, que redituaría muchos beneficios al país.

Algunas bondades de la aplicación de la energía solar no se pueden cuantificar como, por ejemplo, un aire limpio, eliminación del peligro de explosión potencial que representan las instalaciones de distribución de gas en las ciudades o el hecho que al calentar el agua con el sol estamos dejando los combustibles fósiles para generaciones futuras.

La Tierra ha tardado millones de años en formar estos recursos y es un desperdicio que nosotros estemos, en un par de siglos, acabando con este precioso legado prehistórico.

Este estudio pretende demostrar que el uso del calentamiento de agua para uso doméstico a través de la energía solar es una buena alternativa para la situación de México, tanto térmica como económicamente.

Para lograr este objetivo se analizaron dos sistemas, ambos localizados en la Ciudad de México.

El primero se localiza en el sur de la ciudad en una construcción con 25 años de antigüedad con un área de colección de 3.4 m^2 y con volumen de -

almacenamiento de 600 litros. El otro circuito se localiza en Bosques de las Lomas en una construcción nueva, con un área de colección de 5.9 m^2 y un volumen de almacenamiento de 300 l.

La metodología para analizar térmicamente el colector solar plano fue desarrollada en Estados Unidos en la Universidad de Wisconsin por William Beckman, Sanford Klein y John Duffie y se llama el método del diagrama F. Consiste en determinar dos variables adimensionales para encontrar el rendimiento del colector en periodos largos de tiempo.

Con el fin de analizar los sistemas instalados, se adaptó el método del diagrama F a las necesidades de México, así se desarrollaron dos programas. El primero consiste en el análisis del colector solar para encontrar su rendimiento en periodos largos de tiempo. Para ello, se hace la simulación de un año completo de uso del sistema, basado en los datos meteorológicos estadísticos y en la construcción del sistema.

El segundo programa es inverso al anterior, es decir, en el programa de análisis se introducen los datos del sistema y se encuentra el rendimiento, y en el programa de diseño se conoce la localización del colector y su rendimiento esperado y se encuentra el área y el volumen adecuados. Para realizar el diseño se necesita la gráfica de eficiencia del fabricante del colector solar, los datos meteorológicos estadísticos y el rendimiento deseado y el programa arroja el área óptima para esas condiciones climatológicas y el volumen de almacenamiento de agua caliente.

Para probar el funcionamiento del primer programa se compararon los resultados de la gráfica de eficiencia determinada con los datos del fabricante y también los resultados del programa con los datos obtenidos en un banco de prueba localizado en la planta solar del Instituto de Ingeniería de la UNAM.

En el capítulo 1 se dan las bases sobre la energía solar, a saber, la Historia del aprovechamiento de la energía solar, su utilización actual, la naturaleza de esta fuente de energía tan importante así como la explicación general del funcionamiento del sistema de calentamiento de agua solar usado en este trabajo.

En el capítulo 2 se analiza con mayor detalle en qué consiste el método del diagrama F y se describen dos maneras para encontrar las variables necesarias: la primera es hacer la prueba de eficiencia del colector plano. Se hace en este capítulo un análisis de las principales normas para evaluarla. La segunda es un análisis teórico de cada una de las variables que se determinan de acuerdo con la construcción del colector solar plano.

En el capítulo 3 se explica el diseño de los dos sistemas analizados en este trabajo y su justificación. Se deduce la conveniencia del mejor sistema, se hace el cálculo del área de colección, el volumen de almacenamiento y finalmente el cálculo de la bomba.

En el capítulo 4 se desarrollan los dos programas, se analizan los resultados y se comparan con los datos del fabricante y con una prueba de eficiencia utilizada con este fin.

En el capítulo 5 se analiza económicamente el sistema con el fin de conocer la inversión inicial, el tiempo amortización, y utilizando el método del

costo de ciclo de vida, conocer si resulta mas económico el sistema solar o el sistema convencional de gas LP en el periodo de vida de los dos sistemas.

Posteriormente se dan las conclusiones a las que se llegaron.

Se incluye además dos apéndicies: El primero está formado por los mapas - de radiación total y radiación directa de la República Mexicana, con el fin de utilizar los programas de rendimiento y diseño, en sistemas solares similares - a los aquí utilizados para lugares fuera de la Ciudad de México y su área me - tropolitana.

En el segundo apéndice se enlistan los programas desarrollados, diagramas de flujo, corridas y descripción de la variables utilizadas, para su mejor com prensión.

CAPITULO 1 : GENERALIDADES.

1.1 Historia del aprovechamiento de la energía solar (6).

Las antiguas culturas tenían, por lo general, un concepto religioso del sol, al que consideraban fuente de toda vida. La historia de su aprovechamiento está confundida la mayor parte de las veces, con leyendas y mitos.

El empleo de la energía solar se remota a Egipto, se dice que durante el reinado de Amenhotep III (1455-1419 a.C.), se utilizaron las estatuas sonoras que tenían un pequeño orificio por el cual salía un leve silbido producto del aire calentado en su interior por el Sol. También a los egipcios se les debe el aprovechamiento del efecto invernadero, con el que alcanzaban temperaturas de hasta 130° C.

Antiguamente el aprovechamiento de la luz solar se restringía a juegos, como los lentes de aumento encontrados en Nínive, que datan del siglo VII a.C. y que se supone servían de pasatiempo para prender fuego.

Una aplicación más sorprendente resulta el relato de cómo Arquímedes -- (287-212 a.c.) contribuyó a repeler a la flota romana en el asedio a Siracusa-comandada por Marcellus. Para ello utilizó espejos colocados en las murallas, que empezaron a incendiar las naves de los romanos quienes sorprendidos creyeron estar luchando contra dioses.

De igual manera Ploclus, incendió las naves de Vitellius con espejos enormes, durante el sitio de Constantinopla.

No se vuelve a encontrar otro vestigio del aprovechamiento de la energía solar si no hasta el siglo XVII cuando Athanasius Kircher (1601-1680), que realizó experimentos para quemar pilas de madera para demostrar que el relato de Arquímedes tenía validez científica, a su vez, describió con detalle un destilador solar, que consistía en un espejo cóncavo colocado sobre un eje que permitía seguir el movimiento del Sol, y así reflejaba el haz solar con el propósito de vaporizar el contenido de una caja.

En 1615, Salomón de Caux publicó la descripción de un aparato de energía solar, que consistía en un conjunto de lentes que estaban enfocados a una cámara de metal hermética parcialmente rellena de agua. El aire al calentarse se expandía, obligando al agua a salir por unos pequeños orificios que formaban una fuente.

Un empleo más práctico, fue desarrollado por Ehrenfriedvon Tschirhaus -- (1651-1700), miembro de la Academia Nacional Francesa de Ciencia, que utilizó lentes de 76 cm, para fundir materiales cerámicos.

George Louis Leclerc Buffon (1707-1788) construyó el primero de los espectaculares hornos de fundición franceses por medio de la energía solar utilizando 360 pequeños espejos incidiendo sobre un punto determinado. A su vez, Buffon para validar la hazaña de Arquímedes, construyó un pequeño dispositivo formado por 140 espejos planos cuadrangulares, con el que quemó una pila de madera a 60 m. de distancia, en el año de 1747 ante la corte francesa.

El primer experimento de hornos solares destinados a la cocción de alimentos fue descrito por Nicolás de Saussure (1740-1799). que también desarrolló varias máquinas basadas en el efecto invernadero.

Antoine Lavoisier (1743-1794) trabajó también con hornos solares. Construyó dos vidrios curvos de 130 cm. de diámetro montados para formar un lente con vexo relleno de alcohol, y se colocaron pequeños lentes para reducir la distancia focal, así alcanzó la temperatura de 1760 °C, suficiente para poder fundir platino.

En el año de 1747, Jacques Cassini, director del observatorio de París, - construyó un espejo de 112 cm. de diámetro, el cual fue presentado a Luis XV, - fundiendo una varilla de hierro en pocos segundos, además de derretir plata - formando rizos al caer en agua.

Henry Bessemer (1813-1898) construyó un horno de 305 cm de diámetro, formado por muchos pequeños espejos planos, que utilizaba para fundir metales como zinc ó cobre.

August Mouchot fue el pionero de la construcción de aparatos solares para la generación de vapor aprovechándolo para obtener energía mecánica. En 1878 - presentó un reflector en forma de cono truncado que consistía en placas de metal plateado con un diámetro de 540 cm, un área de captación de 18.6 m² y un peso de 1400 Kg. A este aparato se le conoció como Oxición y era capaz de producir vapor a 3.5 atm, suficiente para obtener fuerza motriz.

Abel Pifre, basándose en el Oxición de Mouchot, desarrolló un colector solar a base de pequeños espejos, que fue presentado en la exposición de París, - en 1878, haciendo operar una imprenta de vapor, mediante energía solar.

John Ericsson inventó una máquina de ciclo de aire caliente compuesto por un cilindro con dos pistones, que calentaba el aire por medio de un colector - parabólico.

En 1913, Schumann operaba una bomba de 60 HP en Meadi, cerca del Cairo, - mediante colectores parabólicos que generaban vapor.

Estos acontecimientos fueron frenados por el advenimiento del petróleo, - que contribuyó a la rápida industrialización por medio de una sustancia barata no renovable y altamente contaminante.

Fue al principio de la decena de los 40 cuando se empezaron a comercializar los primeros colectores solares planos fabricados en México.

En lo referente al aprovechamiento de la energía solar por medio del efecto fotovoltaico para producir electricidad, se inició en 1954 cuando se inventó el primer aparato fotovoltaico práctico en los laboratorios de Bell.

A partir de la crisis del petróleo de la década de los 70s, se vió la necesidad de crear una tecnología para satisfacer las necesidades de comodidad del hombre, por medio de técnicas que tiendan a usar fuentes de energía renovables, que protejan y preserven el ambiente y restringir el uso del petróleo que generalmente es importado por los países industrializados.

Las tecnologías del aprovechamiento de la energía solar fueron desarrolladas totalmente terminando la segunda guerra mundial, pero fue recientemente que se dieron las condiciones económicas favorables para su difusión masiva, debido a la escalada de precios de los combustibles fósiles.

En países como Israel, uno de cada cuatro departamentos tiene suministro de agua caliente a través de colectores solares y en Tel-Aviv el 75% de las casas tienen esta fuente de calor. Estos hechos constituyen un ejemplo muy estimulante para la adecuación funcional de estas técnicas en nuestro país, en donde el Sol es un elemento casi omnipresente.

1.2 Utilización actual de la energía solar.

Actualmente los usos activos de la energía solar que más se han comercializado son:

a) Mediante el efecto fotovoltaico que convierte la luz directamente en electricidad. El dispositivo utilizado para convertir la energía solar directamente en electricidad es la fotocelda. Esta última está constituida por dos capas delgadas de materiales semiconductores que al unirse crean una diferencia de potencial interna entre ellas.

Cuando la fotocelda es iluminada, algunos electrones son excitados y se desprenden de sus átomos, formando una corriente en dirección contraria a la del campo eléctrico interno. Por otro lado, los huecos dejados por los electrones que se desprenden, hacen que los electrones ligados a la red cristalina se desplacen para llenar estos huecos. Este fenómeno da origen a lo que se conoce como conducción por huecos, ya que los huecos se comportan como partículas positivas moviéndose en la dirección del campo. Ambos fenómenos contribuyen a la conducción eléctrica dentro de la celda solar. Uniendo en serie un número suficiente de estas fotoceldas, se puede producir suficiente corriente para satisfacer las necesidades de los usuarios a la tensión deseada. Teóricamente se pueden alcanzar una eficiencia entre el 24 y 26 por ciento en la conversión de energía solar en eléctrica, pero en la realidad se han alcanzado eficiencias de hasta el 16 por ciento.

b) Mediante transferencia de calor que convierte la energía radiante directamente en calor. Se utiliza un colector solar, que consiste en una placa generalmente de cobre con una superficie, negra o selectiva, para captar al máximo la energía radiante, como se muestra en la figura 1. Este colector está formado por tubos en su interior, ya sea en forma reticular o de serpentín, por donde circula el fluido de trabajo que absorbe la energía captada. Para minimizar las pérdidas de calor, el colector está aislado en sus costados y en su parte inferior.

Las principales aplicaciones del colector solar son para calefacción de vivienda, secado, destilación de agua salada, refrigeración, generación de electricidad mediante vapor y calentamiento de agua, el objeto de este estudio. La eficiencia varía mucho por el sistema o por el fluido de trabajo, pero se puede considerar entre del 30 al 50 por ciento como aceptable.

1.3 Características del sol (4)

Nuestro Sol es solamente una estrella más en el sistema de la Vía Láctea, ni si quiera se encuentra en el centro de este disco que gira con cien billones de estrellas. La rápida rotación que tiene nuestra galaxia ha aplanado la materia en una delgada lenteja circular de unos cien mil años luz de diámetro y diez mil años luz de espesor.

Nuestro Sol se encuentra a unos treinta mil años luz de distancia del núcleo central de estrellas: localizándose en uno de los brazos espirales cerca de ellos.

El Sol puede considerarse como una esfera de plasma incandescente, está a una distancia media de la Tierra de 149.5 millones de Km, con un error de 16,000 Km calculada a partir de la relación de Kepler, pero la distancia real de la Tierra al Sol varía en cerca de 4.8 millones de Km., debido a la excentricidad de la órbita de la Tierra.

La distancia es menor cuando está en el perihelio a principios de Enero y mayor cuando se encuentra en el afelio a principios de Julio. Por esa razón la luz y el calor que recibimos del Sol varían aproximadamente en un 7 por ciento en el transcurso del año.

Así como cambia la distancia al Sol, de igual manera su diámetro aparente. Su diámetro medio es de 1,390,000 Km. Como consecuencia de su lenta rotación sobre su eje el Sol no se encuentra aplanado notablemente en sus polos.

Aplicando la ley de la gravitación universal de Newton, se puede encontrar la masa del Sol apartir de la masa de la Tierra, se puede deducir que el Sol tiene 332,000 veces la cantidad de materia que tiene la Tierra. Este resultado nos permite comparar las densidades medias de ambos cuerpos. Hallándose que el Sol tiene 0.256 veces la densidad de la Tierra, si tenemos en cuenta que la densidad media de la Tierra es 5.52 comparada con la del agua. En consecuencia la del Sol sería:

$$5.52 \times 0.256 = 1.4 \text{ veces la densidad del agua.}$$

La radiación total media del Sol se calcula en 3.92×10^{23} KW. Si utilizamos la ley de Stefan-Boltzman que nos permite conocer que temperatura tiene que tener un cuerpo en su superficie para irradiar cierta cantidad de calor. Se puede calcular que el sol está a una temperatura de 5790 K en una área de $66,000 \text{ Km}^2$.

Esta radiación implica una transformación de materia equivalente a 4 millones de toneladas en un segundo. De esa enorme densidad superficial de energía emite continuamente hacia el espacio, la Tierra, según Ellison (2), intercepta

alrededor de 1.392 W/cm^2 , a la que se denomina constante solar, definida como la energía total en un minuto, estando el receptor justamente afuera de la atmósfera terrestre y cuando el Sol se encuentra en su distancia media. El análisis de la constante solar indica que el Sol nos está proporcionando 1.86 Caballos de fuerza por cada metro cuadrado, pero solamente el setenta por ciento de esta radiación llega a la superficie, siendo esto más que suficiente para satisfacer nuestras necesidades, si tuviésemos los medios para utilizarla con eficiencia.

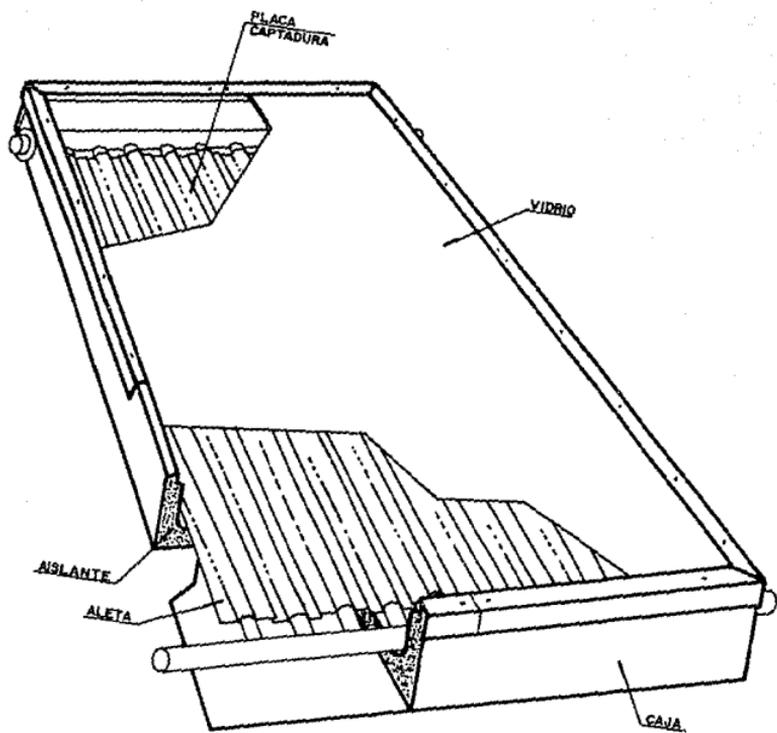


FIGURA I
COLECTOR SOLAR

CAPITULO 2: BASES TEORICAS

2.1 El método del diagrama F.(1)

El método del diagrama F. fue desarrollado en la Universidad de Wisconsin con el fin de establecer una forma sencilla para el diseño del tamaño de un colector solar mediante dos variables adimensionales que se relacionan, por medio de simulaciones por computadora, con el rendimiento del colector en periodos largos.

Estas relaciones se representan como ecuaciones o como gráficas a las que se les da el nombre de "diagrama F" donde F es la fracción del total de la carga de calor anual que proporciona la energía solar.

Las variables adimensionales X y Y se pueden definir como:

$$X = A FR UL (T_{ref} - \bar{T}_o) \Delta t / L \quad (1)$$

$$Y = A FR (\bar{\tau \alpha}) \bar{H}_t N / L \quad (2)$$

donde:

- A es el área del colector solar (m^2).
- FR es el factor de eficiencia de eliminación de calor.
- UL es el coeficiente de pérdidas totales de calor del colector ($W/^\circ C \cdot m^2$).
- Δt es el total de segundos en un mes.
- T_{ref} es la temperatura de referencia y se determina como $100^\circ C$.
- \bar{T}_o es el promedio mensual de la temperatura ambiente del lugar en donde se instaló el colector ($^\circ C$).
- L es el total de la carga mensual de calor (J).
- \bar{H}_t es el promedio mensual de la energía radiante que incide en la superficie del colector por unidad de área (J/m^2).
- N es el número de días en el mes.
- $(\bar{\tau \alpha})$ es el promedio mensual del producto absorbtancia transmitancia.

Estas variables adimensionales tienen cierto significado físico: es la relación entre las pérdidas de calor del colector y el total de la carga de calor mensual y es la relación entre el total de energía absorbida por el colector y el total de la carga de calor mensual.

Los valores de FR , UL , $\bar{H}t$ y $(\bar{\sigma})$, pueden ser hallados mediante la prueba de eficiencia del colector descrita en la siguiente sección o mediante ecuaciones algebraicas especificadas en las secciones 2.3 a 2.6, los demás valores, exceptuando L , pueden ser determinados fácilmente con los datos meteorológicos del lugar.

La carga de calor, L , considerando una necesidad de 100 litros de agua caliente por habitante por día puede determinarse de la siguiente forma:

$$L = N NP 100 (T_w - T_m) \rho C_p \quad (3)$$

donde:

- N es el número de días en el mes.
- T_w es la temperatura mínima aceptable del agua caliente que se puede considerar como de 60° C.
- T_m es la temperatura del agua fría de suministro (°C).
- ρ es la densidad del agua (Kg/m^3).
- C_p es el calor específico del agua ($\text{J/Kg-}^\circ\text{C}$).

Se emplean varios factores de corrección para la variables adimensional X , cuando las variables del sistema analizado no corresponden exactamente a las propuestas en el método del diagrama F.

En los casos analizados en esta tesis se plantean solamente dos de ellos, que son:

- 1.- El factor de corrección para volumen de almacenamiento.
- 2.- El factor de corrección cuando se emplea el sistema para calentamiento de agua exclusivamente.

Para el primer factor, el método del diagrama F se desarrolló para una capacidad de almacenamiento de 75 litros por cada metro cuadrado de área de captación que se observó que se encuentra el óptimo tanto económico como termodinámico, entre los 50 y 100 litros de almacenamiento por cada metro cuadrado de colector.

El factor de corrección se puede determinar como sigue:

$$(X_a/X) = (M/75)^{-0.25} \quad (4)$$

donde:

(X_a/X) es el factor de corrección a la variable adimensional debido al volumen de almacenamiento.

M es la capacidad de almacenamiento entre el área de colección (l/m^2)

El segundo factor se refiere a que el método del diagrama F fue desarrollado para sistemas que proporcionan tanto agua caliente como acondicionamiento de aire caliente a la casa. Por las características climatológicas de México el acondicionamiento del aire por medio de la energía solar no es necesario. El factor de corrección cuando solamente se usa la energía solar para agua caliente es:

$$(X_c/X) = \frac{(11.6 + 1.18T_w + 3.86T_m - 2.32T_o)}{(100 - T_o)} \quad (5)$$

donde:

(X_c/X) es el factor de corrección debido al calentamiento doméstico de agua.

Para hallar el valor de X es:

$$X = (X_a/X)(X_c/X)X_a$$

Siendo X_a el valor anterior de X sin ser aplicados los valores de corrección.

La correlación entre las variables dimensionales X y Y con el porcentaje de la carga de calor que proporciona la energía solar f , fue desarrollado por cientos de simulaciones por computadora cambiando la localización y otras variables de diseño de sistemas prácticos.

La fracción del total de la energía anual que se consume, suministrada por la energía solar, F , está dada por la suma de las contribuciones mensuales entre la carga anual de calor.

La relación entre X y Y con f para calentamiento de agua puede ser determinada mediante la ecuación:

$$f = 1.029Y - 0.065X - 0.245Y^2 + 0.0018X^2 + 0.0215Y^3 \quad (6)$$

Para valores comprendidos entre:

$$0 < Y < 3 \quad \text{y} \quad 0 < X < 18$$

2.2 Prueba de eficiencia de los colectores solares.

Al hacer un balance de energía de un colector solar, como se muestra en la figura 2 se observa que:

$$Q_u = Q_s A (\overline{\tau \alpha}) - Q_p \quad (7)$$

donde:

Q_u es la energía útil captada por el colector (W)

Q_s es la energía radiante (W/m^2)

A es el área del colector (m^2)

$(\overline{\tau \alpha})$ es el factor de transmitancia - absorptancia

Q_p son las pérdidas del colector (W)

La energía útil se puede calcular de la siguiente manera:

$$Q_u = \dot{m} C_p (T_s - T_e) \quad (8)$$

siendo:

\dot{m} el gasto másico que circula por el colector (Kg/s)

T_s la temperatura del agua de salida del colector ($^{\circ}C$)

T_e la temperatura del agua de entrada del colector ($^{\circ}C$)

C_p el calor específico del líquido de trabajo (J/Kg- $^{\circ}C$)

La eficiencia η , se puede definir como la energía útil entre la energía disponible:

$$\eta = \frac{Q_u}{Q_s A} \quad (9)$$

Cuando el colector opera con bajas temperaturas de placa, las pérdidas de calor debido a la convección son más importantes que las pérdidas por radiación, de esta manera, se pueden aproximar como:

$$Q_p \approx UL A (T_p - T_o) \quad (10)$$

siendo:

T_p temperatura de placa ($^{\circ}C$).

T_o temperatura ambiente ($^{\circ}C$).

Por consiguiente se puede sustituir la ecuación de pérdidas de calor (10) en la relación de balance de energía (7) y después utilizando la ecuación de eficiencia (9), se obtiene la siguiente relación:

$$\eta = (\overline{\alpha}) - \frac{UL (T_p - T_o)}{Q_s} \quad (11)$$

Se puede observar que si se grafica la eficiencia contra la diferencia de temperaturas del colector con la del medio ambiente dividido entre la radiación solar se obtiene una recta cuya pendiente es negativa e igual a UL y la ordenada al origen, es decir, la intersección de la recta con el eje de las ordenadas es igual a $(\overline{\alpha})$.

Algunas veces los resultados experimentales no ajustan exactamente a una recta, esto es debido a que existen variaciones de UL por la velocidad del viento, temperatura, errores de medición, etcétera. Para la mayoría de los colectores normalmente usados y para propósitos de este trabajo, los resultados experimentales pueden ser representados como una línea recta, lo que implica que es constante en todo el experimento.

La gráfica de eficiencia del colector utilizado proporcionada por el proveedor se muestra en la figura 3.

Para obtener la eficiencia de manera sencilla en los resultados experimentales, se sustituye la ecuación (8) en la ecuación (9), y se obtiene:

$$\eta = \frac{m C_p (T_s - T_e)}{Q_s A} \quad (12)$$

Con el fin de dar un método de prueba para los colectores solares planos y tener unos resultados experimentales equiparables, diversos organismos internacionales han creado normas para probar los colectores. Las más importantes las de ASHRAE (12) y la de DIN (13). Estas normas internacionales son costosas y complicadas, por ello, se prefirió utilizar la propuesta de una norma nacional desarrollada por Chargoy (2) del Instituto de Ingeniería de la Universidad Nacional Autónoma de México.

Esta norma tiene las siguientes características:

- 1.- Presenta métodos de prueba para estado permanente o casi permanente, es decir, cuando solamente en las variables de entrada exista alguna variación en la radiación solar.
- 2.- El ángulo de incidencia tiene que ser menor de 30° y no se pueden utilizar concentradores de radiación solar.
- 3.- El fluido de trabajo es líquido y el gasto básico es de 0.02 Kg/s o el recomendado por el fabricante.
- 4.- Se realizan tres pruebas en el colector variando la temperatura de entrada (baja, media y alta). La prueba se realiza alrededor del medio día y tómando mediciones cada 5 o 10 minutos.

El banco de pruebas utilizado fue el de la planta solar del Instituto de Ingeniería de la UNAM que se muestra en la figura 4. Los datos experimentales se presentan en el capítulo 4.

2.3 Coeficiente de pérdidas de calor totales del colector.

El coeficiente de pérdidas totales de calor es el recíproco de la suma de todas las resistencias de calor y se usa para simplificar la ecuación (10).

El coeficiente de pérdidas de calor totales es la suma de las pérdidas inferiores y las pérdidas superiores, así:

$$U_L = U_f + U_b \quad (13)$$

siendo:

- U_L el coeficiente de pérdidas de calor totales.
- U_f el coeficiente de pérdidas de calor superiores del colector.
- U_b el coeficiente de pérdidas inferiores del colector.

El coeficiente se calcula fácilmente con:

$$U_b = \frac{k}{L} \quad (14)$$

donde:

k es la conductancia térmica del aislante que se encuentra entre la placa captadora y la parte inferior de la caja del colector ($W/m^2-^{\circ}C$).

L es el espesor de dicho aislante (m).

Con el fin de determinar el coeficiente superior de pérdidas, U_{f45} , se suele utilizar una serie de gráficas para cálculos a mano, pero que son muy difíciles de utilizar cuando se hace una simulación por computadora, como es nuestro caso. Una ecuación empírica propuesta por Duffie (3), ajusta la gráfica para temperatura de entre 40 y 130 $^{\circ}C$ con una variación de $\pm 0.2 W/m^2-^{\circ}C$, siendo:

$$U_{f45} = \left(\frac{N}{(3.44/T_p) \{ (T_p - T_a) / (N + f) \}^{0.31} + \frac{1}{hw}} \right)^{-1} \quad (15)$$

$$+ \frac{\sigma (T_p - T_a) \{ T_p^2 - T_a^2 \}}{(\epsilon_p + 0.425 N (1 - \epsilon_p) \}^{1.1} + \{ (2N + f - 1) / \epsilon_g \} - N}$$

donde:

U_{f45} es el coeficiente de pérdidas superiores del colector para una inclinación de 45° con respecto a la horizontal.

N es el número de cubiertas de vidrio del colector.

ϵ_g es la emitancia del vidrio que generalmente es de 0.88.

ϵ_p es la emitancia del absorbedor.

T_a es la temperatura ambiente (K).

T_p es la temperatura del absorbedor (K).

σ es la constante de Stefan - Boltzman igual a

$$5.6697 \times 10^{-8} W / m^2 - K^4$$

hw es el coeficiente de transferencia de calor por el viento que se puede calcular como:

$$hw = 5.7 + 3.8 V \quad (16)$$

donde:

V es la velocidad del viento (m/s)

y:

f es un factor de cálculo que se determina como:

$$f = (1 - 0.04hw + 5 \times 10^{-4} hw^2)(1 + 0.058N) \quad (17)$$

Cuando el colector se encuentra inclinado a un ángulo distinto de 45° con respecto a la horizontal. Se puede corregir con un factor desarrollado por Klein (5) siendo:

$$\frac{Uf(s)}{Uf45} = 1 - (s - 45)(0.00259 - 0.00144ep) \quad (18)$$

donde:

s representa la inclinación del colector distinta a 45° .

Para encontrar el coeficiente de pérdidas superiores a la inclinación deseada se multiplica:

$$Uf(s) = (Uf(s)/Uf45) Uf45 \quad (19)$$

Como se puede observar, el coeficiente total de pérdidas totales, UL , está en función de la temperatura de placa, T_p , a su vez, T_p es función de UL , por lo tanto, una aproximación iterativa es necesaria. Para su evaluación es pertinente conocer la temperatura del fluido:

$$T_{f,m} = T_{f,i} + \frac{Q_u/A}{UL FR} \left(1 - \frac{FR}{F'}\right) \quad (20)$$

siendo:

- $T_{f,i}$ la temperatura del fluido frío a la entrada ($^\circ C$)
- $T_{f,m}$ la temperatura del fluido en el interior del colector ($^\circ C$)
- FR, F' el factor de eficiencia de eliminación de calor y el factor de eficiencia del colector que se explicarán en la siguiente sección.
- Q_u el total de energía útil ganada en el colector que se puede calcular:

$$Q_u = FR (HR (\overline{v\alpha}) - UL (T_{f,i} - T_a)) \quad (21)$$

(104) el producto transmitancia - absortancia. Se explicará su cálculo en la sección 2.6.

HR la energía solar absorbida por unidad de área y que es igual al producto del factor de proyección por la radiación del plano inclinado como se detalla en la sección 2.5

Regresando a la temperatura de la placa absorbadora, ésta será siempre más grande que la temperatura del fluido en el interior del colector, debido a la resistencia y a la transferencia de calor entre la superficie absorbente y el fluido. Esta diferencia suele ser pequeña cuando se utilizan líquidos.

Una aproximación para la temperatura de la placa puede ser:

$$T_{p,m} - T_{f,m} \doteq Q_u R_{p-f} \quad (22)$$

donde:

R_{p-f} es la resistencia a la transferencia de calor entre el colector y el fluido y se puede calcular como:

$$R_{p-f} \doteq \frac{1}{(h_{f,i} \pi D_i n L)} \quad (23)$$

siendo:

$h_{f,i}$ el coeficiente de transferencia de calor entre los tubos del colector y el fluido que circula entre ellos, y que se explica a detalle en la sección siguiente. ($W / m^2 \cdot ^\circ C$)

D_i el diámetro interior de los tubos longitudinales del colector. (m)

n el número de tubos longitudinales que forman la retícula del colector.

L la medida de los tubos longitudinales del colector. (m)

2.4 Factor de eficiencia de eliminación de calor.

Es conveniente definir una cantidad que relacione la energía útil instantánea del colector con la ganancia útil cuando todo el colector estuviese a la temperatura de entrada, a esto le denominaremos factor del colector de eliminación de calor y se calcula como:

$$FR = \frac{G C_p}{UL} \left(1 - e^{- (UL F' / G C_p)} \right) \quad (24)$$

representado:

- FR el factor de eficiencia de eliminación de calor.
 G el gasto másico por unidad área del colector ($\text{Kg}/\text{s}\cdot\text{m}^2$).
 UL el coeficiente de pérdidas globales del colector descrito en la sección anterior.
 F' el factor de eficiencia del colector que se puede calcular, despreciando las pérdidas por soldadura, como:

$$F' = \frac{(1/UL)}{W \left(\frac{1}{UL(D + (W - D)F)} + \frac{1}{\pi D_i h_{f,i}} \right)} \quad (25)$$

siendo:

- W el distanciamiento entre los tubos del colector (m)
 D el diámetro del tubo en el interior del colector (m)
 D_i el diámetro interior del tubo de la placa captadora (m)
 h_{f,i} el coeficiente de transferencia de calor entre el fluido de trabajo y la pared del tubo, utilizando el valor de $900 \text{ W} / \text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$.
 F eficiencia de la aleta de la placa captadora siendo:

$$F = \frac{(\tanh m(W - D)/2)}{m(W - D)/2} \quad (26)$$

donde:

- m es una variable de cálculo que se determina como:

$$m = \left(\frac{UL}{k J} \right)^{1/2} \quad (27)$$

que representan:

- k como la conductividad del material de la placa absorbadora ($\text{W}/\text{m}\cdot^\circ\text{C}$).
 J como el espesor de la aleta de placa captadora (m).

2.5 Radiación total sobre plano inclinado.

Para determinar la radiación sobre un plano horizontal durante un día, se han desarrollado varios algoritmos. El más usado es el de Liu Jordan (5), (6) que ofrece un método sencillo, pero muy difícil de usar para una rutina de computadora. El método utilizado fue desarrollado en el Instituto de Ingeniería - de la UNAM (5) basado en la curva de Gauss. Resulta sencillo y se puede programar fácilmente, teniendo un error del 10 al 15%, que es tolerable como lo muestra (6), para calcularlo se emplea:

$$\bar{G} = \bar{G}_m \cos^{1.2} \left(\frac{180 t}{N} \right) \quad (28)$$

$$\bar{G}_b = \bar{G}_{bm} \cos^{1.5} \left(\frac{180 t}{N} \right) \quad (29)$$

$$y \quad \bar{G}_d = \bar{G} - \bar{G}_b \quad (30)$$

que corresponden a:

- \bar{G} la radiación total en el plano horizontal por unidad de área (W/m^2).
- \bar{G}_b la radiación directa en el plano horizontal por área - (W/m^2).
- \bar{G}_d el componente difuso de la radiación por unidad de área (W/m^2).
- \bar{G}_m, \bar{G}_{bm} los valores máximos de la radiación total y del componente directo que se puede encontrar mediante los mapas de insolación de la República Mexicana. (apéndice 1.)
- t el valor del tiempo, apartir del mediodía solar, es decir, positivo en la mañana y negativo en la tarde, (hr).
- N es la longitud del día solar (hr), que se puede calcular como:

$$N = - \cos^{-1} (\tan \varphi \tan \delta) \quad (31)$$

donde:

- φ denota la latitud del lugar en cuestión.
- δ denota la declinación solar, es decir, el ángulo que forman el sol al medio día solar y el plano del ecuador, y

δ está comprendido entre -23.27° y 23.27° , puede aproximarse como:

$$\delta = 23.45 \text{ SEN } 360 \left(\frac{284 + n}{365} \right) \quad (32)$$

siendo:

n el día del año.

Para encontrar la radiación en un plano inclinado se presenta el siguiente método (5) y (6): se calcula inicialmente θ , que es el ángulo que forman en el instante t la dirección de la radiación solar directa y la normal del plano inclinado:

$$\theta = \cos^{-1} (\text{sen } \delta \text{ sen } \varphi \text{ cos } \beta - \text{sen } \delta \text{ cos } \varphi \text{ sen } \beta \text{ cos } \gamma + \text{cos } \delta \text{ cos } \varphi \text{ sen } \beta \text{ cos } \omega \\ \text{cos } \delta \text{ sen } \varphi \text{ sen } \beta \text{ cos } \gamma \text{ cos } \omega + \text{cos } \delta \text{ sen } \beta \text{ sen } \gamma \text{ sen } \omega) \quad (33)$$

correspondiendo:

β a la inclinación del plano de interés con respecto a la horizontal.

γ a la orientación del colector con respecto al sur, positivo del sur al oriente y negativo del sur al poniente.

ω al ángulo horario que se define como:

$$\omega = 15 t \quad (34)$$

El ángulo cenital es el ángulo que forma la dirección de la radiación directa y la vertical:

$$\theta_z = \cos^{-1} (\text{SEN } \varphi \text{ SEN } \delta + \text{COS } \delta \text{ COS } \varphi \text{ COS } \omega) \quad (35)$$

El factor de proyección se define como la relación de la radiación directa entre el plano horizontal y la superficie inclinada es decir:

$$R_b = \frac{\cos \theta}{\cos \theta_z} \quad (36)$$

Así, la radiación sobre el plano de interés se puede calcular, suponiendo que la radiación directa es isotrópica, como:

$$\bar{G}_t = \bar{G}_b R_b + \bar{G}_d \quad (37)$$

donde \bar{G}_t es la radiación total instantánea que recibe el plano no horizontal. La radiación difusa no se modifica por efecto de la inclinación.

2.6 Producto transmitancia - absortancia.

Para utilizar el método de diagrama F se necesita evaluar el producto - transmitancia - absortancia, por lo que es necesario conocer la absortancia y la transmitancia.

La absortancia es una constante y su valor depende del material que se utilice para cubrir la superficie selectiva.

La transmitancia es igual a:

$$\tau = \tau_{r,n} \tau_a \quad (38)$$

siendo:

- τ la radiación transmitida por la superficie .
- $\tau_{r,n}$ la transmitancia limitada por la reflexión, lo que significa que cuando aumenta la reflexión disminuye la transmitancia.
- τ_a la transmitancia considerando solamente la absorción.

Para calcular la transmitancia es necesario considerar la ley de Snell y la relación de Fresnel. La primera permite calcular el ángulo de transmisión - del vidrio del colector con respecto al ángulo incidente del rayo de transmisión, esto es:

$$\theta_2 = \text{SEN}^{-1} \left(\frac{n_1}{n_2} \text{SEN } \theta_1 \right) \quad (39)$$

que representan:

- n_1 el índice de refracción del aire que es igual a uno.
- n_2 el índice de refracción de la superficie transparente que es 1.5 cuando es vidrio.
- θ_1 el ángulo de incidencia de la radiación solar que fue calculado en la sección anterior para un instante dado.

Por medio de la relación de Fresnel podemos calcular la reflectancia instantánea de esta forma:

$$p = \frac{1}{2} \left(\frac{\text{SEN}^2(\theta_2 - \theta_1)}{\text{SEN}^2(\theta_2 + \theta_1)} + \frac{\text{TAN}^2(\theta_2 - \theta_1)}{\text{TAN}^2(\theta_2 + \theta_1)} \right) \quad (40)$$

Por lo tanto, ya podemos calcular $\tau_{r,n}$ y τ_0 de la forma siguiente:

$$\tau_{r,n} = \frac{1 - p}{1 + (2n - 1)p} \quad (41)$$

y

$$\tau_0 = e^{(-kd / \cos \theta_2)} \quad (42)$$

donde:

n es el número de cubiertas transparentes.

k es el coeficiente de extinción del material semitransparente, para el vidrio común es de 0.32 (1/cm).

d es el espesor de la cubierta semitransparente.

De esta forma, podemos calcular el producto transmitancia - absortancia sabiendo que ésta se obtiene de las múltiples transmisiones, reflexiones y absorciones de un rayo solar incidente entre la cubierta transparente y la placa absorbidora, de esta manera:

$$(\tau\alpha) = \frac{\tau\alpha}{1 - (1 - \alpha)p d} \quad (43)$$

siendo $(\tau\alpha)$ el producto transmitancia - absortancia, haciendo notar que es distinto a la simple multiplicación de la transmitancia de la cubierta transparente por la absortancia de la superficie selectiva.

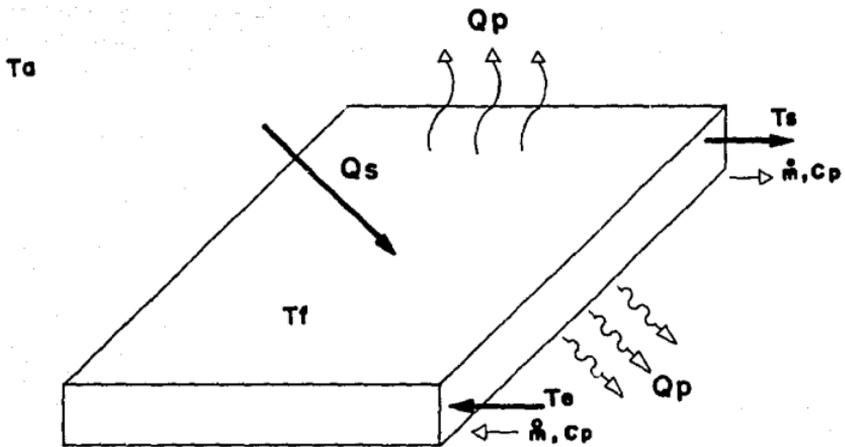


FIGURA 2.

BALANCE TERMICO DEL COLECTOR

**TERRA-LIGHT
FLAT PLATE
LIQUID COLLECTOR
MODEL TL5-1**

A high-performance all-copper absorber, in a weather-roof aluminum case.

Technical Specifications:

- APPLICATIONS: Domestic hot water, space heating, and air conditioning.
- COLLECTOR DIMENSIONS: Gross-90.3 x 247.8 x 9.9 cm; Net -2.04 sq.M
- PERFORMANCE TEST DATA: Intercept = .741, slope = -4.96.
Second order efficiency equation, $y = .731 - 3.00X - 39.0X^2$ where $X = (T_i - T_a) / I$ ($^{\circ}\text{C}^2 / \text{W}$). Equations based on gross area as per ASHRAE 93-77 requirements.
- GLAZING: Single, tempered low-iron.
- RECOMMENDED FLOWRATE AND PRESSURE DROP:
1.25 lpm
minimum to 5.68 lpm maximum, pressure drop of 48.3 Pa (7.62 mm of water) at 3.80 lpm.
- ABSORBER PANEL: All copper with a 120-140° arc of metallurgical sheet-to-tube bond. The tubes are spaced on two-inch centers, affording a largely wetted surface area for optimum solar energy absorption. Fin thickness 0.0889 mm. 25.4 mm type M headers.
- ABSORBER TREATMENT: TERRON selective coating. Absorptivity 0.95 ± 0.02 . Emissivity 0.48 ± 0.05 . INSULATION 25.4 mm of fiberglass above 25.4 mm of polyisocyanurate foam.
- RECOMMENDED HEAT TRANSFER FLUID: water, glycol/water, silicone fluids, or other copper compatible fluids.
- CASE MATERIAL: 1.5875 mm extruded aluminum, anodized finish. 6063-T5 alloy.
- SEALANTS AND ADHESIVE: UV-inhibited silicone.
- METHOD OF INSTALLATION TO ROOF: mounting clamps and channels.

TERRA-LIGHT

TERRA-LIGHT CORP., 1 BLACKBURN DRIVE, GLOUCESTER, MA 01930 (617) 281-6690
Telex 671058b AB TLC.

**FIGURA 3. DATOS TECNICOS DEL COLECTOR
SOLAR.**

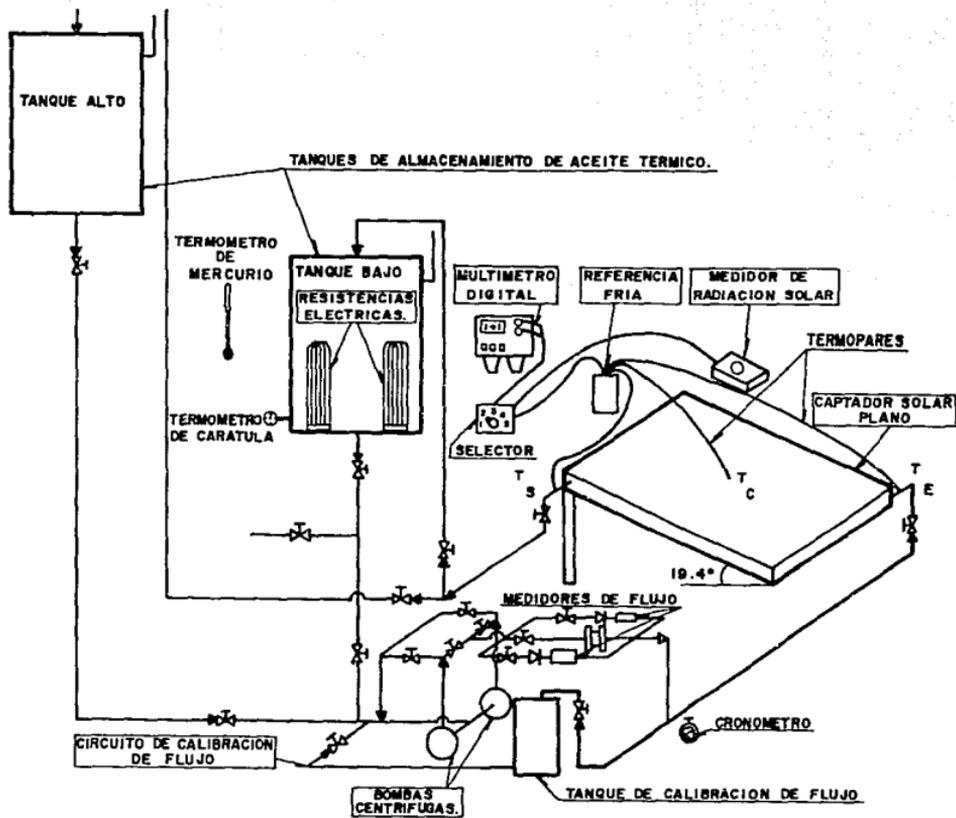


FIGURA 4.
BANCO DE PRUEBAS PLANTA SOLAR, UNAM.

Capítulo 3: Selección del sistema

3.1 Sistema de calentamiento solar de agua.

Las partes del sistema de calentamiento de agua por medio de la energía solar y su funcionamiento son las siguientes, como se muestra en la figura 5:

- 1.- Panel Solar: es el dispositivo que absorbe la energía solar y transfiere el calor al fluido de trabajo. Está formado por cuatro partes:

- la caja
- el aislamiento térmico
- el colector
- el vidrio.

La caja envuelve a los componentes anteriores, está formada en la mayoría de los casos, por una lámina galvanizada en la parte inferior, y en los costados por un perfil de aluminio.

El aislamiento térmico va entre la caja y el colector y sirve para evitar fugas de calor. Está formado en la mayoría de los colectores, de fibra de vidrio en colchoneta, aunque se llega a usar unicel.

El colector es de forma reticular y está formado por dos cabezales de tubo de cobre tipo "M" de 25mm. de diámetro y los tubos transversales o largueros son de 19mm. Los tubos transversales que forman la retícula tienen aletas de lámina de cobre electrolítico calibre 30. Para aumentar la absorción del colector se emplea superficies selectivas, en este caso se tiene una absorción de 0.95.

- 2.- Válvula de alivio: se emplea para evitar que una sobrepresión pueda desconectar una parte del sistema, normalmente se abren a una presión de 3 Kg/cm², pudiéndose regular con un tornillo, el circuito funciona normalmente a una presión de 1 a 1.7 Kg/cm².
- 3.- Válvula eliminadora de aire; el aire siempre se almacena en la parte superior del circuito y es conveniente eliminarlo para evitar turbulencias, golpes de ariete, y convección entre el aire y el agua. Además esta válvula se emplea para poder vaciar el sistema.

- 4.- Válvula check o de retención: se emplea para evitar que el agua caliente - del colector transfiera calor al regreso del agua fría de la parte baja - del tanque. También se emplea para evitar que durante el período de tiempo que no se presente radiación solar haya un ciclo de convección natural que enfrie el agua caliente en el panel.
- 5.- Termotanque: pueden estar hechos de asbesto o de acero. Los tanques de acero deben de tener un ánodo de sacrificio para evitar la oxidación del tanque por el agua caliente. El agua caliente se almacena por diferencia de densidades.
- 6.- Control heliotérmico: está formado por un termistor que varía su resistencia cuando cambia su temperatura, se puede regular la temperatura de disparo mediante una manija.
- 7.- Circuladora: se usa para evitar el tapón hidráulico. Debido a las pérdidas en la tubería y conexiones puede dejar de circular el agua y se estanque. Se puede evitar la circuladora poniendo el termotanque por encima del colector para que circule por gravedad (termosifón), aunque el agua bombeada tiene mayor velocidad y constante lo que provoca que la transferencia de calor sea mayor y se tenga libertad de colocar los elementos.
- 8.- Válvula de solenoide normalmente cerrada: es una bobina que tiene en su interior un núcleo de hierro dulce que a su vez en la parte inferior tiene una aguja que permite el paso del agua. Cuando no hay señal, el núcleo permanece abajo y cierra la válvula.
- 9.- Válvula compuerta: sirve para vaciar el sistema.
- 10.- Válvula anticongelante: si el agua llega a alcanzar su máximo volumen a los 4°C, provocaría que se rompieran las conexiones y los tubos. Para evitar eso se emplea una válvula que tiene una sustancia que se expande a los 4°C y permite que salga el agua.

Funcionamiento: cuando se da la temperatura fijada por el termistor, el control manda una señal a la circuladora y a la válvula de solenoide, el agua comienza a circular pasando por el panel solar adquiriendo mayor temperatura y por lo tanto pierde densidad, empezando a subir, llegando hasta la parte alta del circuito en donde se almacena en el termotanque.

Se debe evitar la convección forzada en el termotanque colocando la entrada del agua caliente en la parte superior y la salida en la parte inferior para evitar remolinos que aceleran la transferencia de calor. El flujo de agua cesa cuando la temperatura determinada con anterioridad baja en el termistor.

3.2 Selección entre circulación forzada y termosifón.

Mediante la circulación del agua a través del colector, la energía absorbida por éste, se transporta al acumulador y después al servicio.

Se puede elegir entre dos formas para hacer circular el líquido de trabajo: mediante gravedad, esto es, utilizando el efecto de termosifonamiento o mediante la utilización de una bomba, método conocido también como de circulación forzada. El diagrama de ambos sistemas se muestra en la figura 6.

En el sistema de circulación por gravedad el acumulador se encuentra situado por encima de los colectores, de esta manera el agua al calentarse en el interior del colector empieza una corriente de convección hacia arriba empujando el agua fría del fondo del acumulador hacia los colectores debido a la acción de la gravedad por encontrarse el acumulador más alto que el colector. Así, la velocidad de circulación del fluido es directamente proporcional a la radiación incidente.

Para que la circulación por gravedad sea eficiente es necesario un circuito pequeño y utilizar los diámetros adecuados de los tubos para minimizar la resistencia de las tuberías.

La ventaja que presenta el sistema de gravedad es la autonomía del sistema. Puede funcionar en lugares donde no exista suministro de electricidad, además de que un sistema de termosifón es más barato que uno con bomba.

La circulación forzada ofrece mayor libertad para colocar los elementos del circuito, además de que el agua bombeada capta mejor la energía que un sistema de termosifón. Esto se debe a que al ser mayor el gasto que pasa por el colector, la temperatura de servicio será menor, con lo que la eficiencia será más alta, y por otra parte, al ser un régimen elevado y constante de extracción de calor en el colector, le permitimos al colector que absorba energía a un régimen igualmente elevado.

Las desventajas que presentan un sistema de circulación forzada es el costo, además de que el sistema está sujeto al suministro de electricidad, como se mencionó. Los costos de operación son un poco más elevados que los de un sistema con termosifón, pero esto se compensa con la mayor eficiencia a la que trabaja y a los diámetros menores del circuito.

A las razones descritas con antelación se suma el hecho de que para hacer un análisis teórico del sistema de calentamiento de agua solar se necesita de un flujo constante (capítulo 2), por lo tanto se tomó la decisión de usar un sistema con bomba.

3.3 Selección entre sistema directo e indirecto.

Un sistema directo es aquel que en el agua del circuito de calentamiento es la misma que la que se consume, al contrario, el sistema indirecto es aquel en que el fluido de trabajo del circuito de calentamiento de agua es independiente del agua de consumo y el calor se transfiere del circuito al agua por medio de un intercambiador de calor que se encuentra en el interior del acumulador. Esquemáticamente ambos sistemas se muestran en la figura 7.

Se debe considerar que un intercambiador de calor representada pérdida de eficiencia en la instalación, además de que también representa una mayor pérdida de carga para el circuito y aumenta el costo de la instalación.

Por otro lado, el sistema indirecto presenta dos ventajas fundamentales: en primer lugar se puede utilizar un fluido de trabajo que tenga mayor calor específico que el agua, lo que representaría un mejor aprovechamiento del calor. En segundo lugar, es una muy buena protección para las heladas por que se puede utilizar un líquido anticongelante combinado con el agua que eleva ría el punto de fusión de la mezcla y evitaría que se rompiera el circuito.

Por las razones expuestas se optó por usar un sistema directo que fuera barato y suficientemente eficiente para proporcionar la mayor parte de la carga de calor para el consumo de la casa, y por otro lado, el riesgo de congelación en la Ciudad de México no es tan latente como en latitudes mayores, para evitar eso, se utilizó la válvula anticongelante descrita en la sección 3.1 - que da la suficiente protección para estas condiciones climatológicas.

3.4 Selección de la localización del colector.

El colector se debe orientar hacia el sur en la Ciudad de México debido a que la ventana solar, también llamada cinturón latitudinal de máxima insolación anual, es decir, el área que forman las trayectorias del solsticio de invierno, el solsticio de verano y el paso del Sol a las 9 am y las 3 pm como se muestra en la figura 8, se encuentra localizada hacia el sur.

Un cambio de la orientación del colector de hasta 20° con respecto al sur, ya sea al oriente o al occidente, no afecta ostensiblemente la eficiencia del sistema. En los sistemas evaluados en este trabajo no se rebasan estas cotas

Si se pusiera el colector solar horizontalmente en el verano se captaría - al máximo la radiación solar, pero en invierno sería mínimo debido a que los rayos solares pasan casi paralelos al colector y no alcanzarían a cubrir la demanda de calor. Por lo tanto es conveniente inclinar el colector con respecto a la horizontal para que capte el mayor tiempo posible los rayos solares perpendicularmente.

Para calentamiento de agua solar exclusivamente, el colector se inclina a un ángulo de la latitud mas 10° que tiende a maximizar la recolección de calor en los meses de invierno, que es la estación mas desfavorable. Y para que garantice el suministro de la demanda de calor.

Los casos estudiados se localizan en la Ciudad de México cuya latitud es - de 19.45° y por lo tanto se inclinaron los colectores a 30° por ser un ángulo - mas fácil de trabajar.

3.5 Selección del área de captación y volumen de almacenamiento.

Por experiencia se sabe que para las condiciones climatológicas de la Ciudad de México, medio metro cuadrado de superficie de captación es suficiente para cubrir las necesidades de agua caliente de una persona.

El sistema instalado en Tlalpan tiene que proporcionar agua caliente para 7 personas, lo que supone 3.5 metros cuadrados de captación. Por esto se decidió utilizar un colector de 3.46 metros cuadrados.

El circuito de Bosques de las Lomas, tiene que suministrar agua caliente para 8 personas, lo que significa un área de 4 metros cuadrados. Se tiene el requerimiento de diseño que el sistema solar proporcione además la totalidad de la demanda de calor de la casa, por lo tanto se utilizó un área de 5.8 metros cuadrados por medio de dos colectores solares de 2.9 metros cuadrados - cada uno.

Para comprobar esta condición empírica se empleó el método del diagrama F descrito con anterioridad.

El programa de diseño del área de captación y los resultados del programa de diseño solar se describen con detalle en el capítulo 4 y el listado se encuentra en el apéndice 2.

Varios estudios mostrados en Beckman (1) han encontrado que si el volumen de almacenamiento es mayor que 50 litros por metro cuadrado de área de captación, solo pequeñas mejoras en el rendimiento anual se pueden lograr si se aumenta la capacidad de almacenamiento.

Por otro lado se debe considerar el volumen de almacenamiento para proporcionar la suficiente agua caliente almacenada para cuando exista una baja en la radiación solar y la demanda de calor sea dotada por el agua caliente almacenada.

El costo de almacenamiento óptimo se encuentra entre los 50 a 100 litros por área del colector.

Para el sistema instalado en Bosques de las Lomas se empleó un almacenamiento de 300 litros que corresponden a 52 litros por metro cuadrado de colector.

Se siguió otro criterio para la selección del volumen de almacenamiento - en el sistema de Tlalpan, que consistió considerar almacenamiento suficiente de agua caliente para el consumo de un día. Por esta razón, utilizando aproximadamente 100 litros de agua caliente por habitante por día, se llegó a la conclusión de utilizar un tanque de 600 litros.

3.6 Consideraciones adicionales.

Primeramente veremos el cálculo de la circuladora de agua.

Para determinar el tamaño de la circuladora se necesita el gasto del colector y las pérdidas por fricción en el circuito. Siendo los cálculos distintos para un sistema cerrado y abierto.

Un sistema cerrado o indirecto es aquel que no está en comunicación directa con la atmósfera, por lo tanto siempre circula en el mismo fluido de trabajo.

Los circuitos abiertos requieren la potencia de la bomba suficiente para vencer, la elevación vertical, a saber, la altura hasta el punto más alto del circuito, además debe superar también las pérdidas por fricción que se producen en las tuberías y conexiones del sistema.

El gasto al cual deba circular el fluido a través del colector tiene de terminarse para conocer la potencia de la bomba.

Es necesario que exista un gasto para que la eficiencia del colector se maximice y la temperatura del fluido se minimice puesto que a mayor temperatura las pérdidas son también mayores. El gasto máximo, por lo tanto, deberá mantener la temperatura del colector muy cerca de la temperatura más baja del tanque para que la eficiencia sea buena.

De acuerdo con Montgomery (9) la temperatura de entrada del colector deberá ser igual a la temperatura más baja de almacenamiento más 5 °F, y la temperatura de salida del colector deberá ser de 25 °F a 35 °F más alta que la temperatura de almacenamiento.

Tomando en consideración estos parámetros el gasto ideal a través de los colectores para agua es:

$$g^* = K X A \quad (44)$$

donde:

- g^* es el gasto óptimo (gpm)
 K es la constante de proporcional igual a 0.015 gpm/pies²
 A es el área del colector (pies)²

Para el caso del sistema en Tlalpan tenemos un área de colección de 3.46m² lo que es igual a 37.24 pies², de esta forma encontramos un gasto óptimo de 0.56 gpm que corresponden a 0.0352 l/s.

De igual forma para el circuito de Bosques de las Lomas, con un área de 5.52 m² que son 59.42 pies², se determina un gasto de 0.89 gpm que es lo mismo que 0.056 l/s.

Para determinar el tamaño de la bomba es necesario conocer las pérdidas por fricción que son función de:

- La configuración del circuito.
- La velocidad del líquido.
- El tipo de líquido.
- El diámetro del tubo.

Las conexiones utilizadas en el circuito también dan lugar a pérdidas por fricción y para calcularlas se estima su equivalente a longitudes de tubería.

Se debe hacer notar que en el colector solar el circuito está en paralelo y por lo tanto el gasto óptimo tiene que dividirse entre el número de derivaciones.

Para calcular la pérdida de carga del cobre puede utilizar la siguiente relación, según Zepeda (11)

$$hf = K L Q^2 \times 10^{-2} \quad (45)$$

siendo:

hf	las pérdidas por fricción (m)
L	la longitud de la tubería (m)
Q	el gasto de la bomba (l/s)
K	la constante según el diámetro del tubo. siendo los valores:

K= 55,000 para un diámetro de 13mm.

K= 85 para un diámetro de 19mm.

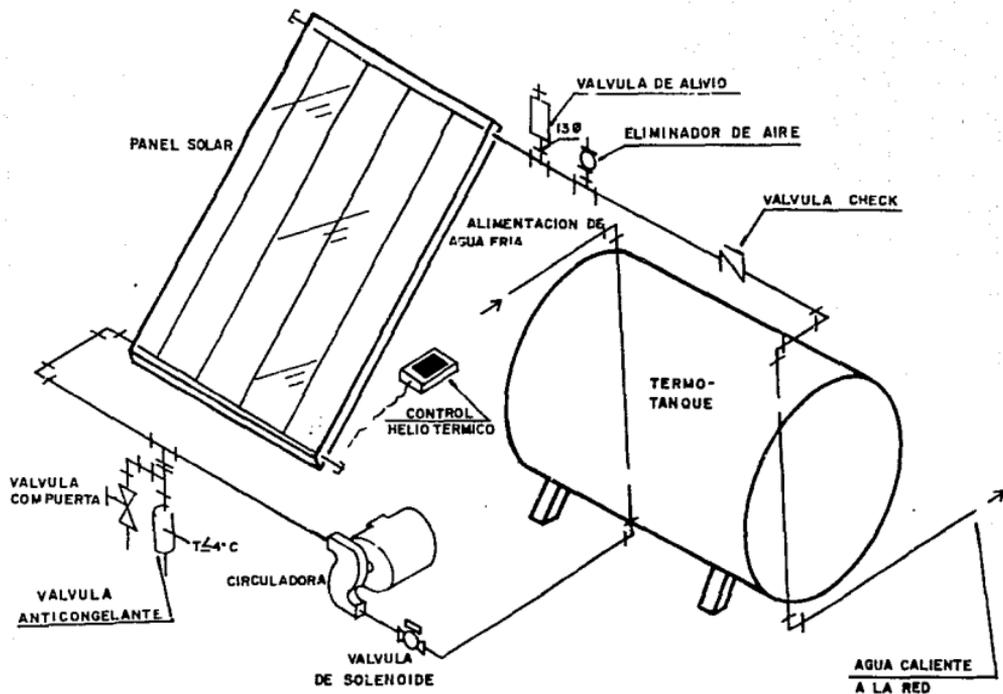
K= 20 Para un diámetro de 25mm.

De esta manera ya tenemos todos los elementos para calcular las revoluciones por minuto adecuadas para el circulador del sistema en Tlalpan. De acuerdo con la Tabla 1 en donde se calculan las pérdidas de carga que son de 9.4 pies y con un gasto óptimo de 0.56 gpm entramos en la curva característica de la circuladora (figura 9), y se ve que las revoluciones adecuadas son 1600 rpm, aumentando un poco el gasto hasta 0.7 gpm.

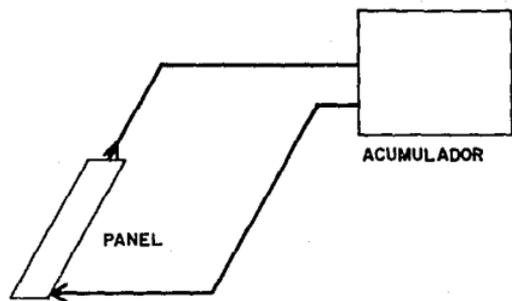
De igual forma para el circuito de Bosques de las Lomas se ve en la Tabla 2 que las pérdidas por fricción son iguales a 12.3 pies y el gasto óptimo igual a 0.89 gpm, así entramos en las curvas características de dos circuladoras que están en la figura 10 y se selecciona la modelo LR-20BF que nos da aproximadamente las condiciones que tenemos pero aumentándonos el gasto hasta 1.1 gpm.

Para los demás sistemas de control se seleccionaron aquellos que cumplirían con el funcionamiento deseado y su disponibilidad en el mercado.

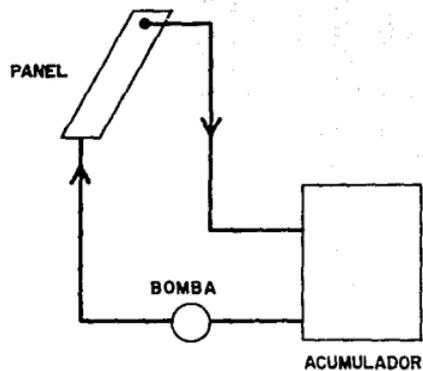
El circuito instalado en Bosques de las Lomas y sus componentes se muestran en las figuras 11, 12, 13 y 14, y los de sistema de Tlalpan en las figuras 15 y 16.



DETALLE DE INSTALACION DE UN CALENTADOR SOLAR
 FIGURA 5

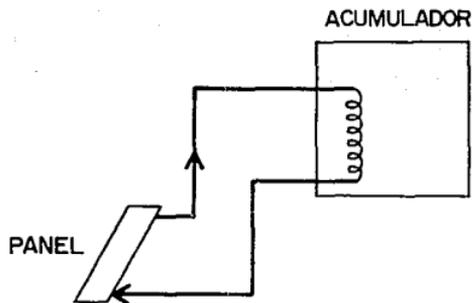


TERMOSIFON (GRAVEDAD).

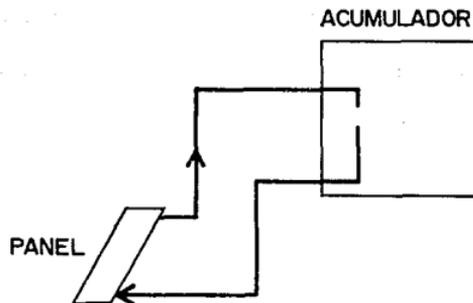


BOMBEO (FORZADA).

FIGURA 6



SIST. INDIRECTO.



SIST. DIRECTO.

FIGURA 7

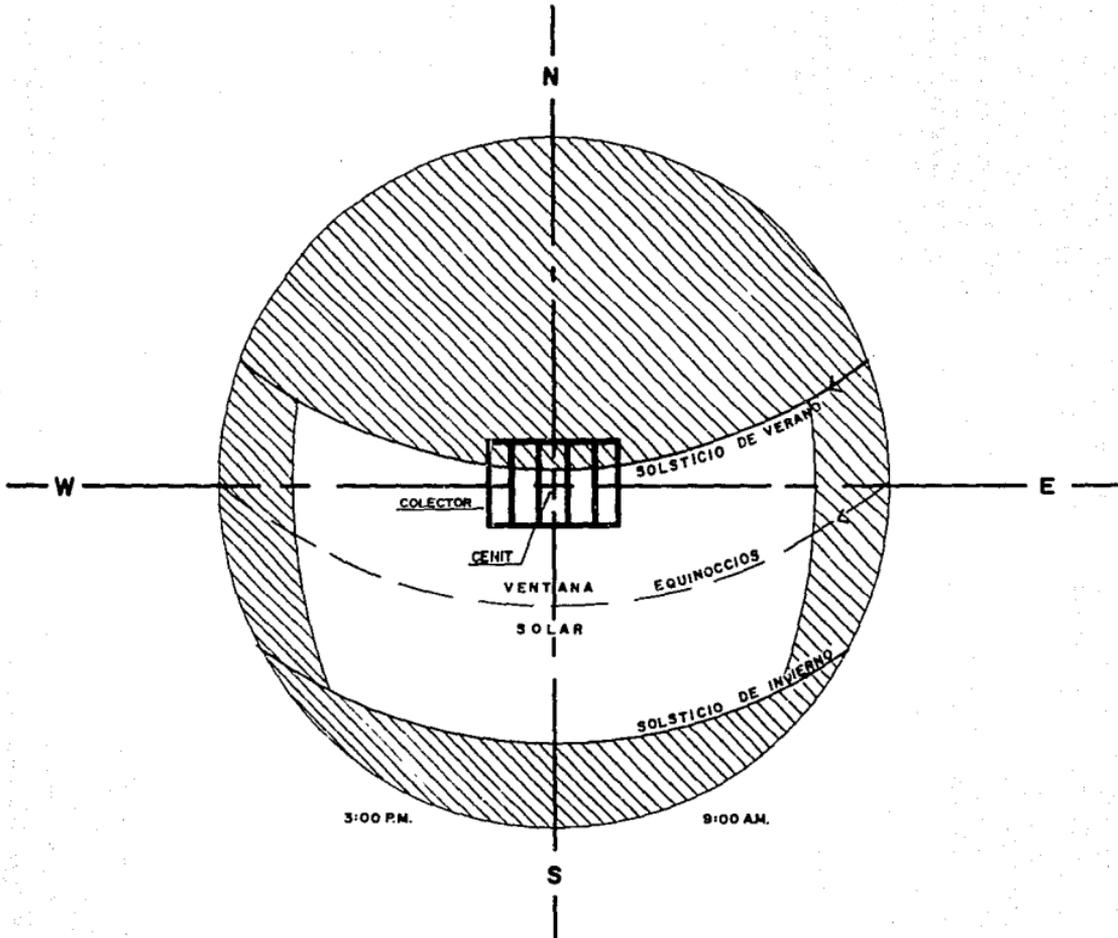
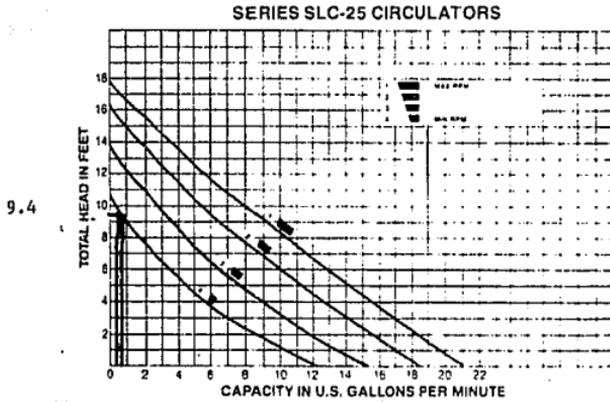


FIGURA 8 VENTANA SOLAR

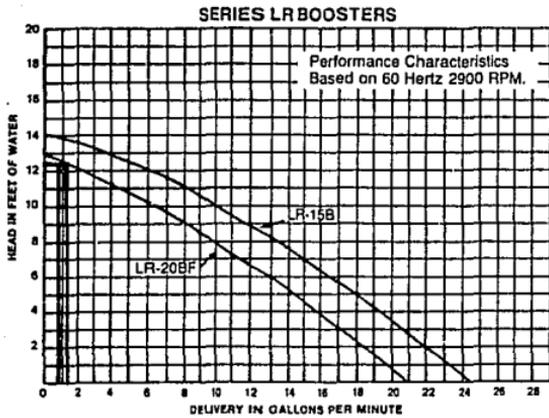


0.56 0.7

FIGURA 9

CURVA DE LA CIRCULADORA USADA EN EL SISTEMA DE TLALPAN.

12.3



0.89 1.1

FIGURA 10

CURVA DE LA CIRCULADORA USADA EN EL SISTEMA DE BOSQUES.

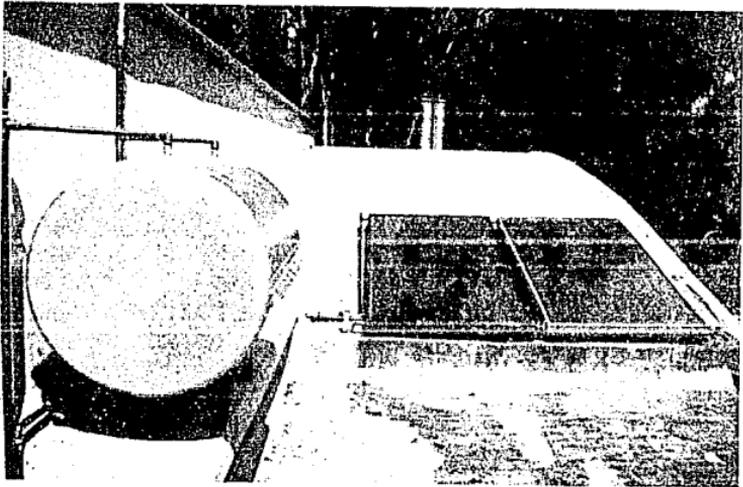


FIGURA 11 : Vista General del Sistema de Bosques
de las Lomas.

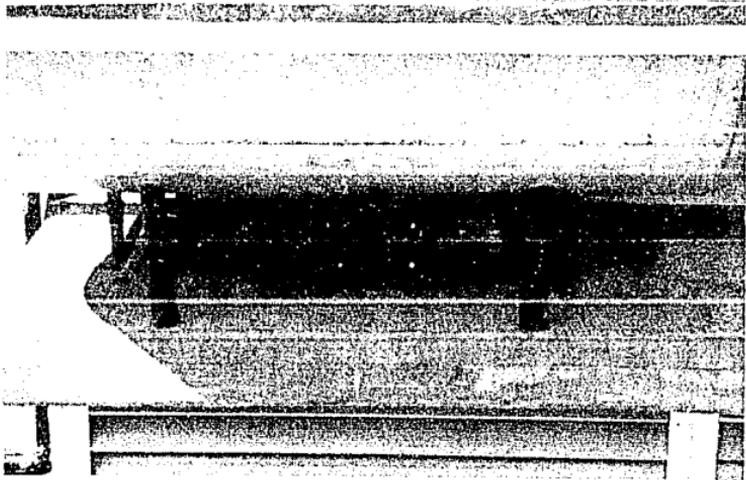


FIGURA 12 : Vista de la Circuladora y Válvula de Solenoide.

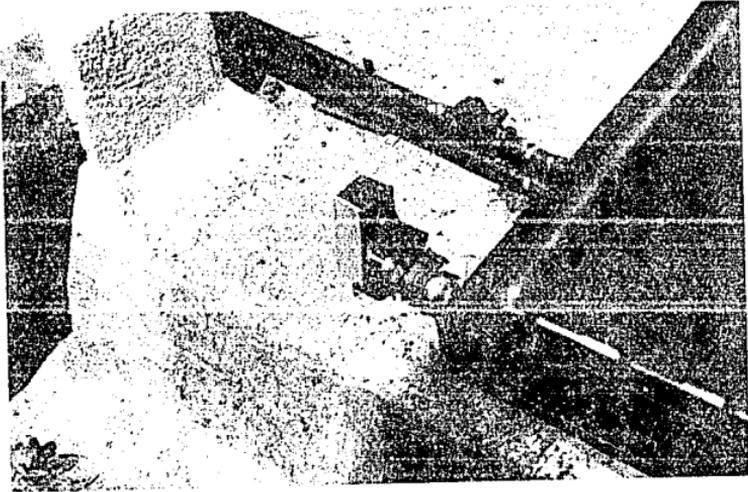


FIGURA 13: Vista del Control Heliométrico.

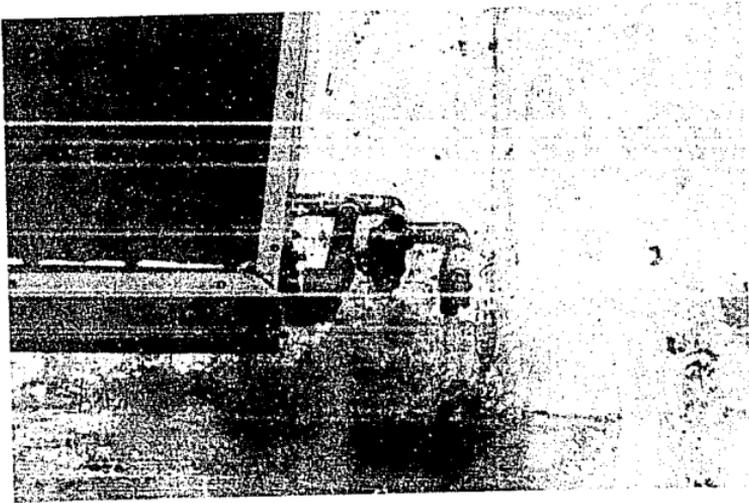


FIGURA 14: Vista de la Válvula Anticongelante y el Desagüe.

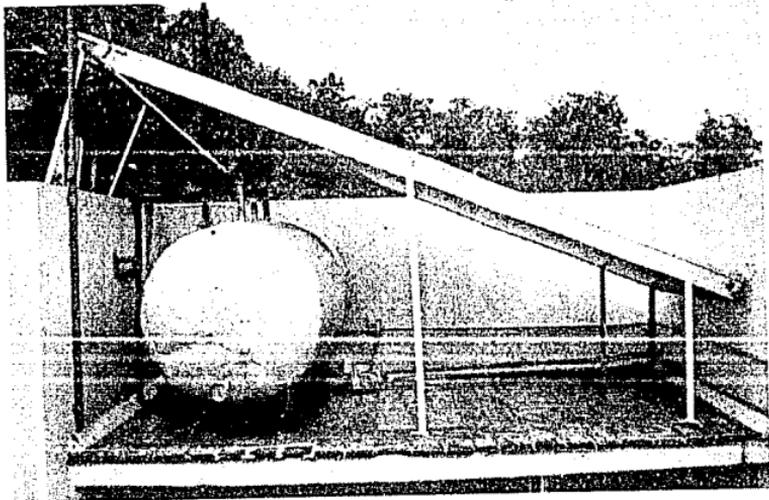


FIGURA 15: Vista General del Sistema de Tlalpan.

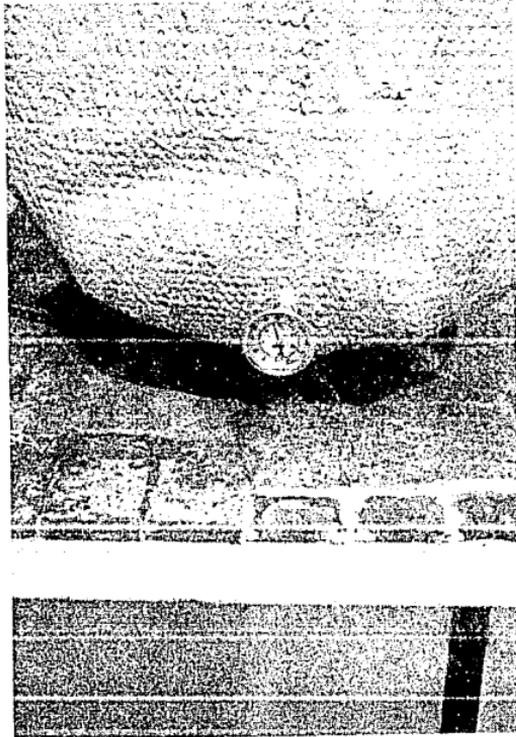


FIGURA 16: Vista del Termo Tanque y el Termómetro.

TABLA 1

PERDIDA DE CARGA DE EL CIRCUITO

UBICACION: TLALPAN, D.F.

CONEXION	CANTIDAD	LONG. EQUI. (m)	LONGITUD TOTAL (m)	GASTO (l/s)	hf (m)
Parte 1: circuito					
Tubo de cobre 25 mm.	8	-	8	0.035	
Codo de cobre 25 x 90 °	4	0.8	3.2	0.035	
Tee de cobre de paso 25 mm.	2	0.53	1.06	0.035	
Tee de cobre sal. lateral 25mm	1	1.8	1.8	0.035	
Conector de cobre 25 mm.	2	0.39	0.78	0.035	
Válvula compuerta 25 mm.	1	0.18	.18	0.035	
Válvula check 25 mm.	1	5	5	0.035	
Total			20.02	0.035	
Aplicando la fórmula (45) con $k=20$					
$hf = k L Q^2 \times 10^{-2}$					
					4.96E-3
Parte 2: colector					
Tubo de cobre 13 mm.	8	3.01	3.01	0.035/8 = 4.4 E -3	
Aplicando la fórmula (45) con $k=55\ 000$					
$hf = k L Q^2 \times 10^{-2}$					
					0.26
Altura vertical a vencer del circuito					
					2.6
TOTAL					
					2.86 m
					= 9.4 pies

TABLA 2

PERDIDA DE CARGA DE EL CIRCUITO

UBICACION: BOSQUES DE LAS LOMAS, D.F

CONEXION	CANTIDAD	LONG. EQUI. (m)	LONGITUD TOTAL (m)	GASTO (l/s)	hf (m)
Parte 1: circuito 25 mm.					
Tubo de cobre 25 mm.	1	-	1	0.056	
Codo de cobre 25 x 90 °	2	0.8	1.6	0.056	
Reducción 25x19 mm.	2	0.18	0.36	0.056	
Total			2.96	0.056	
Aplicando la fórmula (45) con k=20					
$hf = k L Q^2 \times 10^{-2}$					
					1.86E-3
Parte 2: circuito 19 mm.					
Tubo de cobre 19 mm.	14	-	14	0.056	
Codo de cobre 19 x 90 °	11	0.4	6.4	0.056	
Tee de cobre de paso 19 mm.	2	0.4	0.8	0.056	
Válvula compuerta 19 mm.	1	0.09	0.09	0.056	
Válvula solenoide 19 mm.	1	6.5	6.5	0.056	
Válvula check 19 mm.	1	5	5	0.056	
Total			32.99	0.056	
Aplicando la fórmula (45) con k=85					
$hf = k L Q^2 \times 10^{-2}$					
					0.088
Parte 3: colector					
Tubo de cobre 13 mm.	16	2.4	2.4	0.056/16 = 3.5 E -3	
Aplicando la fórmula (45) con k=55 000					
$hf = k L Q^2 \times 10^{-2}$					
					0.259
Altura vertical a vencer del circuito					3.4
TOTAL					3.75 m
					=12.3 pies

Capítulo 4: Implementación del sistema

4.1 Desarrollo del programa de simulación.

Este programa se basó en el método del diagrama F para encontrar el rendimiento de un colector solar en periodos largos y además calcula la ordenada al origen y la pendiente de la gráfica de eficiencia del colector solar plano.

Para determinar estos parámetros se necesitan los siguientes datos iniciales:

- 1.- Datos meteorológicos estadísticos de temperatura ambiente, velocidad del viento y radiación solar, de la zona en donde se localice el colector.
- 2.- Las características constructivas del colector solar plano utilizado, por ejemplo, su emitancia o su área.
- 3.- Las características del circuito y la demanda de calor. Por ejemplo: a cuantas personas se va proporcionar agua caliente y cual es el volumen de almacenamiento.

El programa funciona con doce ciclos mensuales de simulación del colector solar que se compilan para encontrar los valores anuales.

A su vez, en cada mes existe un ciclo de simulación diario que, una vez completo se promedia con los valores diarios para dar un valor mensual.

Las variables que se calculan mensualmente son:

- 1.- La carga mensual de calor.
- 2.- El coeficiente de pérdidas globales de calor.
- 3.- El factor de eficiencia de eliminación de calor.
- 4.- La fracción mensual que proporciona el sistema solar del total de la carga de calor.

Las variables que se calculan diariamente y se promedian para encontrar sus valores mensuales son:

- 1.- El producto absorptancia-transmitancia.
- 2.- La radiación diaria del colector en el plano inclinado.

Los resultados se obtienen de la siguiente manera:

- 1.- Para las dos variables de la gráfica de eficiencia del colector, se promedian los valores mensuales y se obtiene el valor anual.
- 2.- Para el caso del porcentaje anual que proporciona la energía solar, se obtiene dividiendo la suma de los porcentajes mensuales entre la suma de las cargas mensuales de calor.

Cabe hacer mención de que, como se explicó en el capítulo 2, para calcular las pérdidas globales de calor, UL, se necesita conocer la temperatura de la placa captadora, T₁, y a su vez para determinar T₁ se necesita conocer UL.

De esta manera es necesario un ciclo recursivo en donde se le dé un valor inicial a T₁, por ejemplo 10°C por encima de la temperatura ambiente del mes estudiado, y se calcule UL, y así con ese valor de UL se calcula T₁, hasta que converja en un valor.

La práctica de este programa demostró que dos ciclos como máximo son necesarios para encontrar una variación del 0.1%

Los listados de los programas de simulación, como los datos del sistema de Tlalpan como los de Bosques de las Lomas, se encuentran en el apéndice 2.

4.2 Análisis de los resultados del programa de simulación.

En el apéndice 2 se muestran los resultados del programa de simulación con los datos de prueba del circuito de Tlalpan, así como los del circuito de Bosques de las Lomas.

Cuando se comparan los resultados de cendas corridas del programa con los datos de eficiencia del fabricante en la figura 3, se obtiene la gráfica de eficiencia que se muestra en la figura 17.

Al observar dichas gráficas se puede percibir que la diferencia entre la recta del sistema en Tlalpan y la de Bosques de las Lomas es pequeña (alrededor del 1.5% tanto en la pendiente como en la ordenada) lo que es comprensible, ya que ambos sistemas tienen condiciones climatológicas iguales y los sistemas son muy parecidos.

También comparando el fabricante con el sistema de Tlalpan se puede observar que entre las ordenadas al origen existe una diferencia del 5.1%, y entre las pendientes, del 28%, lo cual es comprensible si consideramos las siguientes causas de los errores:

- 1.- Se están comparando los valores instantáneos de la prueba experimental con los valores estadísticos y teóricos de la prueba por computadora.
- 2.- La prueba del fabricante fue realizada en Estados Unidos, y los datos de prueba del programa son de la Ciudad de México y existen variaciones de la curva de eficiencia debido a la inclinación y orientación del colector además de la incidencia de los rayos solares.

3.- Los errores inherentes del programa, como por ejemplo el del cálculo de la radiación en el plano inclinado que, como se vió en el capítulo 2, es entre el 10 y el 15%.

4.- El pequeño error de la ordenada al origen se debe a que el producto transmitancia-absortancia es función únicamente de las características constructivas del colector y no de su localización, en cambio en el coeficiente de pérdidas de calor globales, sí influye la incidencia de los rayos solares y por eso se encuentran errores más grandes en la pendiente.

Con el fin de obtener una base de comparación más real para el programa de simulación, se decidió correr el programa con los datos del colector solar plano de prueba de la planta solar presentado en el trabajo de Chargoy (2). Los resultados de dicha corrida se muestran en el apéndice 2 y la gráfica comparativa entre los resultados teóricos con los experimentales están en la figura 18.

Como se puede ver en esta gráfica, los errores son más pequeños: para las ordenadas al origen de 2.6% y para las pendientes de 3%.

De esto se puede concluir que los errores fueron muy pequeños y estas diferencias se pueden explicar si se toma en cuenta:

1.- De igual manera que el caso anterior, se están comparando los valores instantáneos de la prueba experimental con los valores estadísticos y teóricos de la prueba por computadora.

2.- Existen tantos errores en el método experimental (errores de lectura, errores en el método de mínimos cuadrados, etc.) y también en la aproximación por computadora.

Viendo entonces ambas gráficas, se puede concluir que: el programa de simulación es una buena aproximación tanto para encontrar el rendimiento del colector solar plano, como para conocer la gráfica de eficiencia del mismo.

4.3 Desarrollo del Programa de Diseño.

El programa de diseño es el caso inverso al programa de simulación del rendimiento de un colector solar, es decir se incluyen los valores iniciales y un valor esperado del rendimiento y conforme a estos datos se calcula el área para dar tal rendimiento y el volumen de almacenamiento considerando 75 litros de almacenamiento por cada metro cuadrado de área de recolección.

Los valores iniciales que se deben especificar al programa de diseño son los siguientes:

1.- El valor esperado del rendimiento del colector solar en un año (F).

2.- Los valores de la gráfica de eficiencia del colector que se vaya a utilizar, que son la ordenada y la pendiente, y que se pueden obtener por medio de la prueba de eficiencia del colector por medio de las normas mencionadas, o por medio de los datos del fabricante del colector.

3.- Las condiciones de orientación e inclinación del lugar en donde se vaya a instalar el colector.

4.- Los datos meteorológicos estadísticos de temperatura ambiente, velocidad del viento, radiación solar, etcétera de la zona en donde se vaya a localizar el colector. Esta información se puede obtener en el Observatorio Meteorológico Nacional y se puede ver en el apéndice 1.

5.- Un valor inicial para el área del colector.

De acuerdo con estos valores iniciales se calcula con ciclos mensuales y diarios de todo un año, la radiación sobre el plano inclinado, y el factor de eficiencia de eliminación de calor.

Así tenemos todas las variables determinadas para poder conocer f , que es la carga mensual de calor que proporciona el colector solar.

Se compara el valor esperado de F con el valor calculado de F , si resulta el valor calculado menor que el valor esperado, el área inicial se incrementa un décimo de metro cuadrado y se vuelve a calcular el valor de F , y así sucesivamente hasta que el valor calculado de F resulte mayor que el esperado, obteniendo así el área de diseño.

Para calcular el área de almacenamiento de diseño se consideró conveniente por lo discutido en el capítulo anterior, poner un volumen de almacenamiento igual a 75 litros por cada metro cuadrado de área de colección.

El listado del programa de diseño, así como el diagrama de flujo y la descripción de las variables utilizadas, se encuentran en el apéndice 2.

4.4 Análisis de los resultados del programa de diseño solar.

En el apéndice 2 se muestra la corrida del programa de diseño del área de captación y volumen de almacenamiento, con los datos del fabricante, es decir, la pendiente y la ordenada al origen de la gráfica de eficiencia proporcionada por el fabricante. De igual manera en el apéndice 2 se muestra el programa de diseño que fue corrido con los datos de eficiencia determinados en el programa de simulación.

Como se puede ver en el primer caso de la corrida del programa, se encontró una área de captación de 2.9 metros cuadrados, y en la segunda corrida con los datos determinados por nosotros, se hallaron 3 metros cuadrados como los convenientes. Esto se debe a que los datos de la gráfica de prueba del fabricante son un poco más eficientes que los hallados por nosotros.

También en el capítulo anterior se determinó por medio de un método empírico que el área conveniente para este caso fuera de 3.5 metros cuadrados.

Los datos se hallan muy próximos entre sí, aunque un poco mayor el del método empírico y por lo tanto se escogió el colector de 3.46 metros cuadrados que cumple con las tres variantes de la necesidad de área.

De igual manera que el caso anterior se corrió el programa con los datos de prueba del sistema de Bosques de las Lomas y los datos de prueba del fabricante que se muestran en el apéndice 2, y también se probó el programa de diseño con los datos de eficiencia determinados en el programa de simulación.

Como se puede observar en la primera corrida se halló que el área de captación sería de 4 metros cuadrados según los datos de eficiencia del fabricante y de 4.1 metros cuadrados de acuerdo con los datos encontrados en el programa de simulación, así como también por medio de los datos del método empírico sería de 4 metros cuadrados.

Como el colector solar de 3.46 metros cuadrados no cubre con el área planeada, se determinó poner dos colectores solares de 2.76 metros cuadrados quedando una área total de 5.52 metros cuadrados con lo que se garantiza el 100% ($F = 1$) del calor necesario para el calentamiento de agua por medio de la energía solar.

Con los resultados anteriores, se puede concluir que la propuesta empírica mencionada en el capítulo anterior, de que para la Ciudad de México se puede considerar un área de captación de medio metro cuadrado por cada habitante al que se le va a proporcionar el agua caliente, es cierta y fue comprobada teóricamente mediante el descrito método del diagrama F.

Aunque más exactamente, de acuerdo con los datos anteriores, se podría modificar la propuesta empírica de la siguiente manera:

Si se desea cubrir el 100% ($F = 1$) de las necesidades de calor para calentar el agua por medio de la energía solar se deberá utilizar medio metro cuadrado de área de captación por habitante probable para la Ciudad de México.

Y si se desea solamente cumplir el 90% ($F = 0.9$) de la carga de calor por medio de la energía solar, se utilizará 0.43 de metros cuadrados por habitante probable.

Para el programa de diseño solar, no se hizo ninguna verificación práctica ni experimental, puesto que el programa de diseño es el caso contrario del programa de rendimiento, es decir, en el primero se desea conocer el área de captación a partir del rendimiento deseado y en el segundo a partir del área de captación se desea encontrar el rendimiento.

Como se comprobó el funcionamiento de simulación del rendimiento por lo tanto automáticamente se comprobó el programa de diseño.

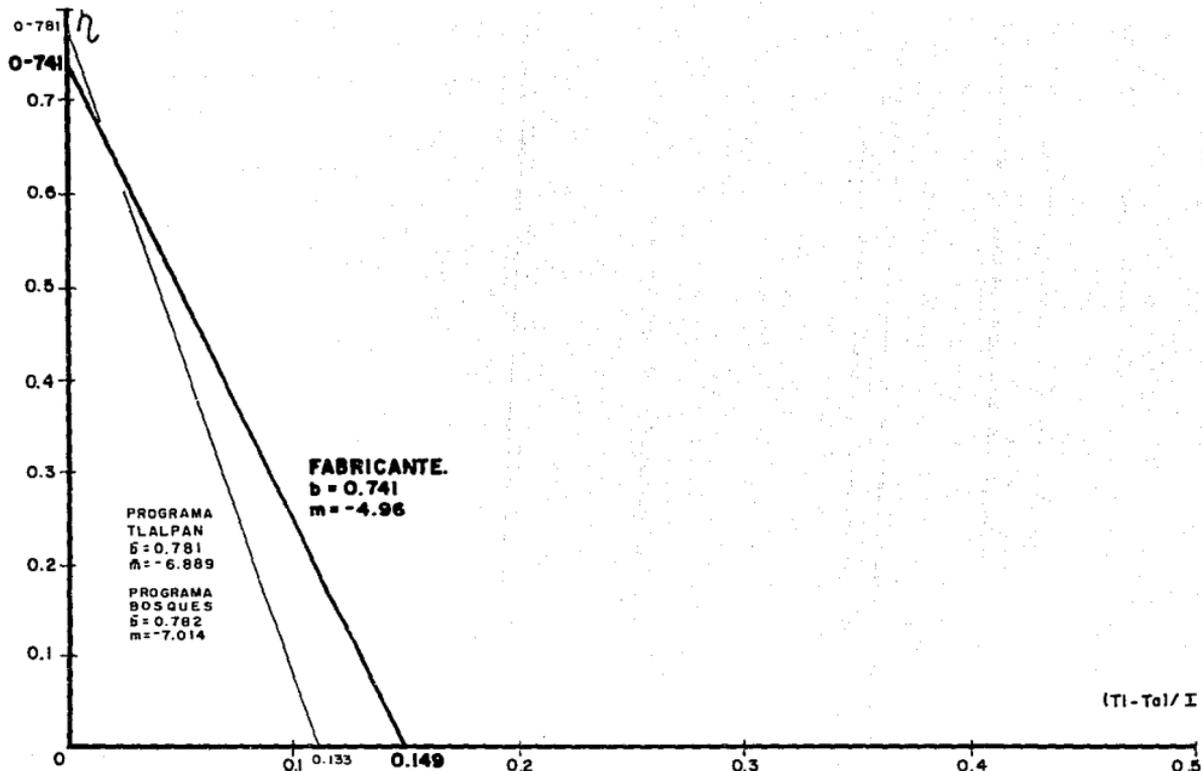


FIGURA 17

COMPARACION ENTRE EL PROGRAMA
DE SIMULACION Y LOS DATOS DEL FABRICANTE.

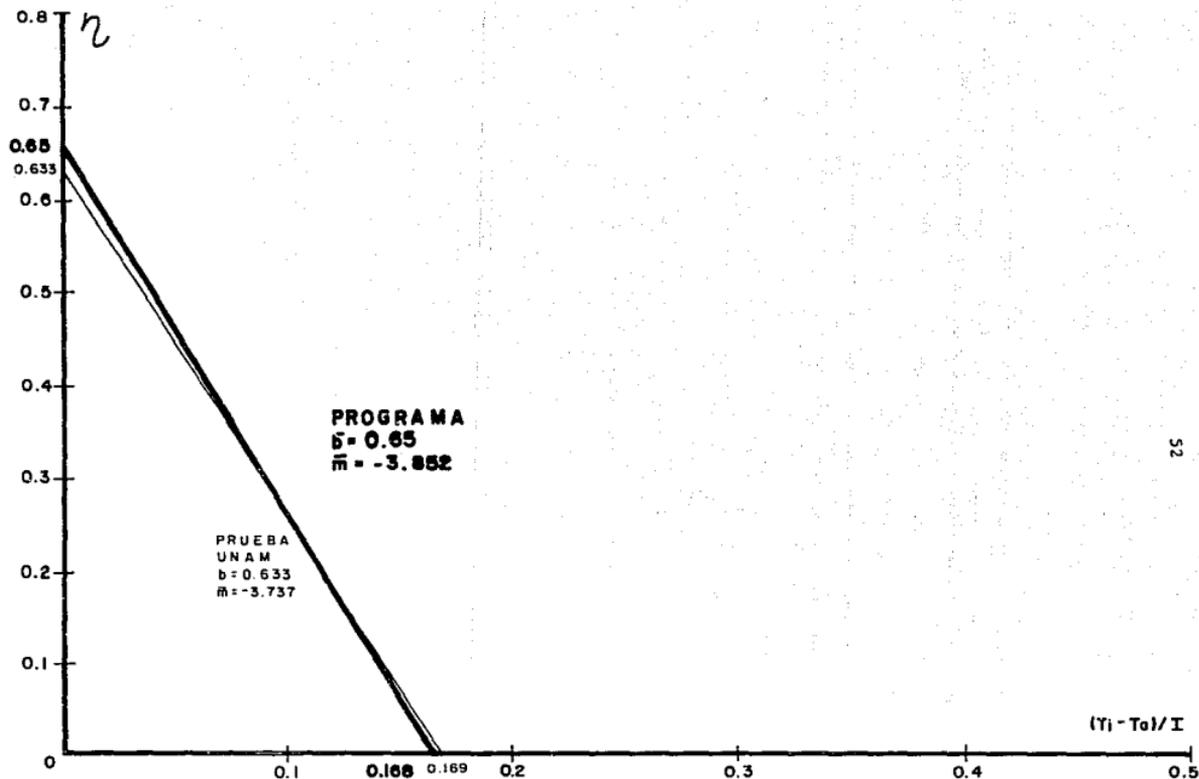


FIGURA 18

COMPARACION ENTRE EL PROGRAMA
DE SIMULACION Y LA PRUEBA DE
EFICIENCIA DE LA UNAM.

Capítulo 5: Análisis económico.

5.1 Relación de costos de los sistemas solares y de gas LP.

La utilización de la energía solar para calentar el agua presenta muchas ventajas, pero algunas de ellas no pueden cuantificarse económicamente, como puede ser la protección del medio ambiente, por ejemplo.

La tecnología del aprovechamiento de la energía solar ha estado disponible desde hace tiempo, pero hasta ahora se están dando las condiciones económicas- adecuadas para que el calentamiento de agua solar sea una alternativa viable - con respecto a los sistemas energéticos convencionales.

Para hacer el análisis económico se necesita conocer los costos de la inversión tanto solar como el del gas LP, que resulta ser el sistema energético más difundido en México, y por lo tanto es el que usaremos para nuestros propósitos comparativos.

En la tabla 3 se presenta el material necesario, así como los gastos de mano de obra y de materiales de consumo del calentador solar instalado en Tlalpan, D.F., de igual forma, en la tabla 4 se muestran los costos del colector solar instalado en Bosques de las Lomas, y por último se observa en la tabla 5 los costos de un calentador de gas instalado para el consumo de agua caliente para 8 personas, estos costos fueron tomados a finales de 1991.

Como se puede observar el costo del calentador de agua solar es aproximadamente 10 veces mayor que el del calentador convencional, pero los ahorros de combustible sirven para amortizar la inversión del colector solar como se verá en la siguiente sección.

5.2 Primera estimación de costos de los sistemas solares.

Entre más años tenga el colector solar de vida útil, mayor será su costo, pero redundará en ahorros de combustible por mayor número de años.

De acuerdo con los datos del fabricante el colector solar está garantizado para tener una vida útil de 25 años, por lo tanto el análisis económico se hará por esa cantidad de años.

Los gastos de operación y mantenimiento del equipo solar generalmente son pequeños y se pueden estimar con exactitud.

El costo de operación más importante en el sistema de circulación forzada es el de la energía eléctrica necesaria para hacer funcionar la bomba circuladora.

De acuerdo con Montgomery (9) considerando un funcionamiento de la circuladora de 7 horas diarias, el costo de operación es el siguiente:

Potencia de la bomba (HP)	Potencia consumida (Watts)	Consumo anual (KWh)	Costo del KWh (\$)	Costo de operación (\$)
1/20	154	394	220	86,680
1/12	180	460	220	101,200

Para el sistema de Bosques de las Lomas se usó una circuladora de 1/12 HP y para el caso de Tlalpan se usó una circuladora de 1/20 HP.

Pero este no es el costo real de operación de la circuladora por que la mayor parte de las pérdidas de eficiencia se producen por fricción de la rotación de la bomba que se traduce en calor que cede la circuladora al fluido de trabajo lo beneficia al sistema. Por esto, los costos de operación se reducen entre un 50% y un 60%, por lo que si consideramos que se reducen un 55%, los costos de operación bajarían a 47,674 pesos para la circuladora de 1/20 HP y a 55,660 pesos para la circuladora de 1/12 HP.

Para los gastos de mantenimiento se consideran dos factores:

- 1.- Visitas del técnico para el servicio anual.
- 2.- Fondo de ahorro para refacciones o imprevistos.

De acuerdo con los precios vigentes a Noviembre de 1991, se consideró que cada uno de estos costos es de 75,000 pesos, lo que da como resultado un total de 150,000 pesos.

Además existe otro costo no considerado, que es el de la demanda de calor no cubierta por el sistema solar debido a las condiciones climatológicas del lugar.

De acuerdo con el programa de simulación del colector solar presentado en el capítulo anterior se puede ver que el sistema en Tlalpan cubre el 89 % de los días, y el sistema de Bosques de las Lomas cubre toda la demanda de calor, pero para hacer mas realista el modelo que vamos a utilizar consideraremos que cubre el 95% de los días.

De esta manera, el costo de consumo de combustible para los días que el sistema solar no pueda proporcionar calor para cubrir la demanda será para el sistema de Tlalpan de 67,674 pesos, que resulta del producto de 8 litros diarios de consumo de gas LP por 229.50 pesos que es el precio por litro de gas por 10% que es la demanda no cubierta por el sistema solar.

De igual forma el costo del consumo de gas L para Bosques de las Lomas es de 33,507 pesos considerando 5% de la demanda no cubierta por el sistema convencional.

Los ahorros de combustible se puede conocer por el valor de F multiplicado por el consumo diario de gas por el costo del gasto LP.

Por lo tanto, ya tenemos los datos necesarios para hacer la primera estimación de costos del equipo solar considerando que no hay inflación según Mont gomery (1), en la tabla 6 se presenta la estimación de los costos para el sistema en Tlalpan, y en la Tabla 7 se muestran los costos del sistema de Bosques de las Lomas.

Viendo las tablas anteriores se pueden sacar las siguientes observaciones:

1.- La inversión de la instalación solar se amortiza en 21 años para el sistema de Tlalpan y en 22 años para el sistema de Bosques.

2.- Que la inversión solar se paga 1.16 veces en Tlalpan y 1.15 veces en Bosques.

3.- Viendo los resultados anteriores podemos concluir que el sistema de calentamiento solar de agua es competitivo con los calentadores convencionales considerando además que el precio del gas LP para consumo doméstico es sumamente barato.

5.3 Segunda estimación de costos de los sistemas solares: el método del costo de ciclo de vida.

Con el afán de obtener unos costos de los sistemas solares más realistas, se decidió utilizar el método de ciclo de vida descrito por Beckman (1).

El método de ciclo de vida consiste en suponer los gastos futuros para transportarlos a valor actual. El sistema de calentamiento de agua que produzca menores costos será el más favorable.

Aunque el método del costo de ciclo de vida es aceptado por la mayoría de los economistas como una buena aproximación para hacer una decisión económica, tiene una gran desventaja: que tenemos que ser capaces de predecir costos en el futuro.

Dada la poca certeza que se tiene para predecir los costos futuros en 25 años, una alternativa es hacer un conjunto de predicciones optimistas, realistas y pesimistas y determinar el sistema más efectivo para los tres casos.

Con el fin de conocer el comportamiento de la economía mexicana en los últimos años se investigó los valores del índice nacional de precios al consumidor y los certificados de la Tesorería a 28 días, según se muestra en la tabla 8.

El índice nacional de precios al consumidor es la forma más frecuente de medir el nivel global de precios. Este índice mide el costo de una cesta de bienes de consumo y servicios, por lo que la inflación es la tasa de crecimiento o descenso de nivel de precios en determinado período.

Se investigó la tasa de los certificados de la Tesorería a 28 días por que es la forma más frecuente de medir las tasas de interés en México.

En la tabla 8 también se muestra el coeficiente de correlación entre las - variables mencionadas, que es igual a .6204. Cuando el coeficiente de co - rrelación es próximo a 1, como el presente caso, significa que un crecimiento - en alguna de las dos variables, implica un crecimiento de la otra variable, más o menos con la misma tendencia, y viceversa.

Para poder pasar los costos futuros a valor presente se utiliza la siguien - te función:

$$\text{FUNCION (N,i,d)} = \frac{1}{d - i} \left(1 - \left(\frac{1 + i}{1 + d} \right)^N \right) \quad (46)$$

Cuando $i < d$

y

$$\text{FUNCION (N,i,d)} = \frac{N}{(1 + i)} \quad (47)$$

Cuando $i=d$

En donde:

- N es el número de periodos del ciclo de vida.
- i es la inflación anual estimada para el ciclo de vida.
- d es la tasa de interés anual estimada por el ciclo de vida.

Si esta función es multiplicada por el valor del primer pago de cualquier costo se obtendrá la sumatoria de N costos iguales, con una inflación i, y con una tasa d.

Esta función asume que los pagos son hechos al final de cada año y los valores presentes resultantes son traídos al principio del primer año. Hay que ha - cer notar que los costos del primer año son evaluados al final del primer perio - do.

Con el propósito de dar un panorama realista a la situación actual de Méxi - co para evaluar los sistemas de calentamiento de agua, se consideró apropiado - que la economía va a continuar en los próximos 25 años con el mismo nivel de in - flación y de tasas de interés. siendo en el presente año, una inflación de - -

20.5% aproximadamente y una tasa de interés anual del 16.59%, que es el último valor que se tiene (Agosto de 1991).

De igual forma, para obtener un escenario optimista, se consideró que la economía mexicana pasaría a una inflación más estable y que se igualaría a la de los Estados Unidos, esto es, con una inflación del 6% anual y con una tasa de interés del 5% (tasa Libor).

Y por último, para crear un escenario pesimista de la economía de México - se considero que pasaría a una inflación galopante, por lo tanto, se tomaron - los máximos valores históricos. Siendo para el caso de la inflación del 170% y las tasas de interés del 154.12% (Enero de 1988).

De esta manera, ya tenemos toda la información para poder calcular el costo total de ciclo de vida para los tres escenarios. en la tabla 9 se muestra pa ra el escenario realista, en la tabla 10 para el escenario optimista y en la ta bla 11 para el escenario pesimista.

De estas tablas se pueden sacar las siguientes observaciones:

- 1.- Para los tres escenarios resultaron mas convenientes los sistemas solares sobre el sistema convencional de calentamiento de gas, es decir, con un costo de ciclo de vida menor.
- 2.- El escenario más benéfico para el calentamiento de agua, fue el realista, - siendo el sistema solar solamente el 14.7% en valor absoluto, del costo de vida útil del sistema convencional.
- 3.- Aunque el costo del calentador solar necesita una mayor inversión inicial, los ahorros de combustible en la vida útil del sistema, superan con creces al sistema de gas LP.
- 4.- En los escenarios realista y optimista los costos de ciclo de vida resulta ron negativos para el sistema solar, lo que significa que el sistema solar se pa ga totalmente y además reditúa un beneficio la inversión.
- 5.- En el escenario pesimista el sistema solar no se paga totalmente porque con una inflación galopante no es conveniente una inversión a largo plazo.

TABLA 3

CUANTIFICACION DEL EQUIPO SOLAR

UBICACION: TLALPAN, D.F

-----C O N C E P T O-----	UNIDAD	CANTIDAD	P. UNITARIO	TOTAL
Tubo de cobre "M" de 25 mm.	metro	12.0	\$10,896	\$130,752
Codo de cobre de 25x90"	pza.	10.0	\$2,885	\$28,850
Tee de cobre de 25x25x19 mm.	pza.	3.0	\$7,405	\$22,215
Colector solar Intra TL5-501	pza.	1.0	\$1,781,340	\$1,781,340
Termotanque de 600 Litros	pza.	1.0	\$2,293,940	\$2,293,940
Control heliotermico automatico	pza.	1.0	\$397,000	\$397,000
Válvula anticongelante H&H	pza.	1.0	\$342,000	\$342,000
Recirculador B&G de 1/20 H.P.	pza.	1.0	\$664,000	\$664,000
Válvula eliminadora de aire	pza.	1.0	\$80,740	\$80,740
Válvula check de 25 mm	pza.	2.0	\$33,375	\$66,750
Válvula de alivio de 13 mm	pza.	1.0	\$8,000	\$8,000
Válvula compuerta de 25 mm	pza.	1.0	\$51,615	\$51,615
Soportería para tanques y colect. lote		1.0	\$17,000	\$17,000
Soldadura carrete 50x50	carrete	1.0	\$11,145	\$11,145
Pasta para soldar 250 grs.	bote	1.0	\$2,110	\$2,110
Lija esmeril	rollo	.5	\$39,510	\$19,755
Seguetas	pza.	1.0	\$1,850	\$1,850
Mano de obra				\$400,000
SUBTOTAL :				\$6,319,062
15 % IVA :				\$947,859
TOTAL :				\$7,266,921

TABLA 4

CUANTIFICACION DEL EQUIPO SOLAR

UBICACION: BOSQUES DE LAS LOMAS, D.F

<-----C O N C E P T O----->	UNIDAD	CANTIDAD	P. UNITARIO	TOTAL
Tubo de cobre "M" de 25 mm.	metro	5.0	\$10,896	\$54,480
Tubo de cobre "M" de 19 mm.	metro	14.0	\$6,257	\$87,598
Codo de cobre de 25x90°	pza.	6.0	\$2,885	\$17,310
Codo de cobre de 19x90°	pza.	11.0	\$985	\$10,835
Tee de cobre de 25x25x19 mm.	pza.	2.0	\$7,405	\$14,810
Tee de cobre de 19 mm.	pza.	2.0	\$1,810	\$3,620
Colector solar Intra TL5-401	pza.	2.0	\$1,710,570	\$3,421,140
Termotanque de 300 Litros	pza.	1.0	\$1,146,970	\$1,146,970
Control heliotérmico automático	pza.	1.0	\$397,000	\$397,000
Valvula anticongelante H&H	pza.	1.0	\$342,000	\$342,000
Recirculador B&G de 1/12 H.P.	pza.	1.0	\$725,000	\$725,000
Válvula solenoide de 25mm	pza.	1.0	\$448,000	\$448,000
Válvula eliminadora de aire	pza.	1.0	\$80,740	\$80,740
Válvula check de 25 mm	pza.	2.0	\$33,375	\$66,750
Válvula de alivio de 13 mm	pza.	1.0	\$8,000	\$8,000
Válvula compuerta de 13 mm	pza.	1.0	\$38,715	\$38,715
Válvula compuerta de 19 mm	pza.	2.0	\$32,240	\$64,480
Soportería para tanques y colect. lote		1.0	\$32,000	\$32,000
Soldadura carrete 50x50	carrete	1.0	\$11,145	\$11,145
Pasta para soldar 250 grs.	bote	1.0	\$2,110	\$2,110
Lija esmeril	rollo	.5	\$39,510	\$19,755
Seguetas	pza.	2.0	\$1,850	\$3,700
Mano de obra				\$500,000
SUBTOTAL :				\$7,496,158
15 % IVA :				\$1,124,424
TOTAL :				\$8,620,582

TABLA 5

CUANTIFICACION DE CALENTADOR DE GAS

<-----C O N C E P T O----->	UNIDAD	CANTIDAD	P. UNITARIO	TOTAL
Calentador Cal-o-rax G-60	pza.	1.0	\$770,950	\$770,950
Tubo de cobre "M" de 19 mm.	metro	1.0	\$6,257	\$6,257
Codo de cobre de 19x90°	pza.	1.0	\$985	\$985
Tee de cobre de 19x19x13 mm.	pza.	1.0	\$2,165	\$2,165
Tuerca unida de cobre	pza.	2.0	\$7,665	\$15,330
Conectores cobre a rosca int. 19	pza.	2.0	\$1,810	\$3,620
Conectores cobre a rosca int. 13	pza.	1.0	\$5,170	\$5,170
Válvula de alivio de 13 mm	pza.	1.0	\$10,400	\$10,400
Válvula globo de 19 mm	pza.	1.0	\$9,840	\$9,840
Materiales de consumo	lote	1.0	\$3,500	\$3,500
Mano de obra				\$60,000

			SUBTOTAL :	\$888,217
			15 % IVA :	\$133,233
				=====
			TOTAL :	\$1,021,450

PRIMERA ESTIMACION DE COSTOS SISTEMA SOLAR

UBICACION: TLALPAN, D.F.

ANO	GASTO MANTENIMIENTO	GASTO OPERACION	GASTO COMBUSTIBLE (I - F)	AHORRO COMBUSTIBLE (F)
1	\$150,000	\$47,674	\$67,014	\$603,126
2	\$150,000	\$47,674	\$67,014	\$603,126
3	\$150,000	\$47,674	\$67,014	\$603,126
4	\$150,000	\$47,674	\$67,014	\$603,126
5	\$150,000	\$47,674	\$67,014	\$603,126
6	\$150,000	\$47,674	\$67,014	\$603,126
7	\$150,000	\$47,674	\$67,014	\$603,126
8	\$150,000	\$47,674	\$67,014	\$603,126
9	\$150,000	\$47,674	\$67,014	\$603,126
10	\$150,000	\$47,674	\$67,014	\$603,126
11	\$150,000	\$47,674	\$67,014	\$603,126
12	\$150,000	\$47,674	\$67,014	\$603,126
13	\$150,000	\$47,674	\$67,014	\$603,126
14	\$150,000	\$47,674	\$67,014	\$603,126
15	\$150,000	\$47,674	\$67,014	\$603,126
16	\$150,000	\$47,674	\$67,014	\$603,126
17	\$150,000	\$47,674	\$67,014	\$603,126
18	\$150,000	\$47,674	\$67,014	\$603,126
19	\$150,000	\$47,674	\$67,014	\$603,126
20	\$150,000	\$47,674	\$67,014	\$603,126
21	\$150,000	\$47,674	\$67,014	\$603,126
22	\$150,000	\$47,674	\$67,014	\$603,126
23	\$150,000	\$47,674	\$67,014	\$603,126
24	\$150,000	\$47,674	\$67,014	\$603,126
25	\$150,000	\$47,674	\$67,014	\$603,126
TOTAL	\$3,750,000	\$1,191,850	\$1,675,350	\$15,078,150
Ahorro total vida útil				\$8,460,950
Años amortización de la inversión =			\$7,266,921	21
			\$338,438	
Veces que se paga la inversión =			\$8,460,950	1.16
			\$7,266,921	
Costo calentador sin sistema solar =			\$1,021,450	
			+	\$16,774,950

TABLA 7

PRIMERA ESTIMACION DE COSTO DEL SISTEMA SOLAR

UBICACION: BOSQUES DE LAS LOMAS, D.F

ANO	GASTO MANTENIMIENTO	GASTO OPERACION	GASTO COMBUSTIBLE (I - F)	AHORRO COMBUSTIBLE (F)
1	\$150,000	\$55,660	\$33,507	\$636,633
2	\$150,000	\$55,660	\$33,507	\$636,633
3	\$150,000	\$55,660	\$33,507	\$636,633
4	\$150,000	\$55,660	\$33,507	\$636,633
5	\$150,000	\$55,660	\$33,507	\$636,633
6	\$150,000	\$55,660	\$33,507	\$636,633
7	\$150,000	\$55,660	\$33,507	\$636,633
8	\$150,000	\$55,660	\$33,507	\$636,633
9	\$150,000	\$55,660	\$33,507	\$636,633
10	\$150,000	\$55,660	\$33,507	\$636,633
11	\$150,000	\$55,660	\$33,507	\$636,633
12	\$150,000	\$55,660	\$33,507	\$636,633
13	\$150,000	\$55,660	\$33,507	\$636,633
14	\$150,000	\$55,660	\$33,507	\$636,633
15	\$150,000	\$55,660	\$33,507	\$636,633
16	\$150,000	\$55,660	\$33,507	\$636,633
17	\$150,000	\$55,660	\$33,507	\$636,633
18	\$150,000	\$55,660	\$33,507	\$636,633
19	\$150,000	\$55,660	\$33,507	\$636,633
20	\$150,000	\$55,660	\$33,507	\$636,633
21	\$150,000	\$55,660	\$33,507	\$636,633
22	\$150,000	\$55,660	\$33,507	\$636,633
23	\$150,000	\$55,660	\$33,507	\$636,633
24	\$150,000	\$55,660	\$33,507	\$636,633
25	\$150,000	\$55,660	\$33,507	\$636,633
TOTAL	\$3,750,000	\$1,391,500	\$837,675	\$15,915,825
Ahorro total vida útil				\$9,936,650
Años amortización de la inversión =			\$8,620,582	22
			\$397,466	
Veces que se paga la inversión =			\$9,936,650	1.15
			\$8,620,582	
Costo calentador sin sistema solar =			\$1,021,450	
			+	\$16,774,950

TABLA 8

RELACION ENTRE INDICE NACIONAL DE PRECIOS AL CONSUMIDOR
Y LA COTIZACION DE CETES A 28 DIAS

MES	AÑO	X		Y			
		INP	CONS.	CETES	SUMA X2	SUMA Y2	SUMA XY
Enero	1985	1309.8		46.00	1,715,576	2,116	60,251
Febrero	1985	1344.2		48.26	3,576,618	4,445	126,087
Marzo	1985	1417.1		55.82	5,584,790	7,561	205,190
Abril	1985	1460.7		56.60	7,718,435	10,764	287,865
Mayo	1985	1495.3		55.05	9,954,357	13,795	370,181
Junio	1985	1532.8		61.10	12,303,833	17,528	463,836
Julio	1985	1586.2		67.24	14,819,863	22,049	570,492
Agosto	1985	1655.5		69.46	17,560,543	26,874	685,483
Sept.	1985	1721.4		65.46	20,524,450	31,159	798,179
Octubre	1985	1787.0		62.06	23,717,819	35,011	909,080
Noviembre	1985	1849.5		64.15	27,212,849	39,126	1,029,008
Diciembre	1985	1996.7		71.72	31,199,660	44,270	1,172,212
Enero	1986	2173.3		72.15	35,922,893	49,475	1,329,015
Febrero	1986	2269.9		72.47	41,075,339	54,727	1,493,515
Marzo	1986	2375.4		76.82	46,717,864	60,628	1,675,993
Abril	1986	2499.4		80.33	52,964,864	67,081	1,876,770
Mayo	1986	2638.3		80.50	59,925,491	73,562	2,089,153
Junio	1986	2807.6		84.51	67,808,109	80,703	2,326,423
Julio	1986	2947.7		90.48	76,497,044	88,890	2,593,131
Agosto	1986	3182.7		96.52	86,626,624	98,206	2,900,325
Sept.	1986	3373.7		100.23	98,008,475	108,252	3,238,471
Octubre	1986	3566.5		99.71	110,728,397	118,194	3,594,087
Noviembre	1986	3807.5		95.74	125,225,454	127,360	3,929,617
Diciembre	1986	4108.2		99.47	142,102,761	137,255	4,367,260
Enero	1987	4440.9		96.50	161,824,354	146,567	4,795,807
Febrero	1987	4761.3		96.70	184,494,331	155,918	5,256,224
Marzo	1987	5076.0		95.05	210,260,107	164,952	5,739,698
Abril	1987	5520.1		92.89	240,731,611	173,581	6,251,460
Mayo	1987	5936.2		91.59	275,970,082	181,970	6,795,157
Junio	1987	6365.7		91.64	316,492,218	190,368	7,378,510
Julio	1987	6881.3		91.25	343,844,508	198,694	8,006,428
Agosto	1987	7443.7		90.29	419,253,178	206,846	8,678,520
Sept.	1987	7934.1		89.91	482,203,121	214,930	9,391,875
Octubre	1987	8595.2		90.03	556,080,584	223,036	10,165,701
Noviembre	1987	9277.0		103.93	642,143,313	233,837	11,129,859
Diciembre	1987	10647.2		121.84	755,506,180	248,682	12,427,114
Enero	1988	12293.5		154.12	906,636,323	272,435	14,321,788
Febrero	1988	13318.9		153.46	1,084,029,420	295,985	16,365,707
Marzo	1988	14000.9		95.84	1,280,054,621	305,170	17,707,553
Abril	1988	14431.9		65.16	1,488,334,358	309,416	18,647,936
Mayo	1988	14711.1		50.66	1,704,750,822	311,983	19,393,200
Junio	1988	15011.2		40.36	1,930,086,947	313,611	19,999,052
Julio	1988	15261.8		40.25	2,163,009,486	315,232	20,613,399
Agosto	1988	15402.2		41.25	2,400,237,251	316,933	21,248,680
Sept.	1988	15490.2		41.85	2,640,183,547	318,685	21,896,945
Octubre	1988	15608.2		44.57	2,883,799,454	320,671	22,592,602
Noviembre	1988	15817.3		49.92	3,133,986,434	323,163	23,382,202
Diciembre	1988	16147.3		52.30	3,394,721,731	325,898	24,226,706
Enero	1989	16542.6		50.78	3,668,379,346	328,477	25,066,739

MES	AÑO	X		Y		SUMA X2	SUMA Y2	SUMA XY
		INP	CONS.	CETES				
Febrero	1989	16767.1		49.15		3,949,514,988	330,893	25,890,842
Marzo	1989	16948.8		47.78		4,236,776,810	333,176	26,700,656
Abril	1989	17202.3		50.09		4,532,695,935	335,685	27,562,319
Mayo	1989	17439.1		51.83		4,836,818,144	338,371	28,466,187
Junio	1989	17650.9		56.68		5,148,372,414	341,584	29,466,640
Julio	1989	17827.4		47.03		5,466,188,605	343,795	30,305,063
Agosto	1989	17997.3		34.76		5,790,091,413	345,004	30,930,649
Sept.	1989	18169.4		34.35		6,120,218,509	346,184	31,554,768
Octubre	1989	18438.1		37.92		6,460,182,040	347,621	32,253,941
Noviembre	1989	18696.9		38.99		6,809,756,110	349,142	32,982,933
Diciembre	1989	19327.9		40.55		7,183,323,829	350,786	33,766,679
Enero	1990	20260.7		41.29		7,593,819,793	352,491	34,603,244
Febrero	1990	20719.5		45.20		8,023,117,473	354,534	35,539,765
Marzo	1990	21084.8		46.65		8,467,686,264	356,710	36,523,371
Abril	1990	21405.7		44.64		8,925,890,257	358,703	37,478,921
Mayo	1990	21779.2		36.92		9,400,223,809	360,066	38,283,010
Junio	1990	22258.9		32.39		9,895,682,439	361,115	39,003,975
Julio	1990	22664.8		30.66		10,409,375,598	362,055	39,698,878
Agosto	1990	23051.0		29.73		10,940,724,199	362,939	40,384,184
Sept.	1990	23379.6		30.14		11,487,329,895	363,847	41,088,845
Octubre	1990	23713.7		28.70		12,049,669,463	364,671	41,769,429
Noviembre	1990	24345.4		24.82		12,642,367,964	365,287	42,373,681
Diciembre	1990	25112.7		25.99		13,273,015,665	365,963	43,026,361
Enero	1991	25752.8		23.64		13,936,222,373	366,521	43,635,157
Febrero	1991	26202.3		23.15		14,622,782,898	367,057	44,241,740
Marzo	1991	26576.0		22.04		15,329,066,674	367,543	44,827,475
Abril	1991	26854.4		21.12		16,050,225,473	367,989	45,394,640
Mayo	1991	27116.9		19.77		16,785,551,739	368,380	45,930,741
Junio	1991	27401.5		17.74		17,536,393,941	368,695	46,416,844
Julio	1991	27643.6		18.47		18,300,562,562	369,036	46,927,421
Agosto	1991			16.59		18,300,562,562	369,311	46,927,421

TOTAL 985651.1 4872.77

B= -0.023

A= 90.5042

r = .6204

TABLA 9

COSTOS POR EL METODO DE CICLO DE VIDA
ESCENARIO REALISTA

NUMERO DE PERIODOS (N)	TASA DE INTERES ANUAL (d)	INFLACION ANUAL (i)	FUNCION (N,i,d) DE ACUERDO CON LA FORMULA (46)	COSTO ANUAL	COSTO DE CICLO DE VIDA
25	.1659	.2050	32.76		

1.- Costo del equipo convencional

Costo del calentador de gas		\$1,021,450
Consumo de gas LP	\$670,140	\$21,956,876
COSTO TOTAL DE CICLO DE VIDA		\$22,978,326

2.- Costo del equipo solar de Tlalpan

Costo de calentador solar		\$7,266,921
Costo del calentador de gas auxiliar		\$1,021,450
Gastos de combustible, mantenimiento y operación	\$264,688	\$8,672,399
Ahorro de combustible	(\$603,126)	(\$19,761,189)
COSTO TOTAL DE CICLO DE VIDA		(\$2,800,418)

3.- Costo del equipo solar de Bosques

Costo de calentador solar		\$8,620,582
Costo del calentador de gas auxiliar		\$1,021,450
Gastos de combustible, mantenimiento y operación	\$239,167	\$7,836,214
Ahorro de combustible	(\$636,633)	(\$20,859,032)
COSTO TOTAL DE CICLO DE VIDA		(\$3,380,787)

TABLA 10

COSTOS POR EL METODO DE CICLO DE VIDA
ESCENARIO OPTIMISTA

NUMERO DE PERIODOS (N)	TASA DE INTERES ANUAL (d)	INFLACION ANUAL (i)	FUNCION (N,i,d) DE ACUERDO CON LA FORMULA (46)	COSTO ANUAL	COSTO DE CICLO DE VIDA
------------------------	---------------------------	---------------------	------------------------------------------------	-------------	------------------------

25	.05	.06	26.74		
----	-----	-----	-------	--	--

1.- Costo del equipo convencional

Costo del calentador de gas				\$1,021,450
Consumo de gas LP	\$670,140			\$17,919,632
COSTO TOTAL DE CICLO DE VIDA				\$18,941,082

2.- Costo del equipo solar de Tlalpan

Costo de calentador solar				\$7,266,921
Costo del calentador de gas auxiliar				\$1,021,450
Gastos de combustible, mantenimiento y operaci3n	\$264,688			\$7,077,792
Ahorro de combustible	(\$603,126)			(\$16,127,669)
COSTO TOTAL DE CICLO DE VIDA				(\$761,506)

3.- Costo del equipo solar de Bosques

Costo de calentador solar				\$8,620,582
Costo del calentador de gas auxiliar				\$1,021,450
Gastos de combustible, mantenimiento y operaci3n	\$239,167			\$6,395,357
Ahorro de combustible	(\$636,633)			(\$17,023,650)
COSTO TOTAL DE CICLO DE VIDA				(\$986,261)

TABLA 11

COSTOS POR EL METODO DE CICLO DE VIDA
ESCENARIO PESIMISTA

NUMERO DE PERIODOS (N)	TASA DE INTERES ANUAL (d)	INFLACION ANUAL (i)	FUNCION (N,i,d) DE ACUERDO CON LA FORMULA (46)	COSTO ANUAL	COSTO DE CICLO DE VIDA
25	1.5412	1.7000	22.36		
1.- Costo del equipo convencional					
Costo del calentador de gas					\$1,021,450
Consumo de gas LP				\$670,140	\$14,986,022
COSTO TOTAL DE CICLO DE VIDA					\$16,007,472
2.- Costo del equipo solar de Tlalpan					
Costo de calentador solar					\$7,266,921
Costo del calentador de gas auxiliar					\$1,021,450
Gastos de combustible, mantenimiento y operación				\$264,688	\$5,919,092
Ahorro de combustible				(\$603,126)	(\$13,487,419)
COSTO TOTAL DE CICLO DE VIDA					\$720,043
3.- Costo del equipo solar de Bosques					
Costo de calentador solar					\$8,620,582
Costo del calentador de gas auxiliar					\$1,021,450
Gastos de combustible, mantenimiento y operación				\$239,167	\$5,348,378
Ahorro de combustible				(\$636,633)	(\$14,236,720)
COSTO TOTAL DE CICLO DE VIDA					\$753,689

Conclusiones

- 1.- El empleo de la energía solar es un medio efectivo para calentar el agua.
- 2.- En los sistemas estudiados en este trabajo se alcanzó un rendimiento entre el 89 y 100 % de los días lo que resulta muy competitivo con respecto a otro sistema de calentamiento de agua, principalmente el gas LP.
- 3.- Los programas de diseño y de simulación del rendimiento de un colector solar son métodos efectivos para calcular y analizar los sistemas con un margen pequeño de error según se dedujo de la comparación de los resultados experimentales.
- 4.- Los programas de diseño y de simulación del rendimiento de un colector solar pueden ser empleados para cualquier parte de la República Mexicana donde exista información meteorológica estadística y se tenga la gráfica de eficiencia del colector, siempre y cuando se utilicen sistemas similares a los descritos, es decir, de circulación forzada, directos y con colectores solares planos reticulares.
- 5.- Aunque este trabajo puede servir como guía general para el estudio del calentamiento de agua solar, no debe de emplearse para analizar otros sistemas o circuitos de captación distintos a los que aquí se estudiaron. Es necesario consultar la bibliografía para ver las variables que se modifican.
- 6.- El empleo de la regla empírica de utilizar medio metro cuadrado de área de captación por habitante probable, resulta válida según se comprobó con las corridas del programa de diseño.
- 7.- Para aumentar el rendimiento anual del colector es preferible aumentar el área de captación que aumentar el volumen de almacenamiento.
- 8.- Sin considerar inflación en la primera estimación de costos, el sistema solar se paga entre 21 y 22 años.
- 9.- Como se vio en la primera y segunda estimación de costos del equipo solar, inicialmente el sistema solar resultaba comparativamente más caro que el sistema convencional, pero con los ahorros de combustible, a largo plazo se pudo corroborar que el sistema solar resultaba mucho mejor que el de combustibles fósiles.
- 10.- De acuerdo con los resultados de este trabajo, sería conveniente para el país y en especial para la Ciudad de México la masificación del empleo de la energía solar para calentar el agua de consumo, mediante programas de información, deducción de impuestos y planes de financiamiento.

Bibliografía

Libros:

- (1) Beckman, William A., Klein, Sanford A., Duffie, John A.
"Solar heating design by the F-chart method."
1977, John Wiley & Sons, New York.
- (2) Chargoy, Norberto
"Evaluación experimental de eficiencia térmica de captadores solares planos.- Proposición de normas nacionales."
1985, Instituto de Ingeniería, UNAM, México, D.F.
- (3) Duffie, John A., Beckman, William A.
"Solar energy thermal processes."
1974, John Wiley & Sons, New York
- (4) Ellison, M.A.
"El Sol y su Influencia"
1957, Universidad Autónoma de México
Dirección General de Publicaciones, México, D.F.
- (5) Fernández Zayas, José Luis, Estrada-Cajigal, Vicente.
"Cálculo de la radiación solar instantánea en la República Mexicana."
1983, Instituto de Ingeniería, UNAM, México, D.F.
- (6) Fernández Zayas, José Luis.
"Introducción a los sistemas solares activos"
1987, Instituto de Ingeniería, UNAM, México, D.F.
- (7) ITT Fluid handling division.
"Solar heating systems design manual"
1977, ITT, Morton Grove, Illinois.
- (8) Mac Carthey, Kevin, Forn, Brian
"Agua caliente solar: manual práctico."
1980, Hermann Blume Ediciones, Madrid.
- (9) Montgomery H., Richard.
"Energía Solar"
"Selección del equipo, instalación y aprovechamiento."
1986, Limusa, México, D.F.

- (10) Samuelson, Paul A., Nordhaus, William D.
 "Economía"
 1983, Mac Graw-Hill, México, D.F.
- (11) Zepeda, Sergio
 "Manual de instalaciones hidráulicas, sanitarias, gas, aire comprimido,
 vapor."
 1986, Limusa, México, D.F.

Normas:

- (12) ASHRAE standard 93-77
 (American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers,
 Inc.)
 "Methods of testing to determinate the thermal performance of solar collec
 tors."
 1978, New York
- (13) DIN 4757 part 4
 (Deutsches Institut fur Normung.)
 "Solar collectors"
 "Determination of efficiency, heat capacity and pressure drop."
 1982, Berlín.

Revistas:

- (14) Indicadores Económicos del Banco de México.
 Enero 1985- Agosto 1991.
- (15) Vivienda.
 Collier's Jaime
 "Investigación y abaratamiento de los costos de vivienda INFONAVIT"
 Mayo/Junio 1982, México, D.F.

Catálogos:

Cal-O-Rex.

Hesa.

Helvex.

Instalaciones Técnicas Especializadas.

Intra.

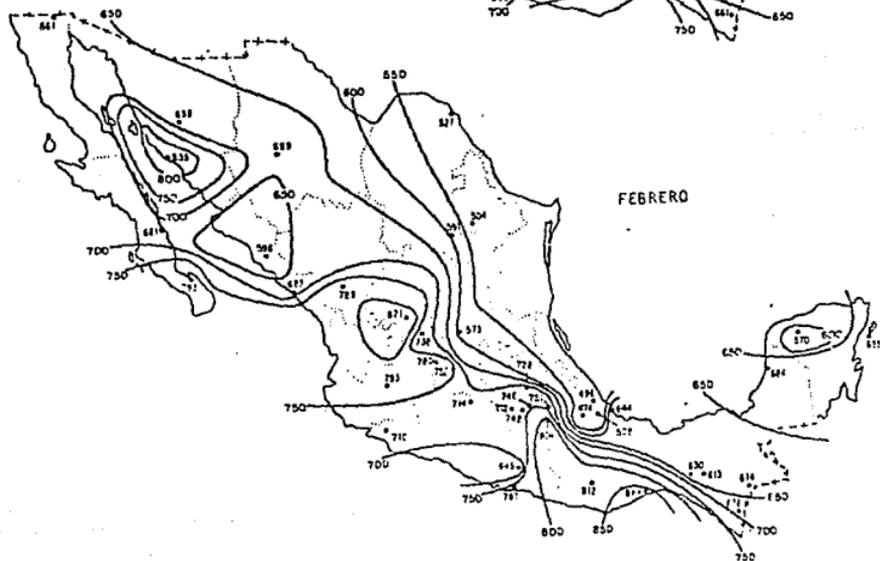
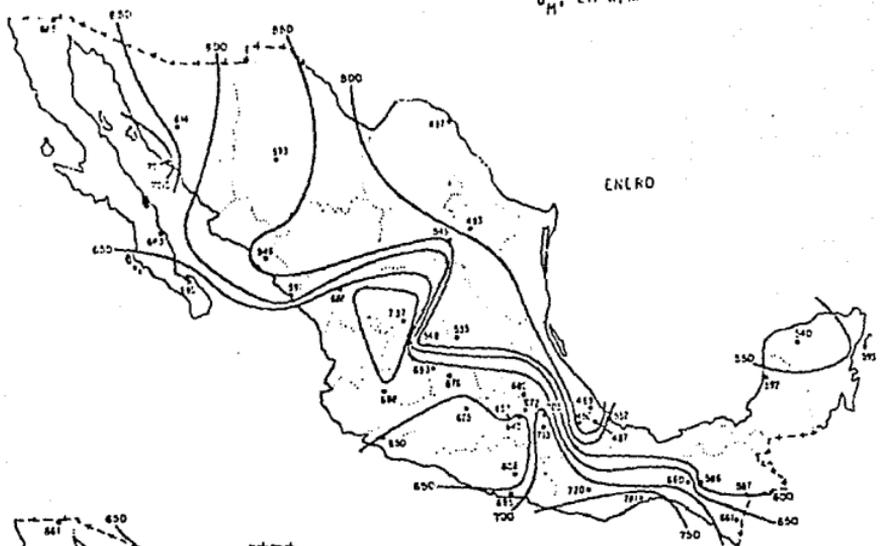
ITT Bell & Gossett.

Lordan.

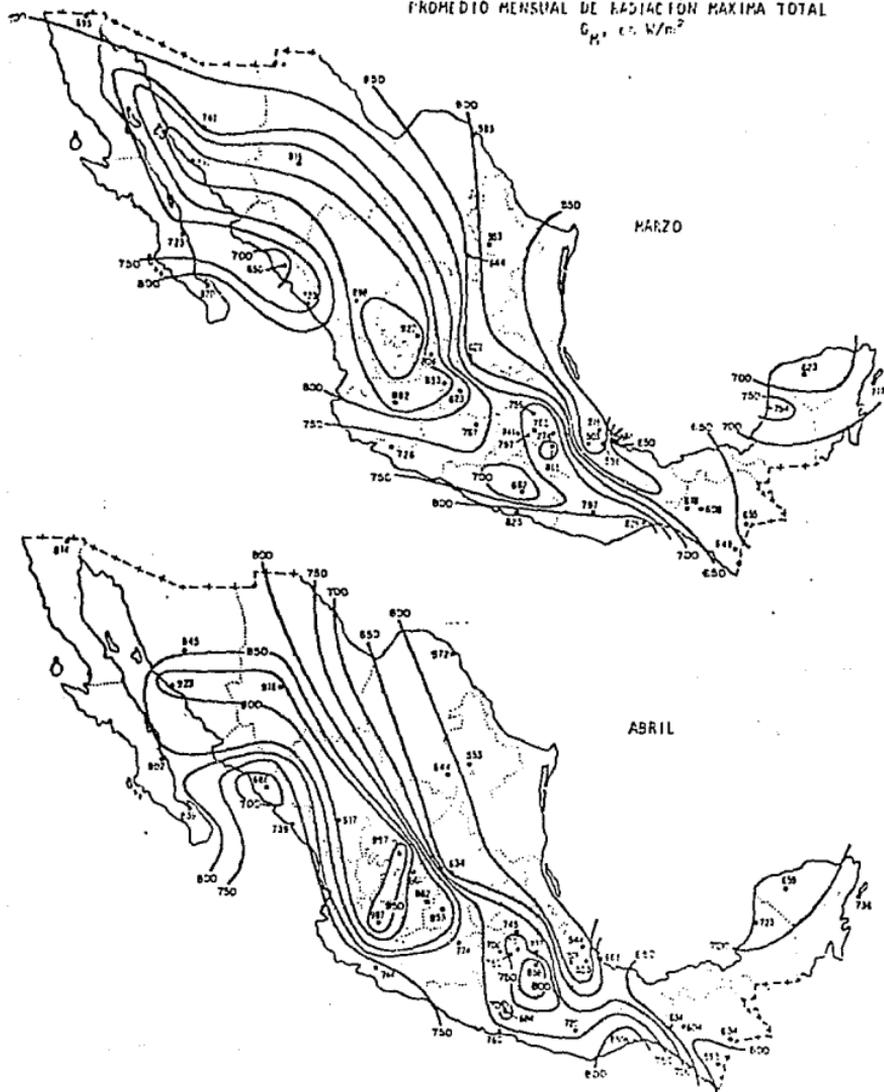
Terra-Light.

APENDICE 1: Mapas de Insolación para la República Mexicana.

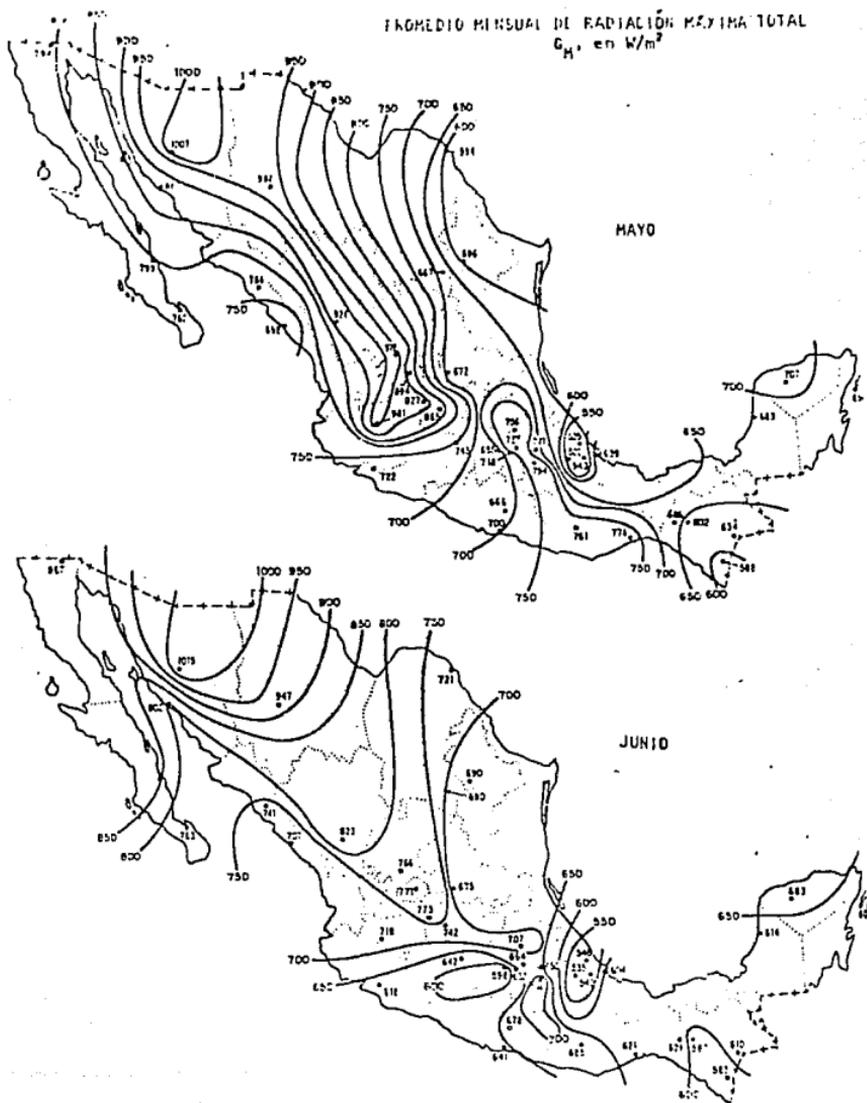
TEMPERIO MENSUAL DE TRANSFERENCIA RESISTIVA TOTAL
 G_{HT} en W/m^2



PROMEDIO MENSUAL DE RADIACIÓN MÁXIMA TOTAL
 $G_{H, \text{max}}$ en W/m^2



PROMEDIO MENSUAL DE RADIACIÓN MÁXIMA TOTAL
 $G_{H, \text{ en } W/m^2}$



PROMEDIO MENSUAL DE RADIACION MÁXIMA TOTAL
 C_H , en W/m^2

JULIO

AGOSTO

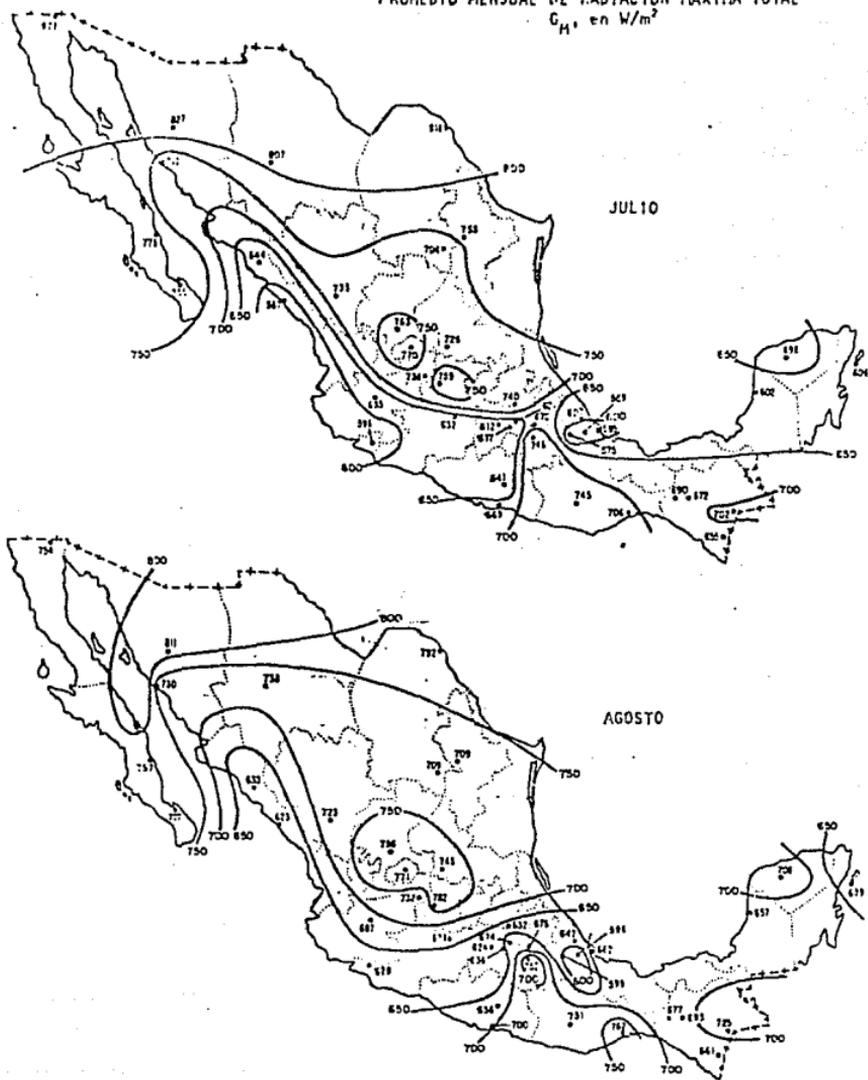
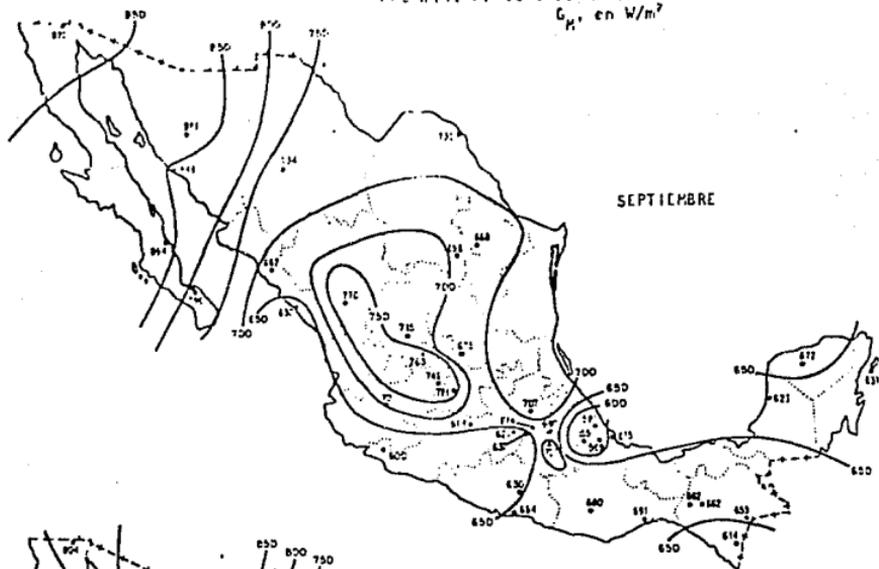
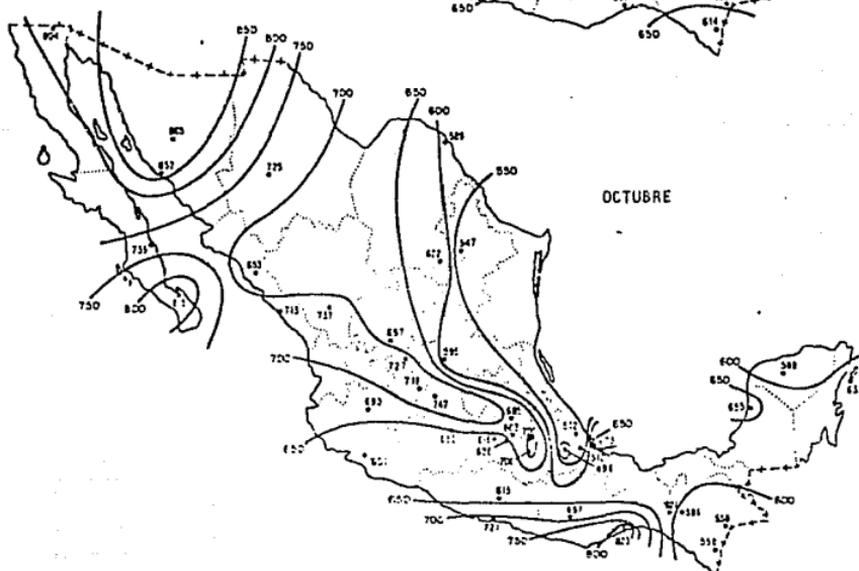


FIGURA ANUAL DE RADIACIÓN MÁXIMA TOTAL
 G_m en W/m^2

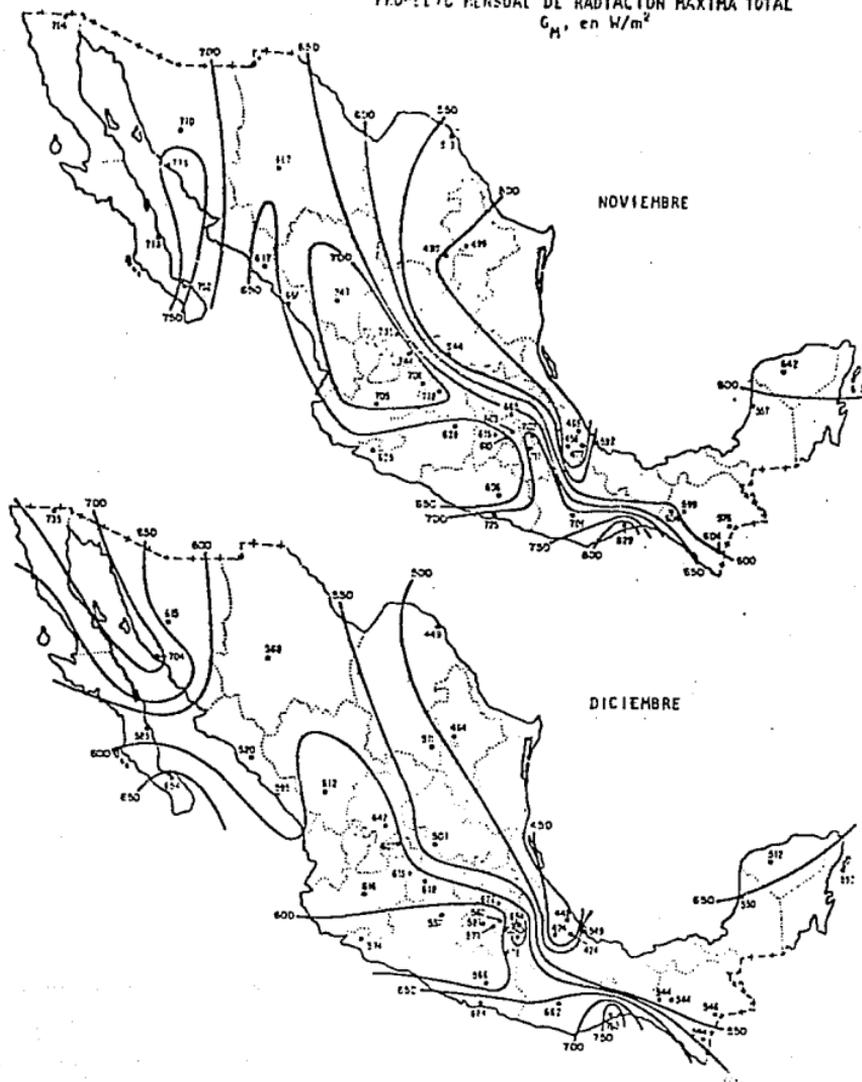
SEPTIEMBRE



OCTUBRE

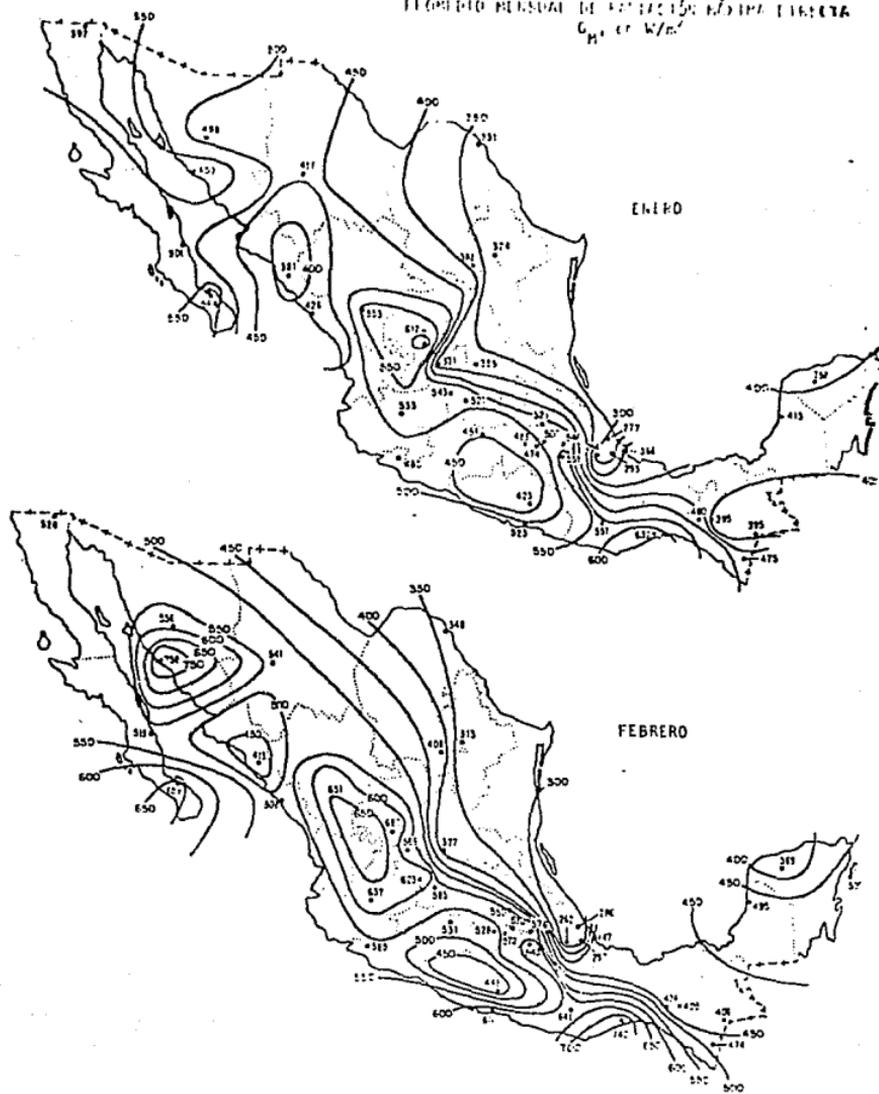


PROFECTO MENSUAL DE RADIACIÓN MÁXIMA TOTAL
 G_H , en W/m^2

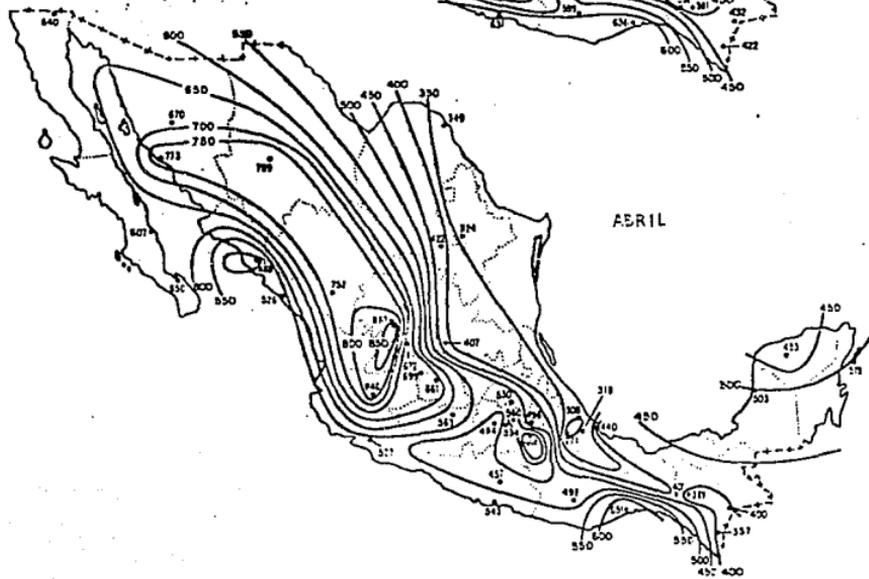
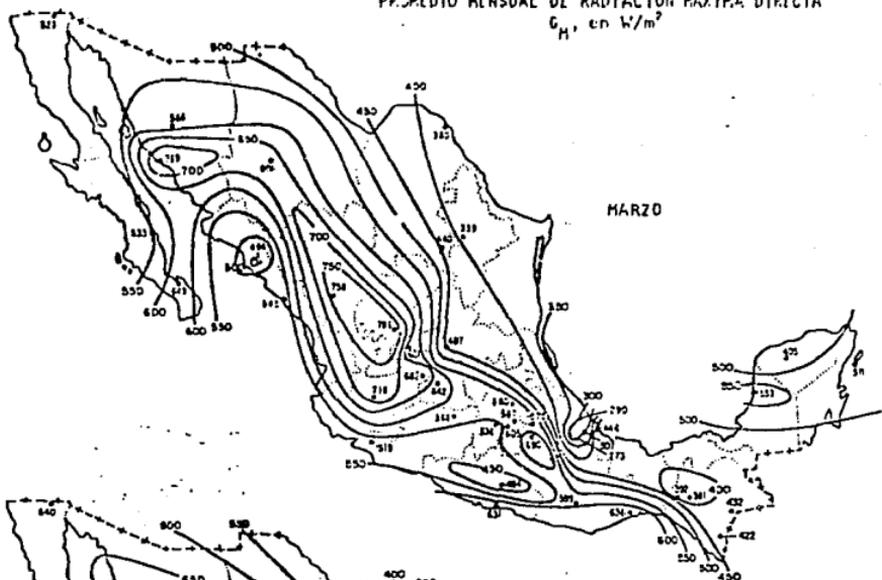


ESTA TESIS NO DEBE
SALIR DE LA BIBLIOTECA

TEMPERIO MENSUAL DE PRECIPITACION DIRECTA
C.M. ET W/M²



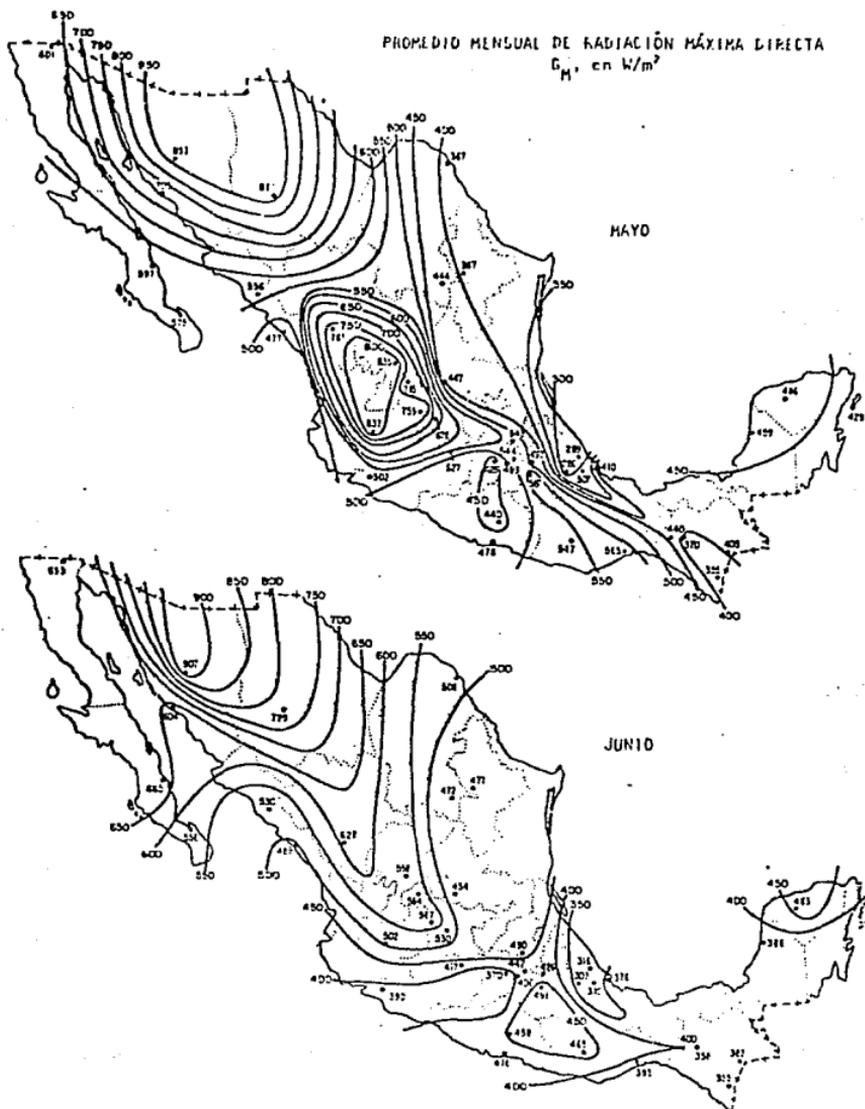
PROMEDIO MENSUAL DE RADIACIÓN MÁXIMA DIRECTA
 G_H , en W/m^2



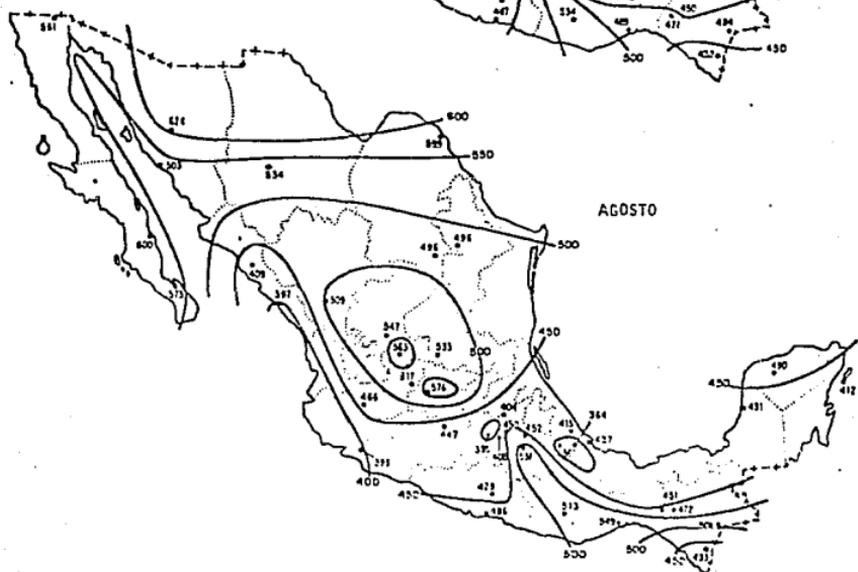
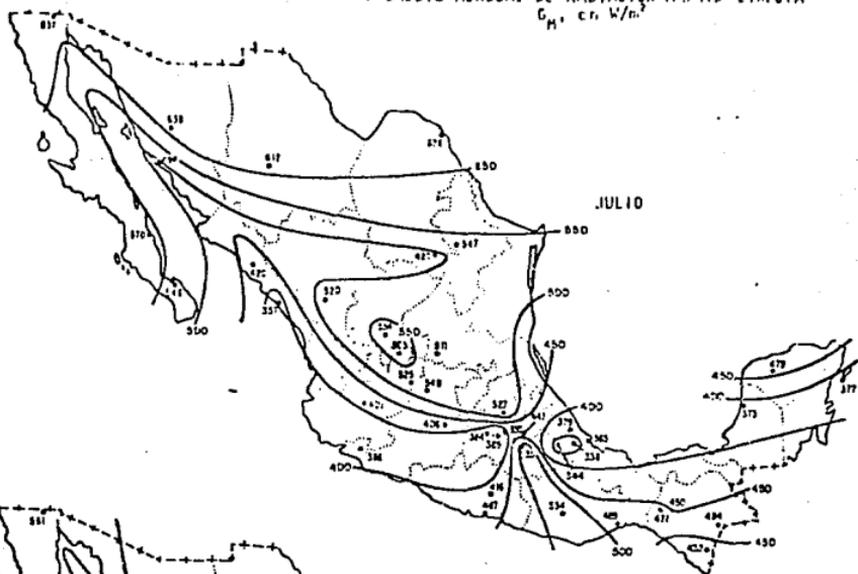
PROMEDIO MENSUAL DE RADIACIÓN MÁXIMA DIRECTA
 $G_{H^{\circ}}$ en W/m^2

MAYO

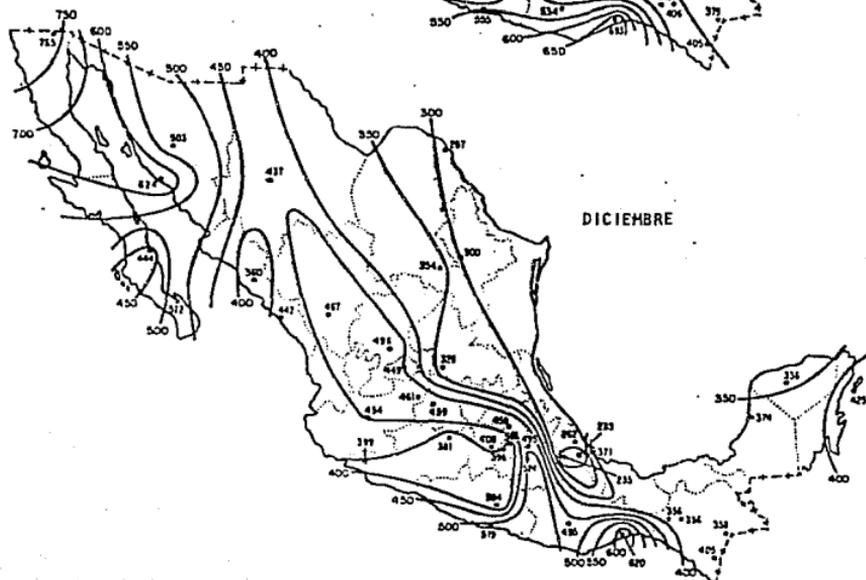
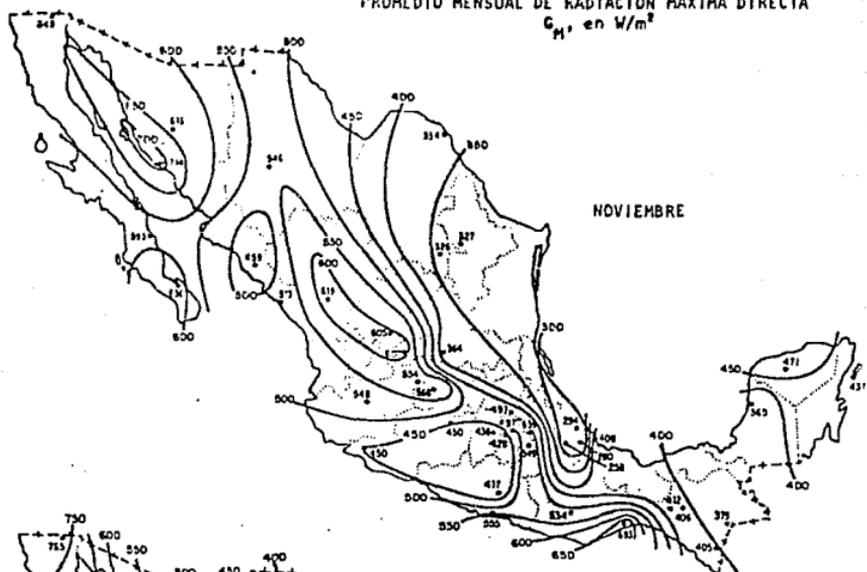
JUNIO



PROMEDIO MENSUAL DE RADIACIÓN MÁXIMA DIRECTA
 $G_{H, cr. W/m^2}$



PROMEDIO MENSUAL DE RADIACIÓN MÁXIMA DIRECTA
 $G_{H^{\circ}}$ en W/m^2



APENDICE 2: Listados, corridas y diagramas de flujo de los programas usados.

DESCRIPCION DE LAS VARIABLES USADAS EN LOS PROGRAMAS.

VARIABLE	SIMBOLO	DESCRIPCION
A	A	Area de captación del colector.
AL	α	Absortancia del colector.
AM	M	Capacidad de almacenamiento entre el área del colector.
B	\bar{b}	Promedio anual de las ordenas al origen de la gráfica de rendimiento del colector.
BE	β	Inclinación del colector con respecto a la horizontal.
BM	b	Ordenada al origen de la gráfica de rendimiento.
CP	C_p	Calor específico del agua
D	D	Diámetro del tubo que esta en el interior del colector.
DA	δ	Espesor de la aleta de la placa captadora.
DE	δ^d	Declinación solar del día deseado
DI	DI	Diámetro interior del tubo de la placa captadora
DR		Factor de conversión de grados a radianes
DS	δ_m	Declinación solar promedio mensual
DT	ΔT	Número de segundos en el mes
DV	d	Espesor del vidrio del colector
EF	F	Eficiencia de la aleta de la placa captadora
EG	ϵ_g	Emitancia del vidrio del colector
EP	ϵ_p	Emitancia de la placa captadora
F	F	Por ciento anual de la carga total de calor que suministra la energía solar
FC	f	Factor de cálculo de las pérdidas globales de calor
FE	F'	Factor de eficiencia del colector
FM	f	Porcentaje mensual de la carga total de calor que proporciona la energía solar
FR	FR	Factor de eficiencia de eliminación de calor mensual
G	\bar{G}	Radiación Total sobre un plano horizontal promedio mensual de determinada localidad

VARIABLE	SIMBOLO	DESCRIPCION.
GA	G	Gasto másico por unidad de área del colector
GB	\bar{G}_b	Radiación difusa sobre un plano horizontal - promedio.
GD	\bar{G}_d	Radiación directa sobre un plano horizontal - promedio mensual.
GM	G_m	Gasto masico de la circuladora.
GO	γ	Orientación del colector con respecto al sur (Acímut)
HD	H_t	Radiación total diaria.
HF	h_{fi}	Coefficiente de transferencia de calor entre - los tubos del colector y el agua que circula a través de ellos.
HT	\bar{H}_t	Promedio mensual de la radiación diaria del - colector por unidad de área.
HV	h_v	Coefficiente de corrección debido al viento.
K	k	Coefficiente de extinción del material semi - transparente.
KA	k	Conductividad térmica del aislante.
KC	k	Conductividad térmica del cobre.
L	L	Espesor del aislante.
LM	LM	Carga mensual de calor.
LT	l	Largo del tubo longitudinal del colector
M	m	Factor de cálculo para el factor de eficien - cia de eliminación de calor.
MA	\bar{m}	Promedio anual de las pendientes de la gráfi - ca del colector.
MP	M	Pendiente de la gráfica de rendimiento del - colector.
N	N	Número de cubiertas en el colector.
NA	n	Número de día del año.
ND	N	Número de días en un mes.
NN	n_1/n_2	Indice de refacción entre el vidrio y el aire -
NP	NP	Número de personas que se suministra el agua caliente.

VARIABLE	SIMBOLO	DESCRIPCION
NT	n	Número de tubos longitudinales en la placa absorbadora.
PI	π	Constante.
PH	φ	Latitud del lugar.
Q	q	Es el promedio de la ganancia de energía útil.
RA		Densidad del agua.
RB	Rb	Factor de proyección.
RD	ρd	Reflectancia constante a 60° de inclinación.
RG		
RH	ρ	Reflectancia instantánea diaria.
S	σ	Constante de stefan-boltzman.
T	τ	Transmitancia diaria.
TA	$(\tau \alpha)$	Producto transmitancia absortancia diario.
TE	T_o	Temperatura ambiente mensual promedio del lugar
TF	T_f	Temperatura de entrada del agua fría mensual.
TH	θ	Angulo que forman la radiación solar directa y el plano de interes.
TL	T_p	Temperatura de la placa absorbente promedio.
TP	$(\tau \alpha)$	Promedio mensual del producto absortancia transmitancia del colector.
TR	$\tau r, n$	Transmitancia limitada por la reflexión
TS	τ_a	Fracción absorbida de la radiación por el vidrio
TW	T_w	Temperatura mínima aceptable del agua caliente.
TZ	θ_z	Angulo que forman la radiación directa y la perpendicular del lugar.
T1	T_{ref}	Temperatura de referencia.
T2	θ_2	Angulo de referencia.
T3	$T_{f,m}$	Temperatura del fluido.
UB	U_b	Coefficiente de pérdidas inferiores del colector
UL	U_L	Coefficiente de pérdidas globales del colector.
US	$UT(s)$	Coefficiente de pérdidas a la inclinación del colector.
UT	UT	Coefficiente de pérdidas superiores del colector
UU	$UT(s)/UT(45)$	Factor de corrección de la inclinación para pérdidas.

VARIABLE	SÍMBOLO	DESCRIPCIÓN
V	v	Velocidad del viento promedio mensual.
W	w	Factor de tiempo para la declinación solar.
WD	$(W-D)/2$	Factor de cálculo para las pérdidas totales.
WT	W	Distanciamiento entre los tubos del colector.
X	X	Número adimensional del método de la gráfica F
X1	X_0/X	Factor de corrección para tamaño de almacén.
X2	X_c/X	Factor de corrección de calentamiento doméstico.
Y	Y	Número adimensional del método de la gráfica F.
Z...		Variables de cálculo.

DIAGRAMA DE FLUJO PROGRAMA DE SIMULACION

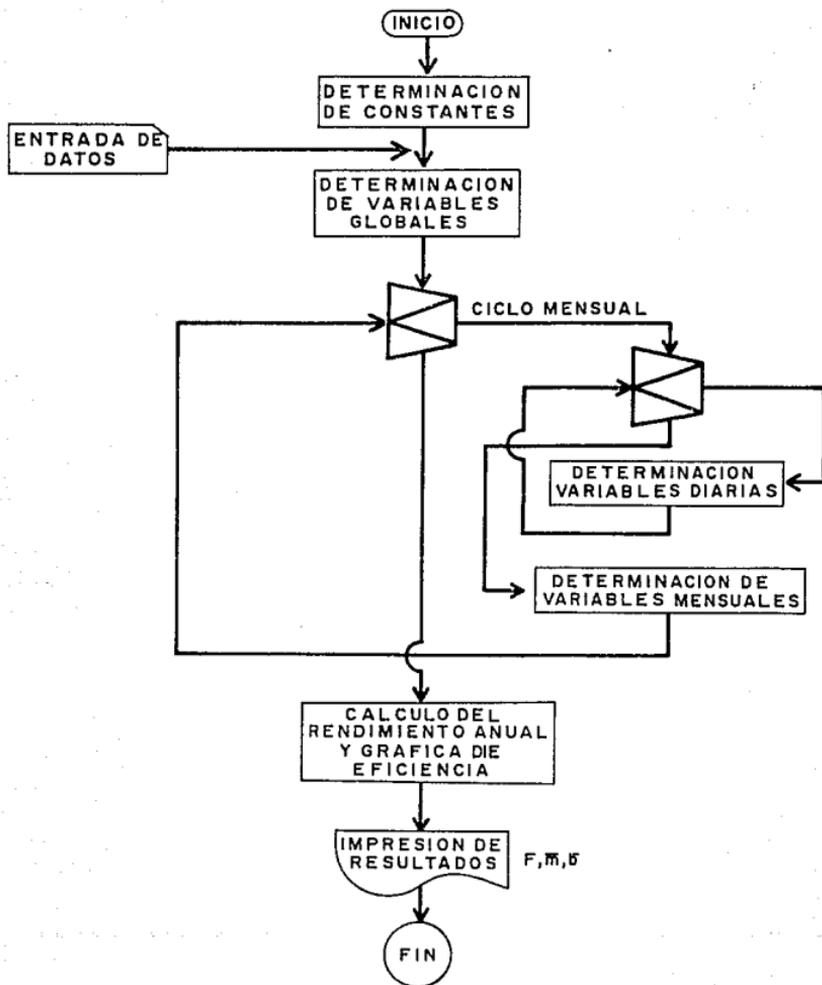
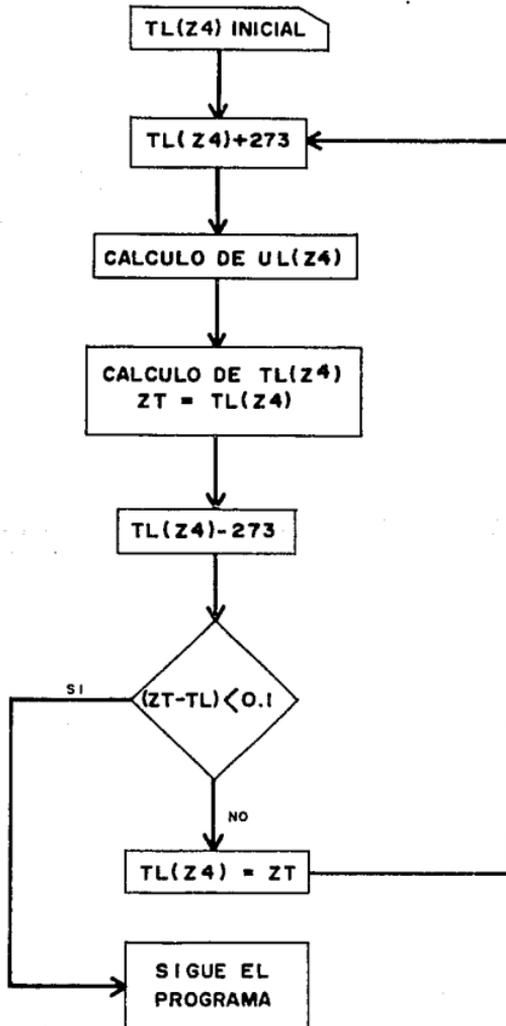


DIAGRAMA DE FLUJO DE LA RECURSIVIDAD DEL PROGRAMA DE SIMULACION



LOAD SOLAR TLALPAN
LIST 10,450

```

10  REM SISTEMA EN TLALPAN D.F.
20  HOME
30  PRINT "ANGEL AGUERREBERE"
40  PRINT "TESIS PROFESIONAL"
50  PRINT : PRINT "RENDIMIENTO DE UN CALENTADOR DE AGUA SOLAR PARA USO DO
    MESTICO"
60  PRINT "UBICACION: TLALPAN, D.F."
70  DIM G(12),GB(12),GD(12)
80  DIM HD(31),TA(31)
90  DIM DM(12),MP(12),TL(12),UT(12),US(12),UL(12),FR(12),HT(12),TP(12),X(
    12),Y(12),FM(12)
100 DIM T3(12),DT(12),ND(12),LM(12),TF(12),TE(12),V(12),HV(12),FC(12),M(
    12)
110 DIM BM(12)
120 ZX = 0
130 LT = 1.138
140 NT = 8
150 Q = 600
160 TF(1) = 19:TF(2) = 19:TF(3) = 20:TF(4) = 23:TF(5) = 26:TF(6) = 25:TF(
    7) = 25:TF(8) = 22:TF(9) = 23:TF(10) = 20:TF(11) = 20:TF(12) = 18
170 ZL = 200
180 S = 5.6697E - 8
190 PI = 3.141592654
200 DR = PI / 180
210 NN = 1 / 1.5
220 K = 0.32
230 A = 3.46
240 T1 = 100
250 N = 1
260 EG = 0.88
270 KA = 0.054
280 L = 0.508
290 RD = 0.14
300 DA = 0.000889
310 KC = 386
320 WT = 0.108
330 D = 0.127
340 DI = 0 - 0.00127
350 WD = (WT - D) / 2
360 HF = 900
370 CP = 4187
380 NP = 7
390 TW = 60
400 RA = 1000
410 PH = 19.29: REM TLALPAN DF
420 PH = PH * DR
430 BE = 30
440 G(1) = 672:G(2) = 751:G(3) = 785:G(4) = 771:G(5) = 757:G(6) = 664:G(7
    ) = 621:G(8) = 674
450 G(9) = 674:G(10) = 663:G(11) = 663:G(12) = 562

```

LIST 460,900

```

460 GB(1) = 507;GB(2) = 570;GB(3) = 587;GB(4) = 560;GB(5) = 544;GB(6) = 4
    42
470 GB(7) = 393;GB(8) = 450;GB(9) = 457;GB(10) = 464;GB(11) = 491;GB(12) =
    386
480 DV = 0.4
490 AL = 0.96
500 GO = 15
510 GO = GO * DR
520 EP = 0.95
530 GM = 0.0352
540 GA = GM / A
550 AM = 600 / A
560 X1 = (AM / 75) ^ - 0.25
570 UB = KA / L
580 DT(1) = 2.86E6;DT(3) = DT(1);DT(5) = DT(1);DT(7) = DT(1);DT(8) = DT(1
    );DT(10) = DT(1);DT(12) = DT(1)
590 DT(2) = 2.42E5;DT(4) = 2.59E6;DT(6) = DT(4);DT(9) = DT(4);DT(11) = DT
    (4)
600 ND(1) = 31;ND(3) = ND(1);ND(5) = ND(1);ND(7) = ND(1);ND(8) = ND(1);ND
    (10) = ND(1);ND(12) = ND(1)
610 ND(2) = 28;ND(4) = 30;ND(6) = ND(4);ND(9) = ND(4);ND(11) = ND(4)
620 UU = 1 - ((BE - 45) * (0.00259 - (0.00144 * EP)))
630 BE = BE * DR
640 TE(1) = 11.8;TE(2) = 12.7;TE(3) = 15.8;TE(4) = 17.4;TE(5) = 18.3;TE(6
    ) = 18.2;TE(7) = 17.7;TE(8) = 17.8;TE(9) = 17.6;TE(10) = 15.8;TE(11)
    = 13.4;TE(12) = 12.3
650 V(1) = 1.2;V(2) = 1.22;V(3) = 1.2;V(4) = 1;V(5) = 1;V(6) = 1;V(7) = 1
    ;V(8) = 1.1;V(9) = 1;V(10) = 1;V(11) = 1.3;V(12) = 1.1
660 Z9 = 0
670 FOR Z4 = 1 TO 12
680 GD(Z4) = G(Z4) - GB(Z4)
690 LM(Z4) = ND(Z4) * 100 * CP * (TW - TF(Z4)) * NP
700 PRINT "CARGA DE CALOR MES "Z4" = "LM(Z4)
710 ZX = LM(Z4) + ZX
720 HV(Z4) = 5.7 + 3.8 * V(Z4)
730 FC(Z4) = ((1 - 0.04 * HV(Z4) + SE - 4 * (HV(Z4) ^ 2)) * (1 + 0.058 *
    N))
740 TL(Z4) = TE(Z4) + 10
750 TE(Z4) = TE(Z4) + 273
760 TL(Z4) = TL(Z4) + 273
770 UT(Z4) = ((1 / HV(Z4)) + (N / ((344 / TL(Z4)) * ((TL(Z4) - TE(Z4)) /
    (N + FC(Z4))) ^ 0.31))) ^ - 1
780 UT(Z4) = UT(Z4) + (S * (TL(Z4) + TE(Z4)) * (TL(Z4) ^ 2 + TE(Z4) ^ 2) /
    ((-N + (EP + 0.00435 * (1 - EP)) ^ - 1 + ((2 * N + FC - 1) / EG)))
790 US(Z4) = UU * UT(Z4)
800 UL(Z4) = US(Z4) + UB
810 M(Z4) = SQR (UL(Z4) / (KC * DA))
820 Z5 = WD * M(Z4)
830 EF = (EXP (Z5) - EXP (- Z5)) / (EXP (Z5) + EXP (- Z5))
840 EF = EF / Z5
850 FE = (1 / UL(Z4)) / (WT * ((1 / (UL(Z4) * (D + ((WT - D) * EF)))) + (
    1 / (PI * DI * HF))))
860 Z6 = (GA * CP) / UL(Z4)
870 FR(Z4) = Z6 * (1 - EXP (- FE / Z6))
880 TL(Z4) = TL(Z4) - 273
890 IF (ZT - TL(Z4)) < 1 THEN 1430
900 Z = 0;ZB = 0;ZT = 0

```

LIST 910,1350

```

910 FOR Z7 = 1 TO ND(Z4)
920 Z9 = Z9 + 1
930 DS = 23.45 * SIN (360 * (284 + Z9) * DR / 365)
940 IF DS > 23.45 THEN 970
950 IF DS < - 23.45 THEN 970
960 GOTO 970
970 PRINT "ERROR EN LA DECLINACION SOLAR=";DS
980 GOTO 1110
990 DS = DS * DR
1000 Z8 = SIN (DS) * SIN (PH) * COS (BE) - SIN (DS) * COS (PH) * SIN
      (BE) * COS (GO) + COS (DS) * COS (PH) * COS (BE) + COS (DS) * SIN
      (PH) * SIN (BE) * COS (GO)
1010 TH = ATN (( SQR (1 - Z8 ^ 2)) / Z8)
1020 Z0 = SIN (PH) * SIN (DS) + COS (DS) * COS (PH)
1030 TZ = ATN (( SQR (1 - Z0 ^ 2)) / Z0)
1040 RB = COS (TH) / COS (TZ)
1050 HD(Z7) = GB(Z4) * RB + GD(Z4)
1060 HD(Z7) = HD(Z7) * 86400
1070 Z = Z + HD(Z7)
1080 ZA = NN * SIN (TH)
1090 T2 = ATN (ZA / ( SQR (1 - ZAA ^ 2)))
1100 ZM = T2 + TH
1110 ZE = T2 - TH
1120 RH = ( SIN (ZE) ^ 2 / SIN (ZM) ^ 2) + ( TAN (ZE) ^ 2 / TAN (ZM) ^
      2)
1130 RH = RH - 0.5
1140 TR = (1 - RH) / (1 + RH)
1150 TS = EXP (- 1 * K * DV / ( COS (T2)))
1160 T = TR * TS
1170 TA(Z7) = (T * AL) / (1 - (1 - AL) * RD)
1180 ZB = ZB + TA(Z7)
1190 NEXT Z7
1200 HT(Z4) = Z / ND(Z4)
1210 TP(Z4) = ZB / ND(Z4)
1220 TE(Z4) = TE(Z4) - 273
1230 Q = FR(Z4) * (HT(Z4) * TP(Z4) - UL(Z4) * (TF(Z4) - TE(Z4))) / (60 *
      60 * 24)
1240 X(Z4) = A * FR(Z4) * UL(Z4) * (1 - TE(Z4)) * DT(Z4) / LM(Z4)
1250 Y(Z4) = A * FR(Z4) * TP(Z4) * HT(Z4) * ND(Z4) / LM(Z4)
1260 X2 = (11.6 + 1.18 * TW + 3.86 * TF(Z4) - 2.32 * TE(Z4)) / (100 - TE
      (Z4))
1270 X(Z4) = X1 * X2 * X(Z4)
1280 IF Y(Z4) < 0 THEN 1330
1290 IF Y(Z4) > 3 THEN 1330
1300 IF X(Z4) < 0 THEN 1330
1310 IF X(Z4) > 18 THEN 1330
1320 GOTO 1360
1330 PRINT "ERROR EN LAS VARIABLES ADIMENSIONALES"
1340 PRINT "X("Z4")= "X(Z4)" , Y("Z4")= "Y(Z4)
1350 GOTO 1620

```

LIST 1360,

```

1360 FM(Z4) = 1.029 * Y(Z4) - 0.065 * X(Z4) - 0.2450 * Y(Z4) ^ 2 + 0.0018
      * X(Z4) ^ 2 + 0.0215 * Y(Z4) ^ 3
1370 PRINT : PRINT "f MES "Z4" ="FM(Z4)
1380 MP(Z4) = - UL(Z4)
1390 PRINT "PENDIENTE MES "Z4" ="MP(Z4)
1400 BM(Z4) = TP(Z4)
1410 PRINT "ORDENADA MES "Z4" ="BM(Z4): PRINT
1420 GOTO 1520
1430 T3(Z4) = TF(Z4) + ((Q / (UL(Z4) * FR(Z4))) * (1 - FR(Z4) / FE))
1440 ZT = T3(Z4) + (Q * A) / (HF * PI * DI * NT * LT)
1450 IF TL(Z4) > ZT THEN 1490
1460 IF (ZT - TL(Z4)) < 0.1 THEN 900
1470 TL(Z4) = ZT
1480 GOTO 760
1490 IF (TL(Z4) - ZT) < 0.1 THEN 900
1500 TL(Z4) = ZT
1510 GOTO 760
1520 F = FM(Z4) * LM(Z4) + F
1530 B = B + BM(Z4)
1540 MA = MA + MP(Z4)
1550 NEXT Z4
1560 F = F / ZX
1570 B = B / 12
1580 MA = MA / 12
1590 PRINT "PENDIENTE PROMEDIO DE LA GRAFICA ";MA
1600 PRINT "ORDENADA AL ORIGEN DE LA GRAFICA=" ;B
1610 PRINT "% ANUAL QUE PROPORCIONA LA ENERGIA SOLAR=" ;F
1620 END

```

JRUN SOLAR TLALPAN
ANGEL AGUERREBERE
TESIS PROFESIONAL

RENDIMIENTO DE UN CALENTADOR DE AGUA SOLAR PARA USO DOMESTICO

UBICACION: TLALPAN, D.F.

CARGA DE CALOR MES 1 =3.7251739E+09

f MES 1 =.937594388

PENDIENTE MES 1 =-6.85209027

ORDENADA MES 1 =.783418046

CARGA DE CALOR MES 2 =3.3646732E+09

f MES 2 =.978730203

PENDIENTE MES 2 =-6.83783029

ORDENADA MES 2 =.784188606

CARGA DE CALOR MES 3 =3.634316E+09

f MES 3 =.962567449

PENDIENTE MES 3 =-6.87969718

ORDENADA MES 3 =.783824337

CARGA DE CALOR MES 4 =3.253299E+09

f MES 4 =.936926239

PENDIENTE MES 4 =-6.98455556

ORDENADA MES 4 =.781191659

CARGA DE CALOR MES 5 =3.0891686E+09

f MES 5 =.907024766

PENDIENTE MES 5 =-7.09897671

ORDENADA MES 5 =.776500036

CARGA DE CALOR MES 6 =3.077445E+09

f MES 6 =.8046087

PENDIENTE MES 6 =-7.0143194

ORDENADA MES 6 =.77310831

CARGA DE CALOR MES 7 =3.1800265E+09

f MES 7 =.766432463

PENDIENTE MES 7 =-6.9677158

ORDENADA MES 7 =.774800111

CARGA DE CALOR MES 8 =3.4526002E+09

f MES 8 =.821520468

PENDIENTE MES 8 =-6.78317422

ORDENADA MES 8 =.779633258

CARGA DE CALOR MES 9 =3.253299E+09

f MES 9 =.884875996
PENDIENTE MES 9 =-6.88172651
ORDENADA MES 9 =.783178107

CARGA DE CALOR MES 10 =3.634316E+09

f MES 10 =.886183066
PENDIENTE MES 10 =-6.75303106
ORDENADA MES 10 =.784249892

CARGA DE CALOR MES 11 =3.51708E+09

f MES 11 =.936914886
PENDIENTE MES 11 =-6.85473203
ORDENADA MES 11 =.783680617

CARGA DE CALOR MES 12 =3.8160318E+09

f MES 12 =.815721278
PENDIENTE MES 12 =-6.75504657
ORDENADA MES 12 =.783015372

PENDIENTE PROMEDIO DE LA GRAFICA =-6.8885748
ORDENADA AL ORIGEN DE LA GRAFICA= .780899029
% ANUAL QUE PROPORCIONA LA ENERGIA SOLAR= .887650586

¿LOAD SOLAR BOSQUES
¿LIST 10,450

```

10 REM SISTEMA EN BOSQUES DE LAS LOMAS D.F.
20 HOME
30 PRINT "ANGEL AGUERREBERE"
40 PRINT "TESIS PROFESIONAL"
50 PRINT : PRINT "RENDIMIENTO DE UN CALENTADOR DE AGUA SOLAR PARA USO DO
  MESTICO"
60 PRINT "UBICACION: BOSQUES DE LAS LOMAS. D.F."
70 DIM G(12),GB(12),GD(12)
80 DIM HD(31),TA(31)
90 DIM DM(12),MP(12),TL(12),UT(12),US(12),UL(12),FR(12),HT(12),TP(12),X(
  12),Y(12),FM(12)
100 DIM T3(12),DT(12),ND(12),LM(12),TF(12),TE(12),U(12),HV(12),FC(12),M(
  12)
110 DIM BM(12)
120 ZX = 0
130 LT = 1.138
140 NT = 8
150 Q = 600
160 TF(1) = 19:TF(2) = 19:TF(3) = 20:TF(4) = 23:TF(5) = 26:TF(6) = 25:TF(
  7) = 25:TF(8) = 22:TF(9) = 23:TF(10) = 20:TF(11) = 20:TF(12) = 18
170 ZL = 200
180 S = 5.6697E - 8
190 PI = 3.141592654
200 DR = PI / 180
210 NN = 1 / 1.5
220 K = 0.32
230 A = 5.928
240 T1 = 100
250 N = 1
260 EG = 0.88
270 KA = 0.038
280 L = 0.254
290 RD = 0.16
300 DA = 0.000889
310 KC = 386
320 WT = 0.108
330 D = 0.127
340 DI = D - 0.00127
350 WD = (WT - D) / 2
360 HF = 900
370 CP = 4187
380 NP = 8
390 TW = 60
400 RA = 1000
410 PH = 19.43: REM MEXICO DF
420 PH = PH * DR
430 BE = 25
440 G(1) = 672:G(2) = 751:G(3) = 785:G(4) = 771:G(5) = 757:G(6) = 664:G(7
  ) = 621:G(8) = 674
450 G(9) = 674:G(10) = 663:G(11) = 663:G(12) = 562

```

LIST 460,900

```

460 GB(1) = 507;GB(2) = 570;GB(3) = 587;GB(4) = 560;GB(5) = 544;GB(6) = 4
    42
470 GB(7) = 393;GB(8) = 450;GB(9) = 457;GB(10) = 464;GB(11) = 491;GB(12) =
    386
480 DV = 0.4
490 AL = 0.96
500 GO = - 10
510 GO = GO * DR
520 EP = 0.95
530 GM = 0.056
540 GA = GM / A
550 AM = 300 / A
560 X1 = (AM / 75) * - 0.25
570 UB = KA / L
580 DT(1) = 2.86E6;DT(3) = DT(1);DT(5) = DT(1);DT(7) = DT(1);DT(8) = DT(1)
    ;DT(10) = DT(1);DT(12) = DT(1)
590 DT(2) = 2.42E6;DT(4) = 2.59E6;DT(6) = DT(4);DT(9) = DT(4);DT(11) = DT
    (4)
600 ND(1) = 31;ND(3) = ND(1);ND(5) = ND(1);ND(7) = ND(1);ND(8) = ND(1);ND
    (10) = ND(1);ND(12) = ND(1)
610 ND(2) = 28;ND(4) = 30;ND(6) = ND(4);ND(9) = ND(4);ND(11) = ND(4)
620 UU = 1 - ((BE - 45) * (0.00259 - (0.00144 * EP)))
630 BE = BE * DR
640 TE(1) = 13.1;TE(2) = 14.5;TE(3) = 16.2;TE(4) = 17.03;TE(5) = 16.725;T
    E(6) = 18.58;TE(7) = 16.66;TE(8) = 17.25;TE(9) = 16.7;TE(10) = 15.35
    ;TE(11) = 14.18;TE(12) = 13.63
650 V(1) = 1.0;V(2) = 0.85;V(3) = 1.4;V(4) = 1;V(5) = 1;V(6) = 1;V(7) = 1
    ;V(8) = .93;V(9) = 1.25;V(10) = 1;V(11) = 1.0;V(12) = 1
660 Z9 = 0
670 FOR Z4 = 1 TO 12
680 GD(Z4) = G(Z4) - GB(Z4)
690 LM(Z4) = ND(Z4) * 100 * CP * (TW - TF(Z4)) * NP
700 PRINT "CARGA DE CALOR MES "Z4" ="LM(Z4)
710 ZX = LM(Z4) + ZX
720 HV(Z4) = 5.7 + 3.8 * V(Z4)
730 FC(Z4) = ((1 - 0.04 * HV(Z4) + 5E - 4 * (HV(Z4) ^ 2)) * (1 + 0.058 *
    N))
740 TL(Z4) = TE(Z4) + 10
750 TE(Z4) = TE(Z4) + 273
760 TL(Z4) = TL(Z4) + 273
770 UT(Z4) = ((1 / HV(Z4)) + (N / ((344 / TL(Z4)) * ((TL(Z4) - TE(Z4)) /
    (N + FC(Z4)))) ^ 0.31))) ^ - 1
780 UT(Z4) = UT(Z4) + (S * (TL(Z4) + TE(Z4)) * (TL(Z4) ^ 2 + TE(Z4) ^ 2) /
    (- N + (EP + 0.00435 * (1 - EP)) ^ - 1 + ((2 * N + FC - 1) / EG)))
790 US(Z4) = UU * UT(Z4)
800 UL(Z4) = US(Z4) + UB
810 M(Z4) = SQR (UL(Z4) / (KC * DA))
820 Z5 = WD * M(Z4)
830 EF = ( EXP (Z5) - EXP (- Z5) ) / ( EXP (Z5) + EXP (- Z5) )
840 EF = EF / Z5
850 FE = (1 / UL(Z4)) / (WT * ((1 / UL(Z4)) * (D + ((WT - D) * EF)))) + (
    1 / (PI * DI * HF)))
860 Z6 = (GA * CP) / UL(Z4)
870 FR(Z4) = Z6 * (1 - EXP (- FE / Z6))
880 TL(Z4) = TL(Z4) - 273
890 IF (ZT - TL(Z4)) < 1 THEN 1430
900 Z = 0;ZB = 0;ZT = 0

```

LIST 910,1350

```

910 FOR Z7 = 1 TO ND(Z4)
920 Z9 = Z9 + 1
930 DS = 23.45 * SIN (360 * (284 + Z9) * DR / 365)
940 IF DS > 23.45 THEN 970
950 IF DS < -23.45 THEN 970
960 GOTO 970
970 PRINT "ERROR EN LA DECLINACION SOLAR=" ; DS
980 GOTO 1110
990 DS = DS * DR
1000 Z8 = SIN (DS) * SIN (PH) * COS (BE) - SIN (DS) * COS (PH) * SIN
    (BE) * COS (GO) + COS (DS) * COS (PH) * COS (BE) + COS (DS) * SIN
    (PH) * SIN (BE) * COS (GO)
1010 TH = ATN (( SQR (1 - Z8 ^ 2)) / Z8)
1020 Z0 = SIN (PH) * SIN (DS) + COS (DS) * COS (PH)
1030 T2 = ATN (( SQR (1 - Z0 ^ 2)) / Z0)
1040 RB = COS (TH) / COS (T2)
1050 HD(Z7) = GB(Z4) * RB + GD(Z4)
1060 HD(Z7) = HD(Z7) * 86400
1070 Z = Z + HD(Z7)
1080 ZA = NN * SIN (TH)
1090 T2 = ATN (ZA / ( SQR (1 - ZAA ^ 2)))
1100 ZM = T2 + TH
1110 ZE = T2 - TH
1120 RH = ( SIN (ZE) ^ 2 / SIN (ZM) ^ 2) + ( TAN (ZE) ^ 2 / TAN (ZM) ^
    2)
1130 RH = RH - 0.5
1140 TR = (1 - RH) / (1 + RH)
1150 TS = EXP (-1 * K * DV / (COS (T2)))
1160 T = TR * TS
1170 TA(Z7) = (T * AL) / (1 - (1 - AL) * RD)
1180 ZB = ZB + TA(Z7)
1190 NEXT Z7
1200 HT(Z4) = Z / ND(Z4)
1210 TP(Z4) = ZB / ND(Z4)
1220 TE(Z4) = TE(Z4) - 273
1230 Q = FR(Z4) * (HT(Z4) * TP(Z4) - UL(Z4) * (TF(Z4) - TE(Z4))) / (60 *
    60 * 24)
1240 X(Z4) = A * FR(Z4) * UL(Z4) * (T1 - TE(Z4)) * DT(Z4) / LM(Z4)
1250 Y(Z4) = A * FR(Z4) * TP(Z4) * HT(Z4) * ND(Z4) / LM(Z4)
1260 X2 = (11.6 + 1.18 * TW + 3.86 * TF(Z4) - 2.32 * TE(Z4)) / (100 - TE(
    Z4))
1270 X(Z4) = X1 * X2 * X(Z4)
1280 IF Y(Z4) < 0 THEN 1330
1290 IF Y(Z4) > 3 THEN 1330
1300 IF X(Z4) < 0 THEN 1330
1310 IF X(Z4) > 18 THEN 1330
1320 GOTO 1360
1330 PRINT "ERROR EN LAS VARIABLES ADIMENSIONALES"
1340 PRINT " X("Z4")= "X(Z4)" , Y("Z4")= "Y(Z4)
1350 GOTO 1620

```

¿LIST 1360,

```

1360 FM(Z4) = 1.029 * Y(Z4) - 0.065 * X(Z4) - 0.2450 * Y(Z4) ^ 2 + 0.0018
      * X(Z4) ^ 2 + 0.0215 * Y(Z4) ^ 3
1370 PRINT : PRINT "¿ MES "Z4" ="FM(Z4)
1380 MP(Z4) = - UL(Z4)
1390 PRINT "PENDIENTE MES "Z4" ="MP(Z4)
1400 BM(Z4) = TP(Z4)
1410 PRINT "ORDENADA MES "Z4" ="BM(Z4); PRINT
1420 GOTO 1520
1430 T3(Z4) = TF(Z4) + ((Q / (UL(Z4) * FR(Z4))) * (1 - FR(Z4) / FE))
1440 ZT = T3(Z4) + (Q * A) / (HF * PI * DI * NT * LT)
1450 IF TL(Z4) > ZT THEN 1490
1460 IF (ZT - TL(Z4)) < 0.1 THEN 900
1470 TL(Z4) = ZT
1480 GOTO 760
1490 IF (TL(Z4) - ZT) < 0.1 THEN 900
1500 TL(Z4) = ZT
1510 GOTO 760
1520 F = FM(Z4) * LM(Z4) + F
1530 B = B + BM(Z4)
1540 MA = MA + MP(Z4)
1550 NEXT Z4
1560 F = F / ZX
1570 B = B / 12
1580 MA = MA / 12
1590 PRINT "PENDIENTE PROMEDIO DE LA GRAFICA "¿MA
1600 PRINT "ORDENADA AL ORIGEN DE LA GRAFICA=" ¿,B
1610 PRINT "% ANUAL QUE PROPORCIONA LA ENERGIA SOLAR=" ¿;F
1620 END

```

JUN SOLAR BOSQUES
ANGEL AGUERREBERE
TESIS PROFESIONAL

RENDIMIENTO DE UN CALENTADOR DE AGUA SOLAR PARA USO DOMESTICO
UBICACION: BOSQUES DE LAS LOMAS, D.F.
CARGA DE CALOR MES 1 =4.2573416E+09

f MES 1 =1.08718327
PENDIENTE MES 1 =-6.94706667
ORDENADA MES 1 =.782736975

CARGA DE CALOR MES 2 =3.8453408E+09

f MES 2 =1.13893359
PENDIENTE MES 2 =-6.89062235
ORDENADA MES 2 =.784071124

CARGA DE CALOR MES 3 =4.153504E+09

f MES 3 =1.11754078
PENDIENTE MES 3 =-7.04494031
ORDENADA MES 3 =.784441028

CARGA DE CALOR MES 4 =3.718056E+09

f MES 4 =1.091976
PENDIENTE MES 4 =-7.12820906
ORDENADA MES 4 =.782875203

CARGA DE CALOR MES 5 =3.5304784E+09

f MES 5 =1.04195992
PENDIENTE MES 5 =-7.24311024
ORDENADA MES 5 =.779638973

CARGA DE CALOR MES 6 =3.51708E+09

f MES 6 =.97127141
PENDIENTE MES 6 =-7.15388461
ORDENADA MES 6 =.777260918

CARGA DE CALOR MES 7 =3.634316E+09

f MES 7 =.918631364
PENDIENTE MES 7 =-7.11021423
ORDENADA MES 7 =.778448101

CARGA DE CALOR MES 8 =3.9458288E+09

f MES 8 =.989143904
PENDIENTE MES 8 =-6.90543701
ORDENADA MES 8 =.781816264

CARGA DE CALOR MES 9 =3.718056E+09

f MES 9 =1.03821734
PENDIENTE MES 9 =-7.06750688
ORDENADA MES 9 =.784128866

CARGA DE CALOR MES 10 =4.153504E+09

f MES 10 =1.04317446
PENDIENTE MES 10 =-6.89616385
ORDENADA MES 10 =.784363128

CARGA DE CALOR MES 11 =4.01952E+09

f MES 11 =1.09042394
PENDIENTE MES 11 =-6.93152378
ORDENADA MES 11 =.78314655

CARGA DE CALOR MES 12 =4.3611792E+09

f MES 12 =.976414471
PENDIENTE MES 12 =-6.8555082
ORDENADA MES 12 =.782135091

PENDIENTE PROMEDIO DE LA GRAFICA -7.0145156
ORDENADA AL ORIGEN DE LA GRAFICA= .782088519
% ANUAL QUE PROPORCIONA LA ENERGIA SOLAR= 1.04324384

LOAD SOLAR UNAM
LIST 10,450

```

10 REM SISTEMA PLANTA SOLAR UNAM
20 HOME
30 PRINT "ANGEL AGUERREBERE"
40 PRINT "TESIS PROFESIONAL"
50 PRINT : PRINT "RENDIMIENTO DE UN CALENTADOR DE AGUA SOLAR PARA USO DO
MESTICO"
60 PRINT "UBICACION: PLANTA SOLAR, CIUDAD UNIVERSITARIA, D.F."
70 DIM G(12),GB(12),GD(12)
80 DIM HD(31),TA(31)
90 DIM DM(12),MP(12),TL(12),UT(12),US(12),UL(12),FR(12),HT(12),TP(12),X(
12),Y(12),FM(12)
100 DIM T3(12),DT(12),ND(12),LM(12),TF(12),TE(12),V(12),HV(12),FC(12),M(
12)
110 DIM BM(12)
120 ZX = 0
130 LT = 1
140 NT = 10
150 Q = 600
160 TF(1) = 19:TF(2) = 19:TF(3) = 20:TF(4) = 23:TF(5) = 26:TF(6) = 25:TF(
7) = 25:TF(8) = 22:TF(9) = 23:TF(10) = 20:TF(11) = 20:TF(12) = 18
170 ZL = 200
180 S = 5.6697E - 8
190 PI = 3.141592654
200 DR = PI / 180
210 NN = 1 / 1.5
220 K = 0.32
230 A = 1
240 T1 = 100
250 N = 2
260 EG = 0.88
270 KA = 0.054
280 L = 0.11
290 RD = 0.16
300 DA = 0.000889
310 KC = 67
320 WT = 0.1
330 D = 0.007
340 DI = D - 0.001
350 WD = (WT - D) / 2
360 HF = 900
370 CP = 1947
380 TW = 60
390 RA = 1000
400 PH = 19.43
410 PH = PH * DR
420 BE = 19.4
430 G(1) = 672:G(2) = 751:G(3) = 785:G(4) = 771:G(5) = 757:G(6) = 664:G(7
) = 621:G(8) = 674
440 G(9) = 674:G(10) = 663:G(11) = 663:G(12) = 562
450 GB(1) = 507:GB(2) = 570:GB(3) = 587:GB(4) = 560:GB(5) = 544:GB(6) = 4
42

```

LIST 460,900

```

460 GB(7) = 393:GB(8) = 450:GB(9) = 457:GB(10) = 464:GB(11) = 491:GB(12) =
    386
470 DJ = 0.5
480 AL = 0.95
490 GO = 15
500 GO = GO * DR
510 EP = 0.95
520 GM = 0.02
530 GA = 0.02
540 AM = 1400 / A
550 X1 = (AM / 75) ^ - 0.25
560 UB = KA / L
570 DT(1) = 2.86E6:DT(3) = DT(1):DT(5) = DT(1):DT(7) = DT(1):DT(8) = DT(1
    ):DT(10) = DT(1):DT(12) = DT(1)
580 DT(2) = 2.42E6:DT(4) = 2.59E6:DT(6) = DT(4):DT(9) = DT(4):DT(11) = DT
    (4)
590 ND(1) = 31:ND(3) = ND(1):ND(5) = ND(1):ND(7) = ND(1):ND(8) = ND(1):ND
    (10) = ND(1):ND(12) = ND(1)
600 ND(2) = 28:ND(4) = 30:ND(6) = ND(4):ND(9) = ND(4):ND(11) = ND(4)
610 UU = 1 - ((BE - 45) * (0.00259 - (0.00144 * EP)))
620 BE = BE * DR
630 TE(1) = 11.8:TE(2) = 12.7:TE(3) = 15.8:TE(4) = 17.4:TE(5) = 18.3:TE(6
    ) = 18.2:TE(7) = 17.7:TE(8) = 17.8:TE(9) = 17.6:TE(10) = 15.8:TE(11)
    = 13.4:TE(12) = 12.3
640 V(1) = 1.4:V(2) = 1.5:V(3) = 1.8:V(4) = 1.3:V(5) = 1:V(6) = 1.3:V(7) =
    1.4:V(8) = 1.4:V(9) = 1.2:V(10) = 1.4:V(11) = 1.2:V(12) = 1.1
650 Z9 = 0
660 FOR Z4 = 1 TO 12
670 GD(Z4) = G(Z4) - GB(Z4)
680 HV(Z4) = 5.7 + 3.8 * V(Z4)
690 FC(Z4) = ((1 - 0.04 * HV(Z4) + 5E - 4 * (HV(Z4) ^ 2)) * (1 + 0.058 *
    N))
700 TL(Z4) = TE(Z4) + 10
710 TE(Z4) = TE(Z4) + 273
720 TL(Z4) = TL(Z4) + 273
730 UT(Z4) = ((1 / HV(Z4)) + (N / ((344 / TL(Z4)) * ((TL(Z4) - TE(Z4)) /
    (N + FC(Z4))) ^ 0.31))) ^ - 1
740 UT(Z4) = UT(Z4) + (S * (TL(Z4) + TE(Z4)) * (TL(Z4) ^ 2 + TE(Z4) ^ 2) /
    (- N + (EP + 0.00435 * (1 - EP)) ^ - 1 + ((2 * N + FC - 1) / EG)))
750 US(Z4) = UU * UT(Z4)
760 UL(Z4) = US(Z4) + UB
770 M(Z4) = SQR(UL(Z4) / (KC * DA))
780 Z5 = WD * M(Z4)
790 EF = (EXP(Z5) - EXP(-Z5)) / (EXP(Z5) + EXP(-Z5))
800 EF = EF / Z5
810 FE = (1 / UL(Z4)) / (WT * ((1 / UL(Z4)) * (D + ((WT - D) * EF)))) + (
    1 / (PI * DI * HF)))
820 Z6 = (GA * CP) / UL(Z4)
830 FR(Z4) = Z6 * (1 - EXP(-FE / Z6))
840 TL(Z4) = TL(Z4) - 273
850 IF (ZT - TL(Z4)) < 1 THEN 1260
860 Z = 0:ZB = 0:ZT = 0
870 FOR Z7 = 1 TO ND(Z4)
880 Z9 = Z9 + 1
890 DS = 23.45 * SIN(360 * (284 + Z9) * DR / 365)
900 IF DS > 23.45 THEN 930

```

¿LIST 910,1350

```

910 IF DS < - 23.45 THEN 930
920 GOTO 950
930 PRINT "ERROR EN LA DECLINACION SOLAR=" ;DS
940 GOTO 1300
950 DS = DS * DR
960 ZB = SIN (DS) * SIN (PH) * COS (BE) - SIN (DS) * COS (PH) * SIN
      (BE) * COS (GO) + COS (DS) * COS (PH) * COS (BE) + COS (DS) * SIN
      (PH) * SIN (BE) * COS (GO)
970 TH = ATN (( SQR (1 - ZB ^ 2)) / ZB)
980 Z0 = SIN (PH) * SIN (DS) + COS (DS) * COS (PH)
990 TZ = ATN (( SQR (1 - Z0 ^ 2)) / Z0)
1000 RB = COS (TH) / COS (TZ)
1010 HD(Z7) = GB(Z4) * RB + GD(Z4)
1020 HD(Z7) = HD(Z7) * 86400
1030 Z = Z - HD(Z7)
1040 ZA = NN * SIN (TH)
1050 T2 = ATN (ZA / ( SQR (1 - ZAA ^ 2)))
1060 ZM = T2 + TH
1070 ZE = T2 - TH
1080 RH = ( SIN (ZE) ^ 2 / SIN (ZM) ^ 2) + ( TAN (ZE) ^ 2 / TAN (ZM) ^
      2)
1090 RH = RH * 0.5
1100 TR = (1 - RH) / (1 + (2 * N - 1) * RH)
1105 N = 2
1110 TS = EXP (- 1 * K * DV / ( COS (TZ)))
1120 T = TR * TS
1130 TA(Z7) = (T * AL) / (1 - (1 - AL) * RD)
1140 ZB = ZB + TA(Z7)
1150 NEXT Z7
1160 HT(Z4) = Z / ND(Z4)
1170 TP(Z4) = ZB / ND(Z4)
1180 TE(Z4) = TE(Z4) - 273
1190 Q = FR(Z4) * (HT(Z4) * TP(Z4) - UL(Z4) * (TF(Z4) - TE(Z4))) / (60 *
      60 * 24)
1200 PRINT
1210 MP(Z4) = - UL(Z4)
1220 PRINT "PENDIENTE MES "Z4" ="MP(Z4)
1230 BM(Z4) = TP(Z4)
1240 PRINT "ORDENADA MES "Z4" ="BM(Z4): PRINT
1250 GOTO 1350
1260 T3(Z4) = TF(Z4) + ((Q / (UL(Z4) * FR(Z4))) * (1 - FR(Z4) / FE))
1270 ZT = T3(Z4) + (Q * A) / (HF * PI * DI * NT * LT)
1280 IF TL(Z4) > ZT THEN 1320
1290 IF (ZT - TL(Z4)) < 0.1 THEN 860
1300 TL(Z4) = ZT
1310 GOTO 720
1320 IF (TL(Z4) - ZT) < 0.1 THEN 860
1330 TL(Z4) = ZT
1340 GOTO 720
1350 B = B + BM(Z4)

```

¿LIST 1360,

1360 MA = MA + MP(24)

1370 NEXT Z4

1380 B = B / 12

1390 MA = MA / 12

1400 PRINT "PENDIENTE PROMEDIO DE LA GRAFICA ";MA

1410 PRINT "ORDENADA AL ORIGEN DE LA GRAFICA ";B

1420 END

¿RUN SOLAR UNAM
ANGEL AGUERREBERE
TESIS PROFESIONAL

RENDIMIENTO DE UN CALENTADOR DE AGUA SOLAR PARA USO DOMESTICO
UBICACION: PLANTA SOLAR, CIUDAD UNIVERSITARIA, D.F.

PENDIENTE MES 1 =-3.88254215
ORDENADA MES 1 =.64802318

PENDIENTE MES 2 =-3.81094344
ORDENADA MES 2 =.650947866

PENDIENTE MES 3 =-3.84839713
ORDENADA MES 3 =.652511453

PENDIENTE MES 4 =-3.9041605
ORDENADA MES 4 =.651973613

PENDIENTE MES 5 =-3.95099068
ORDENADA MES 5 =.64957918

PENDIENTE MES 6 =-3.92341842
ORDENADA MES 6 =.647538346

PENDIENTE MES 7 =-3.89922397
ORDENADA MES 7 =.64857817

PENDIENTE MES 8 =-3.79697458
ORDENADA MES 8 =.6512612

PENDIENTE MES 9 =-3.84755885
ORDENADA MES 9 =.652574437

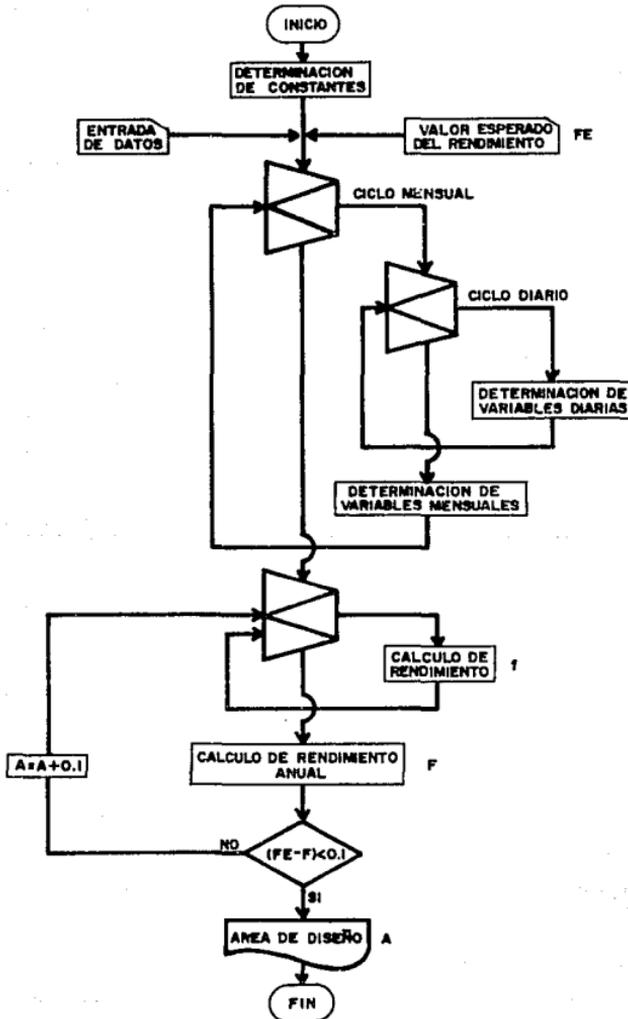
PENDIENTE MES 10 =-3.7886602
ORDENADA MES 10 =.651693155

PENDIENTE MES 11 =-3.80638252
ORDENADA MES 11 =.648912925

PENDIENTE MES 12 =-3.76465873
ORDENADA MES 12 =.646703161

PENDIENTE PROMEDIO DE LA GRAFICA -3.8519876
ORDENADA AL ORIGEN DE LA GRAFICA .650024724

DIAGRAMA DE FLUJO PROGRAMA DE DISEÑO



¿LOAD DISEÑO SOLAR
¿LIST 10,440

```

10 HOME
20 PRINT "ANGEL AGUERREBERE": PRINT "TESIS PROFESIONAL": PRINT
30 PI = 3.141592654
40 PRINT "REVISAR EN EL LISTADO LOS VALORES INICIALES DE DISEÑO"
50 DIM G(12),GB(12),GD(12),HT(12),X(12),Y(12),FM(12),DT(12),ND(12),LM(12
),TF(12),TE(12),FR(12)
60 DIM HD(31)
70 PI = 3.141592654
80 DR = PI / 180
90 INPUT "DIME EL VALOR ESPERADO DE F ";FS
100 INPUT "DIME LA PENDIENTE M=-UL ";M
110 INPUT "DIME LA ORDENADA B=(TA)n ";B
120 IF M = 0 THEN M = - 4.96
130 IF B = 0 THEN B = .741
140 M = - M
150 INPUT "AREA INICIAL ";A
160 F = 0
170 INPUT "DIME LA LATITUD DEL LUGAR ";PH
180 IF PH = 0 THEN PH = 19.43
190 PH = PH * DR
200 T1 = 100
210 INPUT "DIME LA INCLINACION DEL COLECTOR ";BE
220 BE = BE * DR
230 INPUT "DIME LA ORIENTACION CON RESPECTO AL SUR ";GO
240 GO = GO * DR
250 DT(1) = 2.86E6:DT(3) = DT(1):DT(5) = DT(1):DT(7) = DT(1):DT(8) = DT(1
):DT(10) = DT(1):DT(12) = DT(1):DT(2) = 2.42E6:DT(4) = 2.59E6:DT(6) =
DT(4):DT(9) = DT(4):DT(11) = DT(4)
260 ND(1) = 31:ND(3) = ND(1):ND(5) = ND(1):ND(7) = ND(5):ND(8) = ND(1):ND
(10) = ND(1):ND(12) = ND(1):ND(2) = 28:ND(4) = 30:ND(6) = ND(4):ND(9
) = ND(4):ND(11) = ND(4)
270 KC = 386
280 DA = 0.000889
290 WT = 0.108
300 D = 0.127
310 WD = (WT - D) / 2
320 HF = 900
330 D = 0.127
340 DI = D - 0.00127
350 CP = 4187
360 GM = 0.02
370 INPUT "DIME EL NUMERO DE PERSONAS ";NP
380 ZX = 0
390 CP = 4187
400 TW = 60
410 Z9 = 0
420 G(1) = 672:G(2) = 751:G(3) = 785:G(4) = 771:G(5) = 757:G(6) = 644:G(7
) = 621:G(8) = 674:G(9) = 674:G(10) = 663:G(11) = 663:G(12) = 562
430 GB(1) = 507:GB(2) = 570:GB(3) = 587:GB(4) = 560:GB(5) = 560:GB(6) = 4
42:GB(7) = 393:GB(8) = 450:GB(9) = 457:GB(10) = 464:GB(11) = 491:GB(
12) = 386
440 TF(1) = 19:TF(2) = 19:TF(3) = 20:TF(4) = 23:TF(5) = 26:TF(6) = 25:TF(
7) = 25:TF(8) = 22:TF(9) = 23:TF(10) = 20:TF(11) = 20:TF(12) = 18

```

LIST 450,970

```

450 TE(1) = 11.8;TE(2) = 12.7;TE(3) = 15.8;TE(4) = 17.4;TE(5) = 18.3;TE(6
) = 18.2;TE(7) = 17.7;TE(8) = 17.8;TE(9) = 17.6;TE(10) = 15.8;TE(11)
= 13.4;TE(12) = 12.3
460 MM = SQR (M / (KC * DA))
470 GA = GM / A
480 FOR Z4 = 1 TO 12
490 GD(Z4) = G(Z4) - GB(Z4)
500 ZZ = 0
510 LM(Z4) = ND(Z4) * 100 * CP * (TW - TF(Z4)) * NP
520 ZX = ZX + LM(Z4)
530 FOR Z7 = 1 TO ND(Z4)
540 Z9 = Z9 + 1
550 DS = 23.45 * SIN (360 * (284 + Z9) * DR / 365)
560 IF DS > 23.45 THEN 590
570 IF DS < - 23.45 THEN 590
580 GOTO 610
590 PRINT "ERROR EN LA DECLINACION SOLAR=" DS
600 GOTO 1040
610 DS = DS * DR
620 Z8 = SIN (DS) * SIN (PH) * COS (BE) - SIN (DS) * COS (PH) * SIN
(BE) * COS (GO) + COS (DS) * COS (PH) * COS (BE) + COS (DS) * SIN
(PH) * SIN (BE) * COS (GO)
630 TH = ATN (( SQR (1 - Z8 ^ 2) ) / Z8)
640 Z0 = SIN (PH) * SIN (DS) + COS (DS) * COS (PH)
650 T2 = ATN (( SQR (1 - Z0 ^ 2) ) / Z0)
660 RB = COS (TH) / COS (T2)
670 HD(Z7) = GB(Z4) * RB + GD(Z4)
680 HD(Z7) = HD(Z7) * 86400
690 ZZ = ZZ + HD(Z7)
700 NEXT Z7
710 HT(Z4) = ZZ / ND(Z4)
720 Z5 = WD * MM
730 EF = ( EXP (Z5) - EXP (- Z5) ) / ( EXP (Z5) + EXP (- Z5) )
740 EF = EF / Z5
750 FE = (1 / M) / (WT * ((1 / (M * (D + ((WT - D) * EF)))) + (1 / (PI *
DI * HF))))
760 Z6 = (GA * CP) / M
770 FR(Z4) = Z6 * (1 - EXP (- FE / Z6))
780 NEXT Z4
790 FOR Z = 1 TO 12
800 X(Z) = A * FR(Z) * M * (T1 - TE(Z)) * DT(Z) / LM(Z)
810 Y(Z) = A * FR(Z) * B * HT(Z) * ND(Z) / LM(Z)
820 X2 = (11.6 + 1.18 * TW + 3.86 * TF(Z) - 2.32 * TE(Z)) / (100 - TE(Z))
830 X(Z) = X2 * X(Z)
840 IF X(Z) < 0 THEN 890
850 IF X(Z) > 18 THEN 890
860 IF Y(Z) < 0 THEN 890
870 IF Y(Z) > 3 THEN 890
880 GOTO 950
890 PRINT "ERROR EN LAS VARIABLES ADIMENSIONALES"
900 PRINT "X("Z")= "X(Z)" Y("Z")= "Y(Z)
910 GF
920 FM(Z) = 1.029 * Y(Z) - 0.065 * X(Z) - 0.245 * Y(Z) ^ 2 + 0.0018 * X(Z)
^ 2 + 0.0215 * Y(Z) ^ 3
930 F = FM(Z) * LM(Z) + F
940 NEXT Z
950 F = F / ZX
960 IF (FS - F) < 0.1 THEN 1010
970 PRINT : PRINT "FS="FS" F="F" A="A

```

¿LIST 980,

980 PRINT

990 A = A + 0.1

1000 GOTO 790

1010 PRINT ; PRINT "FS="FS" F="F" A="A

1020 PRINT "AREA DE CAPTACION (m2) "A

1030 PRINT "VOLUMEN DE ALMACENAMIENTO DE DISERO (1) "A * 75

1040 END

9110 GOTO 140

¿RUN DISEÑO SOLAR
ANGEL AGUERREBERE
TESIS PROFESIONAL
REVISAR EN EL LISTADO LOS VALORES INICIALES DE DISEÑO
DIME EL VALOR ESPERADO DE F 0.9
DIME LA PENDIENTE $M = -UL$ 0
DIME LA ORDENADA $B = (TA)_n$ 0
AREA INICIAL 1
DIME LA LATITUD DEL LUGAR 0
DIME LA INCLINACION DEL COLECTOR 30
DIME LA ORIENTACION CON RESPECTO AL SUR 15
DIME EL NUMERO DE PERSONAS 7

FS=.9 F=.339829648 A=1

FS=.9 F=.369871467 A=1.1

FS=.9 F=.399230262 A=1.2

FS=.9 F=.427914419 A=1.3

FS=.9 F=.455932325 A=1.4

FS=.9 F=.483292365 A=1.5

FS=.9 F=.510002926 A=1.6

FS=.9 F=.536072397 A=1.7

FS=.9 F=.561509163 A=1.8

FS=.9 F=.586321611 A=1.9

FS=.9 F=.610518127 A=2

FS=.9 F=.634107099 A=2.1

FS=.9 F=.657096913 A=2.2

FS=.9 F=.679495955 A=2.3

FS=.9 F=.701312613 A=2.4

FS=.9 F=.722555273 A=2.5

FS=.9 F=.743232321 A=2.6

FS=.9 F=.763352145 A=2.7

114

FS=.9 F=.782923132 A=2.8

FS=.9 F=.801953664 A=2.9

AREA DE CAPTACION (m2) 2.9

VOLUMEN DE ALMACENAMIENTO DE DISEÑO (1) 217.5

¿? CORRIDA DE DISEÑO PARA TLALPAN CON LOS DATOS DEL FABRICANTE
CORRIDA DE DISEÑO PARA TLALPAN CON LOS DATOS DEL FABRICANTE

¿RUN DISEÑO SOLAR
ANGEL AGUERREBERE
TESIS PROFESIONAL

REVISA EN EL LISTADO LOS VALORES INICIALES DE DISEÑO

DIME EL VALOR ESPERADO DE F 0.9

DIME LA PENDIENTE $M = -UL -6.889$

DIME LA ORDENADA $B = (TA)n 0.781$

ÁREA INICIAL 1

DIME LA LATITUD DEL LUGAR 0

DIME LA INCLINACION DEL COLECTOR 30

DIME LA ORIENTACION CON RESPECTO AL SUR 15

DIME EL NUMERO DE PERSONAS 7

FS=.9 F=.3420264 A=1

FS=.9 F=.372008197 A=1.1

FS=.9 F=.401260468 A=1.2

FS=.9 F=.429792689 A=1.3

FS=.9 F=.457614334 A=1.4

FS=.9 F=.48473488 A=1.5

FS=.9 F=.51111638 A=1.6

FS=.9 F=.536910571 A=1.7

FS=.9 F=.561984668 A=1.8

FS=.9 F=.586395566 A=1.9

FS=.9 F=.610152739 A=2

FS=.9 F=.633265663 A=2.1

FS=.9 F=.655743813 A=2.2

FS=.9 F=.677596665 A=2.3

FS=.9 F=.698833693 A=2.4

FS=.9 F=.719464373 A=2.5

FS=.9 F=.73949818 A=2.6

FS=.9 F=.758944589 A=2.7

FS=.9 F=.777813074 A=2.8

FS=.9 F=.796113112 A=2.9

FS=.9 F=.813854178 A=3

AREA DE CAPTACION (m2) 3

VOLUMEN DE ALMACENAMIENTO DE DISEÑO (1) 225

¿?"CORRIDA DE DISEÑO PARA TLALPAN CON LOS DATOS DE SIMULACION"
CORRIDA DE DISEÑO PARA TLALPAN CON LOS DATOS DE SIMULACION