



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

03045
3
Zej

ANÁLISIS POR COMPUTADORA DE SISTEMAS SOLARES PARA CALENTAMIENTO DE FLUIDOS

Tesina que presenta Elías Olechnowicz Fridman para obtener el diploma de:

ESPECIALISTA EN HELIODISEÑO

1995



Posgrado en Energía Solar
de la
Unidad Académica de los Ciclos
Profesional y de Posgrado del
Colegio de Ciencias y Humanidades

División de Estudios de Posgrado de la
Facultad de Arquitectura, UNAM



FALLA DE ORIGEN



Universidad Nacional
Autónoma de México



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.

SINODALES:

ING. RODOLFO MARTINEZ STREVEL

DR. JOSE DIEGO MORALES RAMIREZ

M. EN ING. ALBERTO VALDES PALACIOS

DR. RAUL REYES REYNOSO

DR. AGUSTIN MUHLIA VELAZQUEZ

A MI FAMILIA

**A TODAS AQUELLAS PERSONAS
QUE CON SU GUIA, ALIENTO Y
APOYO HICIERON POSIBLE LA
REALIZACION DEL PRESENTE
TRABAJO**

I N D I C E

Capítulo 1.-	INTRODUCCION	
1.1	Aspectos generales de la energía solar-----	01
1.2	Ventajas del uso de la energía solar respecto a los sistemas convencionales de generación de energía-----	03
1.3	Descripción del trabajo realizado-----	06
Capítulo 2.-	METODO DE CALCULO UTILIZADO	
2.1	Descripción-----	08
2.2	Irradiación global diaria, promedio mensual, sobre un plano inclinado y orientado hacia el sur -----	09
2.3	Irradiación global diaria, promedio mensual, sobre un plano inclinado, con un ángulo acimutal respecto al sur-----	11
2.4	Irradiación solar horaria, sobre un plano inclinado y orientado hacia el sur-----	14
2.5	Colector solar plano. Análisis óptico-----	16
2.6	Colector solar plano. Análisis térmico -----	20
2.7	Almacenamiento de agua en el termotanque -----	28
Capítulo 3.-	CALCULO DE LOS COLECTORES SOLARES PLANOS PARA UNA LAVANDERIA EN LA CIUDAD DE MEXICO	
3.1	Descripción-----	29
3.2	Parámetros climatológicos-----	31
3.3	Irradiación global diaria, promedio mensual, sobre un plano inclinado y orientado hacia el sur -----	38
3.4	Irradiación solar horaria sobre un plano inclinado y orientado hacia el sur-----	42
3.5	Colectores solares planos. Análisis óptico-----	57
3.6	Colectores solares planos. Análisis térmico -----	61

Capítulo 4.-	RESULTADOS OBTENIDOS	
4.1	Aspectos generales del cálculo de los colectores solares -----	69
4.2	Sistema solar a emplear en la lavandería-----	80
4.3	Aspectos generales del sistema solar a utilizar-----	81
Capítulo 5.-	ANÁLISIS ECONOMICO	
5.1	Análisis comparativo de las 2 alternativas -----	84
Capítulo 6.-	CONCLUSIONES	
6.1	Aspectos generales del trabajo realizado -----	92
6.2	Perspectivas del uso de la energía solar en México -----	94
	REFERENCIAS-----	95

CAPITULO I

INTRODUCCION

1.1 Aspectos generales de la energía solar.

El avance de la civilización humana se encuentra relacionado con el consumo de energía.

Una sociedad de consumo existe a costa de los recursos naturales de la Tierra, como por ejemplo los combustibles almacenados los cuales no son infinitos.

En 1950, e incluso anteriormente, se tuvo la preocupación por la limitación en la disponibilidad de los combustibles fósiles. Existen variaciones de criterio en cuanto a la cantidad real de dichos combustibles fósiles existentes, y su duración para ser utilizados por la humanidad. Sin embargo, dado el actual consumo de energía, y tomando en consideración la creciente tendencia de su demanda en el futuro, parece ser que las reservas de gas natural y petróleo se agotarán entre los próximos 50 y 75 años, en tanto que las reservas de carbón podrán durar unos 350 años [2].

En 1974 se tuvo una muestra de economía no creciente forzada por la escasez del petróleo. Como se observa, las presiones políticas pueden provocar una rápida crisis de energía. Por otro lado, a medida que las reservas disminuyen y la demanda del producto aumenta, éste resulta mucho más valioso.

Es de tomarse en consideración que la tecnología actual está basada en combustibles existentes en cantidades finitas, lo cual podría llegar a significar una restricción de dicha tecnología en el futuro aun en contra de nuestra voluntad.

Por lo tanto, se ha puesto especial atención a nivel mundial en la investigación de fuentes alternas de energía para mantener un equilibrio y mejorar nuestro nivel de vida.

Una fuente alterna de energía es la energía solar, que de hecho es la fuente primaria de distintos tipos de energía terrestre. Por ejemplo, el carbón, el petróleo y la energía hidráulica, se derivan de la energía solar. La porción mínima de la energía total del sol que intercepta la Tierra hizo vivir y crecer en épocas remotas las plantas y animales de los que se derivaron el carbón y el petróleo que hoy utilizamos; la energía solar mantiene constantemente activo el ciclo del agua en la atmósfera, del cual depende la generación de energía hidráulica.

En estos momentos en que el costo de la energía está alcanzando un nivel normal y cada vez es menos frecuente descubrir nuevos recursos petroleros, los países

industrializados están poniendo en marcha intensos programas de investigación en el campo de la energía solar. Por ejemplo, la Energy and Research Development Administration (ERDA) de los Estados Unidos de America tuvo un presupuesto de 115 millones de dólares para el ejercicio económico de 1976. La Agencia Internacional de la Energía (AIE), también ha realizado proyectos en esta esfera [5].

Los hidrocarburos siguen siendo el principal energético en la mayor parte del mundo. En el caso de México, más del 80% de las fuentes energéticas primarias provienen de hidrocarburos (carbón, petróleo, gas natural), los cuales son recursos no renovables que contribuyen a la contaminación del ambiente [4].

La energía solar total que llega a la Tierra es suficiente para cubrir las necesidades energéticas de toda la población mundial; técnicamente es factible su utilización para reemplazar la energía que ahora se obtiene a través de recursos naturales no renovables. Debido a que el costo de los colectores y aparatos solares es alto, la energía solar no se utiliza actualmente excepto en casos muy concretos en los que si es rentable.

La abundante energía solar existente en México puede solucionar problemas actuales, impactando de manera importante en la economía, al poderse transformar los rayos solares en diversos tipos de energía (como por ejemplo, energía calorífica o eléctrica) para ser aplicada en distintas áreas, de manera coordinada con la utilización razonable de los recursos naturales que se emplean con tal fin, para poder gozar de un mejor desarrollo ecológico. Es decir, se pretende la utilización de energéticos que contemplen un mínimo de contaminación.

El éxito de las investigaciones referentes a la transformación de la energía solar en distintos tipos de energía útiles para el hombre y su respectiva aplicación, puede ser de vital importancia para la humanidad.

1.2 Ventajas del uso de la energía solar respecto a los sistemas convencionales de generación de energía.

Algunos métodos de aprovechamiento de la energía solar han llegado a una fase de desarrollo en la que pueden competir en el terreno económico con métodos de aprovechamiento de fuentes tradicionales de energía. Países en desarrollo que se encuentran en regiones soleadas, deben de estar interesados en desarrollar técnicas de aprovechamiento de la energía solar, la cual es gratuita, inagotable, ya que se puede esperar que el Sol continuará radiando energía durante varios billones de años [6], no plantea problemas de transporte, en regiones soleadas no presenta problemas de distribución y no contamina el medio ambiente. Se puede convertir en energía mecánica, eléctrica o química para utilizarla en diversas esferas, como la producción de electricidad, la desalación de agua, el bombeo de agua, el riego, la electrificación de cercas, la cocina, la conservación de alimentos por refrigeración, el secado de productos de la pesca, de frutas y verduras, el calentamiento de agua, la generación de vapor, calefacción y aire acondicionado en locales, en las comunicaciones, usos industriales, como podrían ser lavanderías, tintorerías, hospitales, baños públicos, en algunos procesos agrícolas, la industria del refresco, por mencionar algunas de sus aplicaciones.

El uso de hidrocarburos como fuentes de energía presentan una serie de inconvenientes, entre los que se cuentan:

a. Contaminación del medio ambiente.

El impacto ambiental debido a la producción y uso de hidrocarburos toma distintas formas: contamina la tierra, tiene efectos sobre el agua y envenena el aire con distintos gases nocivos para la salud de las personas. Además afecta a los distintos organismos terrestres y acuáticos, así como a la vegetación.

Las gasolinas que utilizan los motores de los vehículos y los hidrocarburos utilizados para generar energía en las industrias contaminan de manera importante el medio ambiente.

b. Cambios en el medio ambiente mundial.

Las actividades del hombre han provocado cambios climatológicos locales; la energía que actualmente se requiere producir en el mundo es del orden de 1/20,000 de la energía solar recibida por la tierra; resulta inverosímil que la energía utilizada por el hombre sea suficiente por sí misma para producir cambios perjudiciales en el medio ambiente mundial [7].

La emisión de gases de las plantas industriales ha aumentado la reflexión de los rayos solares en la atmósfera, el polvo en el aire, cambios en la humedad y la temperatura del medio ambiente.

La combustión de gasolinas ha incrementado la concentración de dióxido de carbono en la atmósfera. Puesto que las partículas del dióxido de carbono en la atmósfera absorben la radiación infrarroja de la tierra, se forma una red que sobrecalienta la Tierra. Se proyecta un incremento de dióxido de carbono en la atmósfera para el año 2000. Lo anterior tiene como efecto el sobrecalentamiento de la Tierra mencionado anteriormente, así como sequías, deshielo, cambios en el nivel del mar y cambios en los modelos de circulación mundial de los vientos.

El nitrógeno de la atmósfera reacciona con compuestos que son producto de la actividad humana, teniendo un alto potencial maléfico para la salud de las personas.

c. Efectos en la salud de las personas debidos a la contaminación del medio ambiente.

Dependiendo de la concentración de los distintos contaminantes en la atmósfera, se producen diversos efectos en la salud de las personas:

- fatiga, afectándose la actividad diaria de las personas;
- decremento de la capacidad atlética;
- dolor de cabeza;
- mareos;
- irritación de los ojos y de la piel;
- aumento en la propensión de infecciones y enfermedades;
- dolor del pecho;
- problemas respiratorios;
- daños en los pulmones;
- enfermedades del corazón;
- daños cerebrales;
- vejez prematura;
- muerte prematura.

Los sistemas solares para la generación de energía, representan una serie de ventajas con otros sistemas convencionales de producción de energía:

- el energético primario (el Sol) se encuentra disponible en mayor o menor grado en el lugar de aplicación;
- no se requiere de las reservas finitas de hidrocarburos;
- no contamina;
- se evitan cambios atmosféricos mundiales;
- no produce ruido;
- se requiere de poco mantenimiento;
- la transportación de los sistemas es sencilla;
- la instalación de los sistemas es sencilla; el personal técnico no requiere de preparación profesional.

Se puede destacar como principal desventaja de los sistemas solares para la generación de energía el que se requiere de una inversión inicial alta; sin embargo, actualmente en algunas aplicaciones los sistemas solares resultan más rentables que otros sistemas de generación convencional, los cuales tienen gastos de combustibles, operación y mantenimiento.

1.3 Descripción del trabajo realizado.

La tesina pretende mostrar una aplicación innovadora en México para el uso de colectores solares, buscando la economía de dichos sistemas.

Se ha escogido a una lavandería tipo en la Ciudad de México para llevar a cabo dicho análisis numérico.

La lavandería tipo objeto del presente análisis consta de los siguientes equipos:

1. Seis lavadoras comerciales, con capacidad de hasta 6 kg. de ropa seca.
2. Dos tómbolas secadoras, con capacidad de hasta 14 kg. de ropa seca por carga.
3. Un calentador de agua, con calentamiento a base de gas.
4. Un sistema hidroneumático.

Se pretende implementar a la lavandería un equipo solar con objeto de tener un ahorro en el consumo de combustibles.

El trabajo que se presenta se limita a llevar a cabo el análisis correspondiente al ahorro en el consumo de combustibles que se tiene al utilizar los equipos solares, tomando como base el cálculo del sistema solar que se ha elaborado a base de colectores solares planos y termotanque, bajo la información que me fué proporcionada por distribuidores de equipos para lavanderías. De tal manera se han dividido los capítulos de la tesina de la siguiente manera:

Capítulo 2. Se presenta de una manera ordenada el método de cálculo utilizado para la obtención de la irradiación global diaria promedio mensual sobre un plano inclinado y orientado hacia el sur, la irradiación global diaria promedio mensual sobre un plano inclinado con un ángulo acimutal dado, la irradiación solar horaria sobre un plano inclinado y orientado hacia el sur, el análisis óptico de los colectores solares planos, el análisis térmico del colector solar plano, el cálculo del área de colectores requerida y el cálculo del volumen de almacenamiento en el termotanque.

Capítulo 3. Se lleva a cabo el análisis numérico bajo la secuencia de cálculo mostrada en el capítulo 2, con objeto de determinar el sistema solar a utilizar para la lavandería.

Capítulo 4. Aprovechando el programa de cómputo desarrollado, se modifican algunas de las variables que intervienen en el cálculo del sistema solar, observándose las variaciones en el área de colector requerida. Se determina el sistema solar comercial bajo el cual se hace el análisis económico.

Capítulo 5. Se elabora un análisis económico comparativo de las dos alternativas, así como la evaluación económica del proyecto para un período de cinco años.

Capítulo 6. El último capítulo de la tesina se dedica a las conclusiones generales del trabajo realizado, así como a las perspectivas que se tienen en México para el uso de la energía solar.

CAPITULO 2

METODO DE CALCULO UTILIZADO

2.1 Descripción.

Para poder entender la manera como se llega a determinar un sistema solar para calentamiento de agua, se ha integrado de una manera ordenada la secuencia de cálculo para especificar los colectores solares y termotanque que forman parte de dicho sistema.

El capítulo se encuentra dividido en las siguientes secciones:

- 2.2 Irradiación global diaria, promedio mensual, sobre un plano inclinado y orientado hacia el sur;
- 2.3 Irradiación global diaria, promedio mensual, sobre un plano inclinado, con un ángulo acimutal respecto al sur;
- 2.4 Irradiación solar horaria, sobre un plano inclinado y orientado hacia el sur;
- 2.5 Colector solar plano. Análisis óptico;
- 2.6 Colector solar plano. Análisis térmico;
- 2.7 Almacenamiento de agua en el termotanque.

Se presenta una serie de relaciones detalladas referentes a la notación utilizada para las distintas variables que intervienen en las diferentes etapas del cálculo, así como la definición de dichas variables y sus unidades, haciéndose notar la posibilidad de modificar las unidades de acuerdo a las equivalencias que convenga manejar.

En seguida a las relaciones de la notación utilizada, se encuentra una relación ordenada de fórmulas las cuales forman parte de la secuencia de cálculo utilizada tanto para la obtención de las irradiaciones, como en los análisis numéricos del colector solar.

Es importante mencionar que se ha empleado la notación tradicional [9,11]. Al estudiar dicha notación, hay que observar que un mismo símbolo puede variar de significado de una sección a otra.

La secuencia de cálculo presentada para el análisis numérico del colector, es para un panel con una capa de vidrio, que es el propuesto para la lavandería.

2.2 Irradiación global diaria, promedio mensual, sobre un plano inclinado y orientado hacia el sur.

NOTACION

Variable	Definición	Unidades
H_T	Irradiación solar global incidente sobre un plano inclinado	MJ/m ² día
H_o	Irradiación extraterrestre	MJ/m ² día
K_T	Factor de claridad	adimensional
R	Relación entre la radiación global sobre un plano inclinado y la radiación global sobre un plano horizontal	adimensional
I_{sc}	Constante solar	MJ/m ² hr *
n	Número del día en el año de 365 días ($n=1,2,\dots,365$)	adimensional
ϕ	Latitud	grados
δ	Declinación	grados
ω_s	Angulo horario en el ocaso	grados
H	Irradiación global diaria, promedio mensual, en un plano horizontal	MJ/m ² día
H_b	Irradiación directa diaria, promedio mensual	MJ/m ² día
H_d	Irradiación difusa diaria, promedio mensual	MJ/m ² día
s	Inclinación del plano respecto a la horizontal	grados
ρ	Reflectividad del piso (albedo)	adimensional

* $I_{sc} = 1,367 \text{ W/m}^2$

$$(1,367 \text{ J/s m}^2 \times 1 \text{ MJ}/1,000,000 \text{ J} \times 3,600 \text{ s/hr} = 4.9212 \text{ MJ/m}^2 \text{ hr}) \quad [11]$$

SECUENCIA DE CALCULO

$$1. H_T = H_0 K_T R$$

$$2. H_0 = \frac{24}{\pi} I_{sc} \left\{ \left[1 + 0.033 \cos \left(\frac{360n}{365} \right) \right] \left[\cos \phi \cos \delta \sin \omega_s + \frac{2\pi \omega_s}{360} \sin \phi \sin \delta \right] \right\}$$

$$3. \cos \omega_s = -\tan \phi \tan \delta$$

$$4. \delta = 23.45 \sin \left(360 \times \frac{284 + n}{365} \right) \quad \text{Ecuación de Cooper [9,11]}$$

$$5. K_T = \frac{H}{H_0}$$

$$6. R = \frac{H_T}{H} = \left(1 - \frac{H_d}{H} \right) R_b + \frac{H_d}{H} \frac{1 + \cos s}{2} + \frac{(1 - \cos s) \rho}{2}$$

$$7. R_b = \frac{\cos(\phi - s) \cos \delta \sin \omega'_s + \frac{\pi}{180} \omega'_s \sin(\phi - s) \sin \delta}{\cos \phi \cos \delta \sin \omega_s + \frac{\pi}{180} \omega_s \sin \phi \sin \delta}$$

8. ω'_s = el valor mínimo de las siguientes expresiones:

$$a) \omega_s = \cos^{-1} [-\tan \phi \tan \delta]$$

$$b) W = \cos^{-1} [-\tan(\phi - s) \tan \delta]$$

$$9. \frac{H_d}{H} = 1.39 - 4.027 K_T + 5.531 K_T^2 - 3.108 K_T^3 \quad \text{Expresión de Liu y Jordan [9,11]}$$

2.3 Irradiación global diaria, promedio mensual, sobre un plano inclinado, con un ángulo acimutal respecto al sur.

NOTACION

Variable	Definición	Unidades
ω_{ss}	Angulo horario a la puesta del sol	grados
ω_{sr}	Angulo horario a la salida del sol	grados
γ	Angulo acimutal respecto al sur a. Al sur, $\gamma = 0^\circ$ b. Al este, $\gamma < 0^\circ$ c. Al oeste, $\gamma > 0^\circ$	grados

* La notación utilizada en la sección 2.2 es la misma para la sección 2.3.

SECUENCIA DE CALCULO

1. $H_T = H_0 K_T R$
2. H_0 : se calcula de igual manera que en un plano orientado hacia el sur
3. K_T : se calcula de igual manera que en un plano orientado hacia el sur

$$4. R = \frac{H_T}{H} = \left(1 - \frac{H_d}{H}\right) R_b + \frac{H_d}{H} \frac{1 + \cos s}{2} + \frac{(1 - \cos s) \rho}{2}$$

$$5. \frac{H_d}{H} = 1.39 - 4.027 K_T + 5.531 K_T^2 - 3.108 K_T^3$$

$$6. R_b = \left\{ (\cos s \sin \delta \sin \phi) \frac{\pi}{180} (\omega_{ss} - \omega_{sr}) \right. \\ - (\sin \delta \cos \phi \sin s \cos \gamma) \frac{\pi}{180} (\omega_{ss} - \omega_{sr}) \\ + (\cos \phi \cos \delta \cos s) (\sin \omega_{ss} - \sin \omega_{sr}) \\ + (\cos \delta \cos \gamma \sin \phi \sin s) (\sin \omega_{ss} - \sin \omega_{sr}) \\ \left. - (\cos \delta \sin s \sin \gamma) (\cos \omega_{ss} - \cos \omega_{sr}) \right\} \\ / \left\{ 2 \left(\cos \phi \cos \delta \sin \omega_s + \frac{\pi}{180} \omega_s \sin \phi \sin \delta \right) \right\}$$

Expresión de Klein [11]

7. Valores de ω_{sr} y ω_{ss} :

Cuando $\gamma < 0$

$$\omega_{sr} = \text{el valor m\u00ednimo de } \left[\omega_s ; \cos^{-1} \left(\frac{AB + \sqrt{A^2 - B^2 + 1}}{A^2 + 1} \right) \right]$$

$$\omega_{ss} = \text{el valor m\u00ednimo de } \left[\omega_s ; \cos^{-1} \left(\frac{AB - \sqrt{A^2 - B^2 + 1}}{A^2 + 1} \right) \right]$$

Cuando $\gamma > 0$

$$\omega_{sr} = \text{el valor m\u00ednimo de } \left[\omega_s ; \cos^{-1} \left(\frac{AB - \sqrt{A^2 - B^2 + 1}}{A^2 + 1} \right) \right]$$

$$\omega_{ss} = \text{el valor m\u00ednimo de } \left[\omega_s ; \cos^{-1} \left(\frac{AB + \sqrt{A^2 - B^2 + 1}}{A^2 + 1} \right) \right]$$

8. $A = \cos \phi / (\text{sen } \gamma \tan s) + (\text{sen } \phi / \tan \gamma)$

9. $B = \tan \delta [\cos \phi / \tan \gamma - \text{sen } \phi / (\text{sen } \gamma \tan s)]$

2.4 Irradiancia solar horaria, sobre un plano inclinado y orientado hacia el sur.

NOTACION

Variable	Definición	Unidades
H	Irradiación global diaria	MJ/m ² día
H _d	Irradiación difusa diaria	MJ/m ² día
H _h	Irradiación global horaria	MJ/m ² hr
H _{dh}	Irradiación difusa horaria	MJ/m ² hr
H _{Th}	Irradiación total horaria, en un plano inclinado hacia el sur	MJ/m ² hr
s	Inclinación del plano respecto a la horizontal	grados
R _b	Se toma el factor obtenido cuando $\gamma = 0^\circ$	adimensional
ω	Angulo horario (mediodía solar = 0°)	grados
ω_s	Angulo horario en el ocaso	grados

SECUENCIA DE CALCULO

Irradiación horaria sobre un plano horizontal.

$$1. \quad r_d = \frac{H_{dh}}{H_d}$$

$$2. \quad \frac{H_d}{H} \times H = H_d$$

$$3. \quad H_b = H - H_d$$

$$4. \quad r_d = \frac{\pi}{24} \times \frac{\cos \omega - \cos \omega_s}{\sin \omega_s - \omega_s \cos \omega_s}$$

$$5. \quad \omega_s = \cos^{-1}(-\tan \phi \tan \delta)$$

$$6. \quad H_{dh} = r_d H_d$$

$$7. \quad r_G = \frac{H_h}{H}$$

$$8. \quad r_G = \frac{\pi}{24} (a + b \cos \omega) \frac{\cos \omega - \cos \omega_s}{\sin \omega_s - \omega_s \cos \omega_s}$$

$$9. \quad a = 0.409 + 0.5016 \sin(\omega_s - 60^\circ)$$

$$10. \quad b = 0.6609 - 0.4767 \sin(\omega_s - 60^\circ)$$

$$11. \quad H_h = r_G H$$

$$12. \quad H_{bh} = H_h - H_{dh}$$

Irradiación horaria sobre un plano inclinado.

$$13. \quad H_{Th} = (H_h - H_{dh})R_b + H_{dh} \frac{1 + \cos s}{2} + H_b \frac{(1 - \cos s) \rho}{2} \quad \text{Expresión de Liu y Jordan}$$

[9,11]

2.5 Colector solar plano. Análisis óptico.

NOTACION

Variable	Definición	Unidades
H	Irradiación global diaria en un plano horizontal	MJ/m ² día
HR	Irradiación solar global horaria incidente sobre un plano inclinado	MJ/m ² hr
τ	Transmisión total de la radiación solar en la cubierta del colector	adimensional
$\tau_{r,n}$	Transmisión de la radiación solar para "n" cubiertas, sin considerar la absorción	adimensional
τ_a	Transmisión de la radiación solar, considerando la absorción	adimensional
ρ	Reflexión	adimensional
n	Número de cubiertas	Cubierta
I_r	Radiación reflejada	W/m ²
I_o	Radiación incidente	W/m ²
θ_1	Angulo de incidencia de la radiación solar respecto a la vertical	grados
θ_2	Angulo de refracción de la radiación solar respecto a la vertical	grados
n_1	Indice de refracción del aire limpio (1.0)	adimensional
n_2	Indice de refracción de la cubierta de vidrio (1.526)	adimensional
I_L	Radiación transmitida	W/m ²
I_o	Radiación incidente	W/m ²

NOTACION

Variable	Definición	Unidades
K	Coefficiente de extinción	cm ⁻¹
L	Trayectoria recorrida de la radiación solar (espesor del vidrio)	cm
($\tau \alpha$)	Transmisión y absorción de la energía solar en la placa plana del colector	adimensional
α	Absorción solar por parte de la placa	adimensional
ρ_d	Reflexión difusa a un ángulo de 60°: Cuando n=1, $\rho_d=0.16$ Cuando n=2, $\rho_d=0.24$ Cuando n=3, $\rho_d=0.29$ Cuando n=4, $\rho_d=0.32$ (n=número de cubiertas del colector)	adimensional
($\tau \alpha)_e$	Transmisión y absorción efectiva de la energía solar en la placa plana del colector	adimensional
a_i	Relación del coeficiente total de pérdidas y el coeficiente de pérdidas entre la cubierta "i" y los alrededores	adimensional
$s=HR(\tau \alpha)$	Cantidad de energía solar que absorbe la placa	MJ/m ² hr
δ	Declinación	grados
ϕ	Latitud	grados
s	Inclinación del plano respecto a la horizontal	grados
γ	Angulo acimutal	grados
ω	Angulo horario	grados

SECUENCIA DE CALCULO

1. H: la irradiación global en el plano horizontal se obtiene de tablas y mapas [13,14]
2. HR: se obtiene del programa de computadora para el cálculo de la irradiación solar en el plano inclinado

Angulo de incidencia de la irradiancia solar respecto a la superficie del colector.

$$3. \cos \theta_1 = + \sin \delta \sin \phi \cos s \\ - \sin \delta \cos \phi \sin s \cos \gamma \\ + \cos \delta \cos \phi \cos s \cos \omega \\ + \cos \delta \sin \phi \sin s \cos \gamma \cos \omega \\ + \cos \delta \sin s \sin \gamma \sin \omega$$

Transmision (τ)

$$4. \tau = \tau_r \times \tau_a$$

$$5. \tau_{r,n} = \frac{1 - \rho}{1 + (2n - 1)\rho}$$

$$6. \rho = \frac{I_r}{I_o} = \frac{1}{2} \left[\frac{\sin^2(\theta_2 - \theta_1)}{\sin^2(\theta_2 + \theta_1)} + \frac{\tan^2(\theta_2 - \theta_1)}{\tan^2(\theta_2 + \theta_1)} \right]$$

$$7. \theta_2 = \sin^{-1} \left(\frac{n_1 \sin \theta_1}{n_2} \right) \quad \text{Ley de Snell} \quad [9,11]$$

$$8. \rho_{(0^\circ)} = \left[\frac{(n - 1)}{(n + 1)} \right]^2$$

(Para incidencia normal $\theta_1 = \theta_2 = 0^\circ$, con un indice de refraccion del aire $n = 1$)

$$9. \tau_a = \frac{I_a}{I_o} = e^{-nKL/\cos \theta_2}$$

Absorción de la energía solar en la placa plana del colector

$$10. (\tau \alpha) = \frac{\tau \alpha}{1 - (1 - \alpha)\rho_d} \quad [9,11]$$

Absorción efectiva de la energía solar en la placa plana del colector

$$11. (\tau \alpha)_e = (\tau \alpha) + (1 - \tau_a) \sum_{i=1}^n a_i \tau^{i-1} \quad [9,11]$$

Radiación absorbida por la placa

$$12. s = HR(\tau \alpha) \quad [9,11]$$

2.6 Colector solar plano. Análisis térmico.

NOTACION

Variable	Definición	Unidades
ε_p	Emisividad de la placa	adimensional
a_i	Relación del coeficiente total de pérdidas y el coeficiente de pérdidas entre la cubierta "i" y los alrededores	adimensional
n	Número de cubiertas	Cubierta
n	a_i $\varepsilon_p=0.95$ $\varepsilon_p=0.90$ $\varepsilon_p=0.50$ $\varepsilon_p=0.10$	
1	a_1 0.27 0.26 0.21 0.13	
2	a_1 0.15 0.146 0.12 0.09 a_2 0.62 0.61 0.53 0.40	
3	a_1 0.14 0.13 0.08 0.06 a_2 0.45 0.44 0.40 0.31 a_3 0.75 0.74 0.67 0.53	
U_L	Coefficiente global de pérdidas de calor en el colector	$W/m^2 \text{ } ^\circ K$
U_T	Coefficiente de pérdidas de calor por la parte superior del colector	$W/m^2 \text{ } ^\circ K$
U_b	Coefficiente de pérdidas de calor por la parte inferior del colector (aislante)	$W/m^2 \text{ } ^\circ K$
v	Velocidad del viento	m/s
T_a	Temperatura ambiente	$^\circ K, \text{ } ^\circ C$
T_p	Temperatura de la placa	$^\circ K, \text{ } ^\circ C$

NOTACION

Variable	Definición	Unidades
k	Conductividad térmica del aislante poliuretano $k=0.024 \text{ W/m } ^\circ\text{K}$ lana mineral $k=0.035 \text{ W/m } ^\circ\text{K}$ fibra de vidrio $k=0.030-0.036 \text{ W/m } ^\circ\text{K}$	$\text{W/m } ^\circ\text{K}$
L	Espesor del aislante	m
s	Inclinación del colector	grados
ϵ_v	Emisividad del vidrio	adimensional
T_c	Temperatura de la cubierta	$^\circ\text{K}, ^\circ\text{C}$
σ	Constante de Stefan Boltzman $(5.6697 \times 10^{-8} \text{ W/m}^2 \text{ } ^\circ\text{K}^4)$	$\text{W/m}^2 \text{ } ^\circ\text{K}^4$
$h_{r\text{-p-c1}}$	Pérdidas de radiación entre la placa y la cubierta no. 1	$\text{W/m}^2 \text{ } ^\circ\text{K}$
$h_{p\text{-c1}}$	Pérdidas de convección entre la placa y la cubierta no. 1	$\text{W/m}^2 \text{ } ^\circ\text{K}$
T_m	Temperatura media	$^\circ\text{K}$
α	$100/T_m$	$1/^\circ\text{K}$
N_u	Número de Nusselt	adimensional
L'	Separación entre las placas	m
p	Presión atmosférica	atmósfera
$h_{r\text{-c-a}}$	Pérdidas de radiación entre la cubierta y el ambiente	$\text{W/m}^2 \text{ } ^\circ\text{K}$
F	Factor de aleta	adimensional
F'	Factor de eficiencia	adimensional

NOTACION

Variable	Definición	Unidades
F_R	Factor de remoción de calor	adimensional
W	Separación de los tubos del colector (de centro a centro)	m
D	Diámetro de la tubería	m
δ	Espesor de la placa	m
k	Conductividad térmica de la aleta	W/m °K
D_i	Diámetro interior del tubo	m
h_f	Coefficiente de transferencia de calor por convección dentro del tubo	W/m ² °K
C_b	Conductancia de la unión entre placa y tubo	W/m °K
k	Conductividad térmica de la unión	W/m °K
b	Longitud de la unión	m
γ	Espesor de la unión	m
G	Gasto másico por unidad de superficie de colector	kg/s m ²
C_p	Calor específico del fluido	J/kg °C
\dot{m}	Flujo másico	kg/s
A	Area del colector	m ²
Q_u	Calor útil	MJ
σ	Aportación solar	%

NOTACION

Variable	Definición	Unidades
n_L	Pérdidas de calor a través de todo el sistema (0.10)	%

SECUENCIA DE CALCULO

Absorción efectiva de la energía solar en la placa plana del colector

$$1. (\tau \alpha)_e = (\tau \alpha) + (1 - \tau_a) \sum_{i=1}^n a_i \tau^{i-1}$$

Energía solar que absorbe la placa

$$2. s = HR(\tau \alpha)_e$$

Cálculo del coeficiente global de pérdidas de calor en el colector
(método iterativo)

Datos de entrada:

$n, T_a, T_p, v, k, L, s, \epsilon_p, \epsilon_v, T_c$ inicial (supuesta)

$$3. h_{r,p-c_i} = \frac{\sigma (T_p + T_{c_i}) (T_p^2 + T_{c_i}^2)}{\frac{1}{\epsilon_p} + \frac{1}{\epsilon_v} - 1}$$

Las pérdidas por convección se calculan por medio del método de Hollands [9,11]

$$4. T_m = \frac{T_p + T_c}{2}, \text{ } ^\circ\text{K} \quad 250^\circ\text{K} \leq T_m \leq 500^\circ\text{K}$$

$$5. \alpha = \frac{100}{T_m}$$

$$6. R_a = 2,737 (1 + 2\alpha)^2 \alpha^4 \Delta T (100L)^3 p^2 \quad 0.01 \text{ atm.} \leq p \leq 1 \text{ atm.}$$

Si ($s < 70^\circ$) y $\left(\frac{\text{largo del colector}}{\text{separación entre 2 placas del colector}} > 20 \right)$, entonces:

$$7. N_u = 1.00 + 1.44 \left[1 - \frac{1708}{R_s \cos s} \right]^* \left\{ 1 - \frac{1708 [\sin 1.8 (s)]^{1.6}}{R_s \cos s} \right\} + \left[\left(\frac{R_s \cos s}{5830} \right)^{1/3} - 1 \right]^*$$

Cuando el valor correspondiente al parentesis []* es negativo, se considera igual a 0.

$$8. k = \frac{0.002528 T_m^{3/2}}{T_m + 200}, \quad 0.01 \text{ atm.} \leq p \leq 1 \text{ atm.} \quad L' > 1 \text{ mm}$$

$$9. h_{p-c_1} = \frac{N_u k}{L}$$

$$10. h_{r-c-a} = \varepsilon_v \sigma (T_c^2 + T_a^2) (T_c + T_a)$$

$$11. h_w = 5.7 + 3.8 v$$

$$12. U_T = \frac{1}{\frac{1}{h_{rp-c_1} + h_{p-c_1}} + \frac{1}{h_{rc-a} + h_w}}$$

$$13. T_c = T_p - \frac{U_T (T_p - T_a)}{h_{p-c} + h_{rp-c}}$$

$$14. U_b = \frac{k}{L}$$

$$15. U_L = U_T + U_b$$

Factor de aleta, factor de eficiencia y factor de remoción de calor del colector.

Factor de aleta del colector "F".

$$16. F = \frac{\text{Tan h } m \frac{(W - D)}{2}}{m \frac{(W - D)}{2}}$$

$$17. m = \sqrt{\frac{U_L}{k \delta}}$$

Factor de eficiencia del colector "F'".

$$18. F' = \frac{\frac{1}{U_L}}{W \left\{ \frac{1}{U_L [D + (W - D) F]} + \frac{1}{C_b} + \frac{1}{\pi D_i h_f} \right\}}$$

$$19. C_b = \frac{k b}{\gamma}$$

Factor de remoción de calor "F_R".

$$20. F_R = \frac{G C_p}{U_L} \left(1 - e^{-[U_L F / G C_p]} \right)$$

$$21. G = \frac{\dot{m}}{A}$$

Calor útil.

$$22. Q_U = A F_R [HR (\tau \alpha)_e - U_L (T_e - T_a)]$$

Eficiencia para un sólo calentador.

$$23. \eta_D = \frac{\sum Q_U}{A \sum HR}$$

Carga térmica diaria..

$$24. Q_L = m C_p \Delta T$$

Cálculo del área de captación.

$$25. \text{Número de colectores} = \frac{\sigma Q_L}{Q_U (1 - n_L)}$$

$$26. A_c = \frac{\sigma Q_L}{\eta_D \sum HR (1 - n_L)}$$

2.7 Almacenamiento de agua en el termotanque.

La intermitencia natural de la radiación solar, aunada a la diferente distribución insolación-carga térmica, conduce necesariamente a usar sistemas de almacenamiento de energía térmica (SAET) en aplicaciones solares, los cuales se utilizan a menudo en equipos de calentamiento de agua.

Durante el período de insolación se recibe cierta cantidad de energía en el sistema de captación, la cual se transforma en calor útil, Q_u . Durante determinados períodos, Q_u excede la carga térmica requerida y se genera un exceso de energía disponible que se almacena, para que cuando la carga térmica sea mayor que Q_u , se satisfaga los requerimientos térmicos necesarios.

El volumen de almacenamiento de agua caliente recomendable fluctúa entre los 50 y los 100 l/m² de superficie de colector [10].

En el capítulo 3 se determina el factor de aportación solar y el volumen de almacenamiento de agua en el termotanque en base a la recomendación anterior.

CAPITULO 3

CALCULO DE LOS COLECTORES SOLARES PLANOS PARA UNA LAVANDERIA EN LA CIUDAD DE MEXICO

3.1 Descripción.

Para poder llevar a cabo el cálculo de los colectores solares planos, es indispensable contar con los parámetros climatológicos de la Ciudad de México. Con tal objeto se recurrió al Servicio Meteorológico Nacional, Estación de Tacubaya, para la obtención de la información que se presenta relacionada con los parámetros mensuales de la temperatura media, humedad relativa media, insolación total, velocidad media del viento y los días nublados.

Respecto al promedio mensual de la irradiación global diaria, se muestra una tabla comparativa entre los valores considerados por el Instituto de Ingeniería y el Instituto de Geofísica, encontrándose pequeñas diferencias entre ambos Institutos, que para fines prácticos no afectan los resultados que se obtienen en el trabajo presentado.

El Instituto de Ingeniería muestra la irradiación global diaria para distintas ciudades de la República Mexicana, en promedio anual y para cada mes del año, con base en datos meteorológicos de 1941 a 1980, usando el modelo de Jeevananda Reddy [13]. El Instituto de Geofísica presenta los datos medidos de radiación solar en la estación de Ciudad Universitaria, D.F. para el año de 1990 [14].

Para el cálculo de las irradiaciones y del colector solar plano, se han considerado los parámetros presentados por el Instituto de Geofísica, ya que su información es más reciente que la del Instituto de Ingeniería, además de ser datos medidos.

Las temperaturas horarias, promedio mensual, han sido calculadas por medio del método que se anexa al cálculo [11].

Tomando como base la secuencia de cálculo presentada en el capítulo anterior, se ha calculado la irradiación global diaria promedio mensual sobre un plano inclinado y orientado hacia el sur, así como la irradiación solar horaria sobre un plano inclinado y orientado hacia el sur, información que es usada en los análisis óptico y térmico de los colectores solares.

En las gráficas correspondientes a la irradiación total horaria para la Ciudad de México, con un ángulo acimutal de 0° y una inclinación de 19.4° , se observa que durante el mes de febrero se presenta la mayor irradiación durante el año, y durante el mes de julio se presenta la menor irradiación. Por lo tanto, se han escogido ambos meses para el cálculo de los colectores solares.

En base a los datos de irradiancia total horaria para los meses de Febrero y Julio, se obtienen las curvas de frecuencia acumulada, en las cuales se muestra el número de horas durante el día en las que la irradiancia es igual o mayor al valor indicado. Dichas curvas se obtienen sumando el número de horas en las que se cuenta con una irradiancia mayor o igual a la indicada en la tabla que se presenta.

De una manera similar se obtienen las curvas de energía disponible, es decir, sumando los valores de irradiación disponible iguales o mayores a determinado nivel crítico de irradiancia.

Se toman como base de los consumos de agua en la lavandería tipo en la Ciudad de México los que me fueron proporcionados por distribuidores de maquinaria para lavanderías; de tal manera, se cuenta con la siguiente información:

1. Temperatura requerida para las lavadoras: $40^{\circ}\text{C} - 60^{\circ}\text{C}$ [8,10]

2. Consumo de agua para una lavadora:

- agua caliente para ropa blanca:

19.2 galones/ciclo X 3.7854 lts/galón-----72.7 lts

- agua tibia para ropa de color:

9.6 galones/ciclo X 3.7854 lts/galón-----36.3 lts

Se consideran ciclos de lavado de 1/2 hora, combinándose de tal manera el lavado de ropa blanca y ropa de color, por lo que el consumo de agua caliente horario es de 109 litros.

El consumo máximo diario es de $109 \text{ litros/hora} \times 8 \text{ horas/día} = 872 \text{ litros/día}$ [8].

El factor de aportación solar considerado es de 50%.

Es de tomarse en consideración que en muchos días no se utilizará la lavandería a su máxima capacidad; es decir, hay que tomar en cuenta el que las 6 lavadoras no se usarán simultáneamente durante las 8 horas del día. Por tal motivo pueden existir días en los que toda el agua caliente de las lavadoras sea suministrada por el sistema solar, incrementándose el factor de aportación solar a un 100%, considerando la utilización real del equipo.

Bajo el criterio anterior se evita sobrediseñar el sistema solar, pretendiendo que trabaje a su máxima capacidad.

El volumen de agua a almacenar en el termotanque será de 60 l/m^2 de superficie de colector, tomando en cuenta el factor de aportación solar considerado.

3.2 PARAMETROS CLIMATOLOGICOS.

Ciudad de México
Estación de Tacubaya
Año: 1992
Latitud: 19° 24'
Longitud: 99° 12'
Altura: 2,308 M.S.N.M.

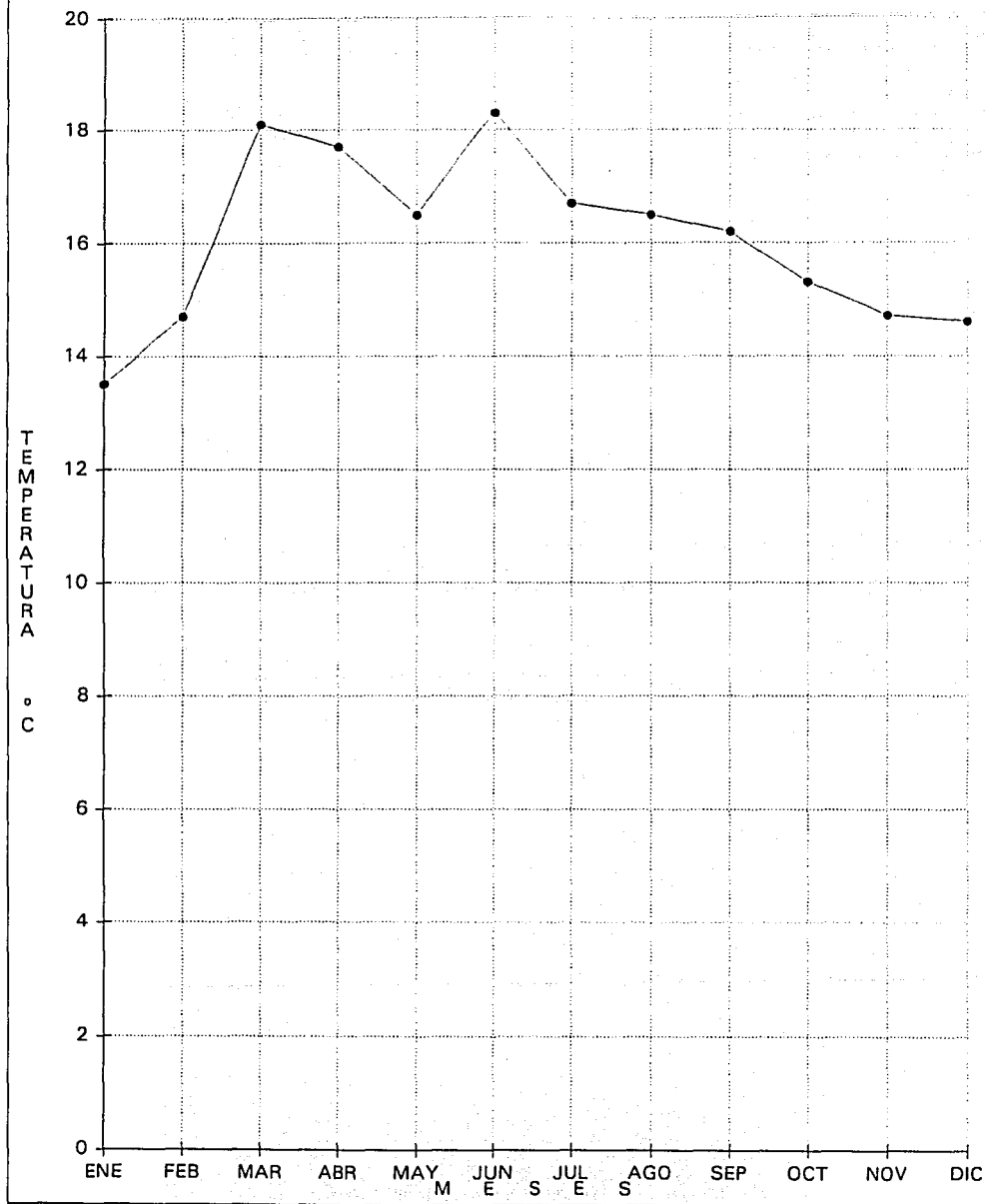
MESES	TEMPERATURA MEDIA (°C)	HUMEDAD RELATIVA MEDIA (%)	HORAS DE INSOLACION TOTAL	VELOCIDAD MEDIA DEL VIENTO (M/S)	DIAS NUBLADOS
Enero	13.5	58	161.90	2.5	14
Febrero	14.7	46	246.77	2.5	5
Marzo	18.1	47	254.07	2.6	5
Abril	17.7	46	200.02	3.0	15
Mayo	16.5	63	159.50	2.9	19
Junio	18.3	58	228.40	2.7	0
Julio	16.7	67	158.50	2.7	19
Agosto	16.5	71	154.02	3.1	0
Septiembre	16.2	70	134.22	3.1	21
Octubre	15.3	68	145.55	2.1	21
Noviembre	14.7	67	147.93	1.8	14
Diciembre	14.6	60	230.25	2.0	3
Promedio	16.1	60.08	185.09	2.6	11

NOTA:

La información presentada en ésta tabla se obtuvo en el Servicio Meteorológico Nacional, estación de Tacubaya, en la Ciudad de México.
Tarjetas de resumen mensual y anual números 1,13,15,24 y 26 para la estación de Tacubaya, D.F. [12]

CIUDAD DE MEXICO

TEMPERATURA MEDIA
(°C)



NOTA: TEMPERATURA DEL BULBO SECO.

TEMPERATURAS HORARIAS - PROMEDIO MENSUAL (grados cent/grados)
 AÑO: 1992
 CIUDAD DE MEXICO

$$T(h) = T_{min} + Y(h)(T_{max} - T_{min}) \quad [11]$$

	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
T.max.	19.5	22.6	26.3	24.6	23.3	25.9	23.8	23.5	22.5	21.7	21.4	21.5
T.min.	8.7	8.3	11.5	11.8	11.6	13.6	12.5	12.6	12.4	10.9	9.9	8.9

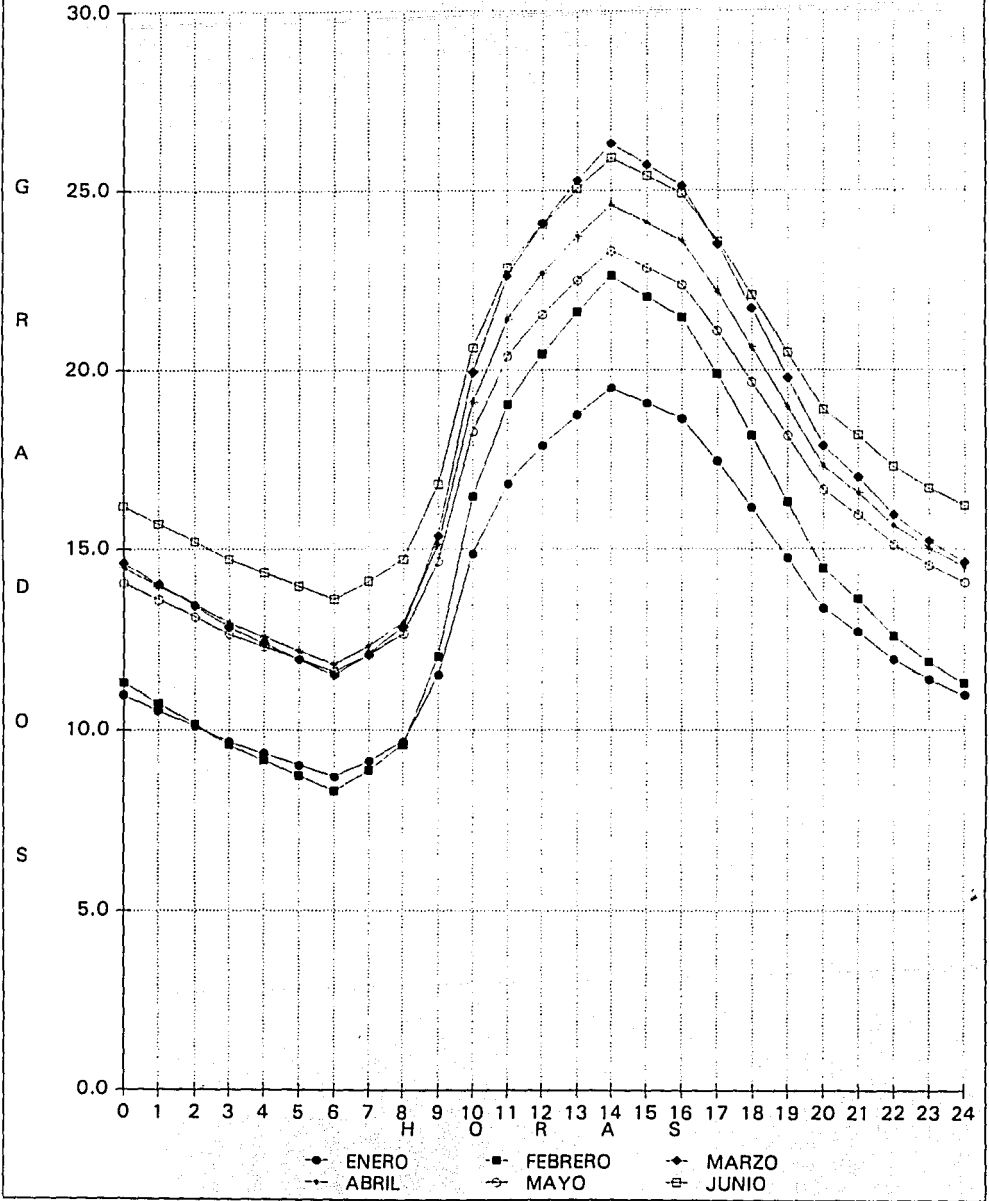
HORA	M			E			S			E			S			Y(h)
	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC				
0	11.0	11.3	14.6	14.5	14.1	16.2	14.9	14.9	14.5	13.2	12.3	11.5	0.21			
1	10.5	10.7	14.0	14.0	13.6	15.7	14.4	14.5	14.1	12.7	11.9	11.0	0.17			
2	10.1	10.2	13.4	13.5	13.1	15.2	14.0	14.0	13.7	12.3	11.4	10.5	0.13			
3	9.7	9.6	12.8	13.0	12.7	14.7	13.5	13.6	13.3	11.9	10.9	10.0	0.09			
4	9.3	9.2	12.4	12.6	12.3	14.3	13.2	13.3	13.0	11.5	10.6	9.7	0.06			
5	9.0	8.7	11.9	12.2	12.0	14.0	12.8	12.9	12.7	11.2	10.2	9.3	0.03			
6	8.7	8.3	11.5	11.8	11.6	13.6	12.5	12.6	12.4	10.9	9.9	8.9	0.00			
7	9.1	8.9	12.1	12.3	12.1	14.1	13.0	13.0	12.8	11.3	10.4	9.4	0.04			
8	9.7	9.6	12.8	13.0	12.7	14.7	13.5	13.6	13.3	11.9	10.9	10.0	0.09			
9	11.5	12.0	15.3	15.1	14.6	16.8	15.4	15.4	15.0	13.7	12.9	12.2	0.26			
10	14.9	16.5	19.9	19.1	18.3	20.6	18.9	18.8	18.2	17.1	16.5	16.1	0.57			
11	16.8	19.0	22.6	21.4	20.4	22.8	21.0	20.8	20.0	19.0	18.5	18.4	0.75			
12	17.9	20.5	24.1	22.7	21.5	24.1	22.1	21.9	21.0	20.1	19.7	19.6	0.85			
13	18.7	21.6	25.3	23.7	22.5	25.0	23.0	22.7	21.8	20.9	20.6	20.6	0.93			
14	19.5	22.6	26.3	24.6	23.3	25.9	23.8	23.5	22.5	21.7	21.4	21.5	1.00			
15	19.1	22.0	25.7	24.1	22.8	25.4	23.3	23.1	22.1	21.3	20.9	21.0	0.96			
16	18.6	21.5	25.1	23.6	22.4	24.9	22.9	22.6	21.7	20.8	20.5	20.5	0.92			
17	17.4	19.9	23.5	22.2	21.1	23.6	21.7	21.4	20.6	19.6	19.2	19.1	0.81			
18	16.2	18.2	21.7	20.6	19.7	22.1	20.3	20.1	19.4	18.4	17.8	17.6	0.69			
19	14.7	16.3	19.8	19.0	18.2	20.5	18.8	18.7	18.1	16.9	16.3	16.0	0.56			
20	13.3	14.4	17.9	17.3	16.6	18.9	17.4	17.3	16.7	15.5	14.8	14.3	0.43			
21	12.7	13.6	17.0	16.5	15.9	18.2	16.7	16.6	16.1	14.9	14.2	13.6	0.37			
22	11.9	12.6	15.9	15.6	15.1	17.3	15.9	15.9	15.4	14.1	13.4	12.7	0.30			
23	11.4	11.9	15.2	15.0	14.5	16.7	15.3	15.3	14.9	13.6	12.8	12.1	0.25			
24	11.0	11.3	14.6	14.5	14.1	16.2	14.9	14.9	14.5	13.2	12.3	11.5	0.21			

NOTA:

La temperaturas máximas y mínimas presentadas, se obtuvieron en el Servicio Meteorológico Nacional, estación de Tacubaya, en la Ciudad de México. Tarjetas de resumen mensual y anual números 7 y 8 para la estación de Tacubaya, D.F. [12]

CIUDAD DE MEXICO

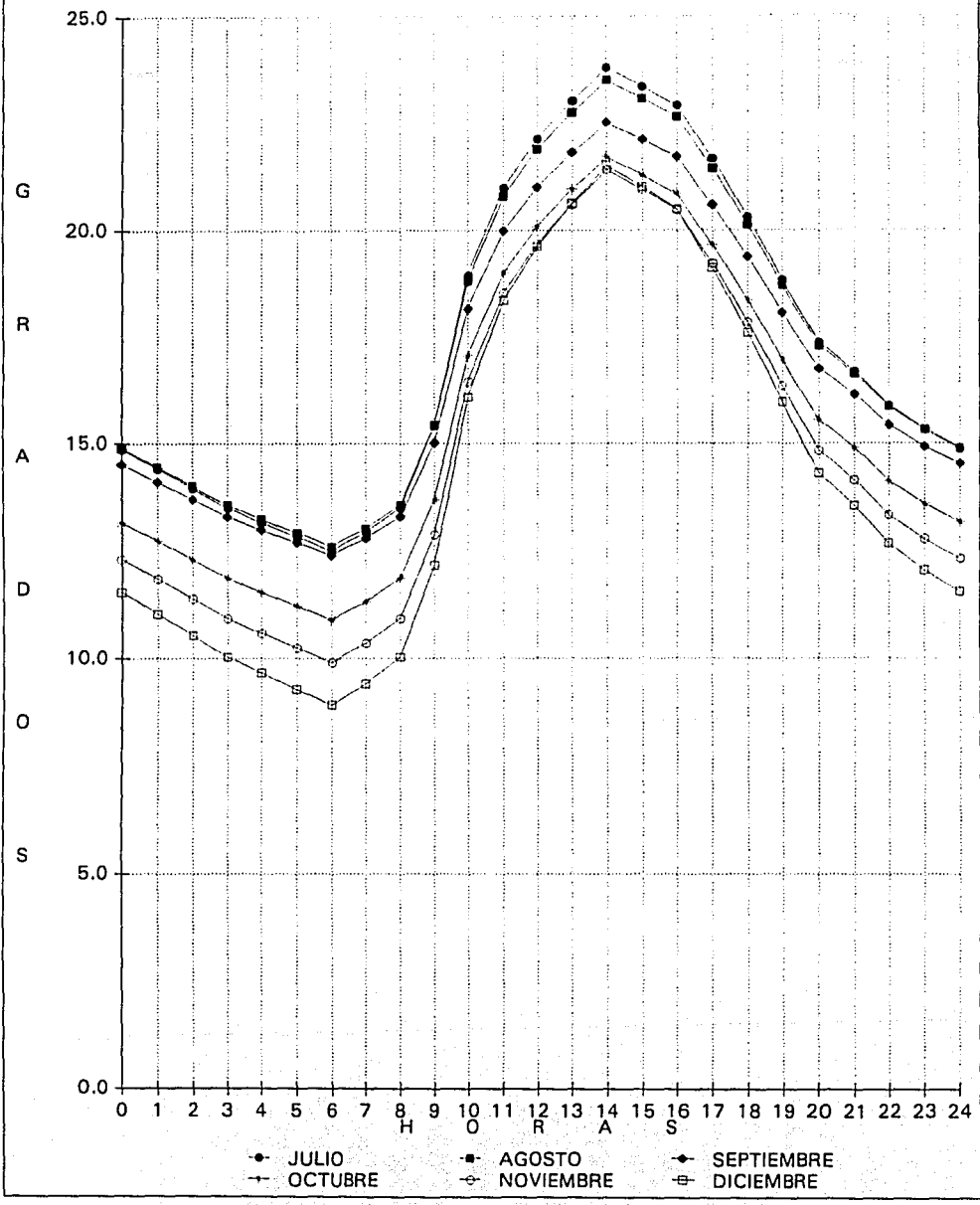
TEMPERATURAS HORARIAS
 PROMEDIO MENSUAL (grados centígrados)



NOTA: TEMPERATURA DEL BULBO SECO.

CIUDAD DE MEXICO

TEMPERATURAS HORARIAS
PROMEDIO MENSUAL (grados centígrados)



NOTA: TEMPERATURA DEL BULBO SECO.

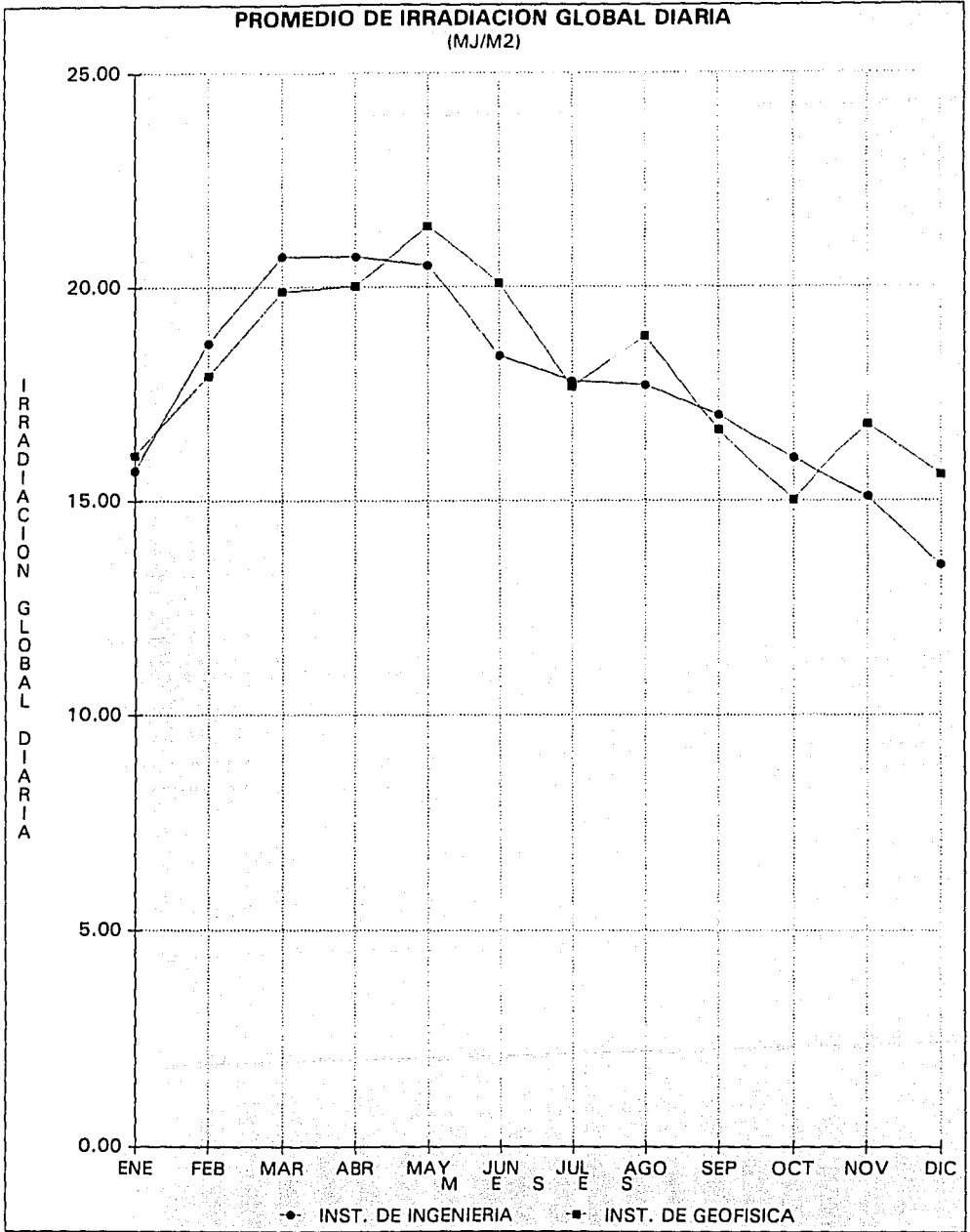
**PROMEDIO DE IRRADIACIÓN GLOBAL DIARIA
CIUDAD DE MEXICO
(MJ/m²)**

MESES	INSTITUTO DE INGENIERIA U.N.A.M.	INSTITUTO DE GEOFISICA U.N.A.M.
Enero	15.70	16.06
Febrero	18.70	17.93
Marzo	20.70	19.89
Abril	20.70	20.02
Mayo	20.50	21.41
Junio	18.40	20.09
Julio	17.80	17.66
Agosto	17.70	18.85
Septiembre	17.00	16.65
Octubre	16.00	15.02
Noviembre	15.10	16.79
Diciembre	13.50	15.61
Promedio	17.65	18.00

NOTA:

La información presentada en ésta tabla se obtuvo en el Instituto de Ingeniería y en el Instituto de Geofísica, U.N.A.M. [13,14]

CIUDAD DE MEXICO



INST. DE INGENIERIA - MODELO MATEMATICO. INST. DE GEOFISICA - DATOS MEDIDOS.

**3.3 IRRADIACION GLOBAL DIARIA, PROMEDIO MENSUAL,
SOBRE UN PLANO INCLINADO Y ORIENTADO HACIA EL SUR.**

DATOS GENERALES:

CIUDAD: MEXICO, D.F.
 LATITUD: 19.40 ° N
 LONGITUD: 99.20 ° W
 ALTITUD: 2308 M.S.N.M.

CONSTANTE
 SOLAR: 4.9212 MJ/M2-HR

s-1: LATITUD DEL LUGAR 19.4 GRADOS
 s-2: LATITUD DEL LUGAR + 10 GRADOS 29.4 GRADOS
 s-3: LATITUD DEL LUGAR - 10 GRADOS 9.4 GRADOS

ρ : reflectividad del piso (albedo) 0.20

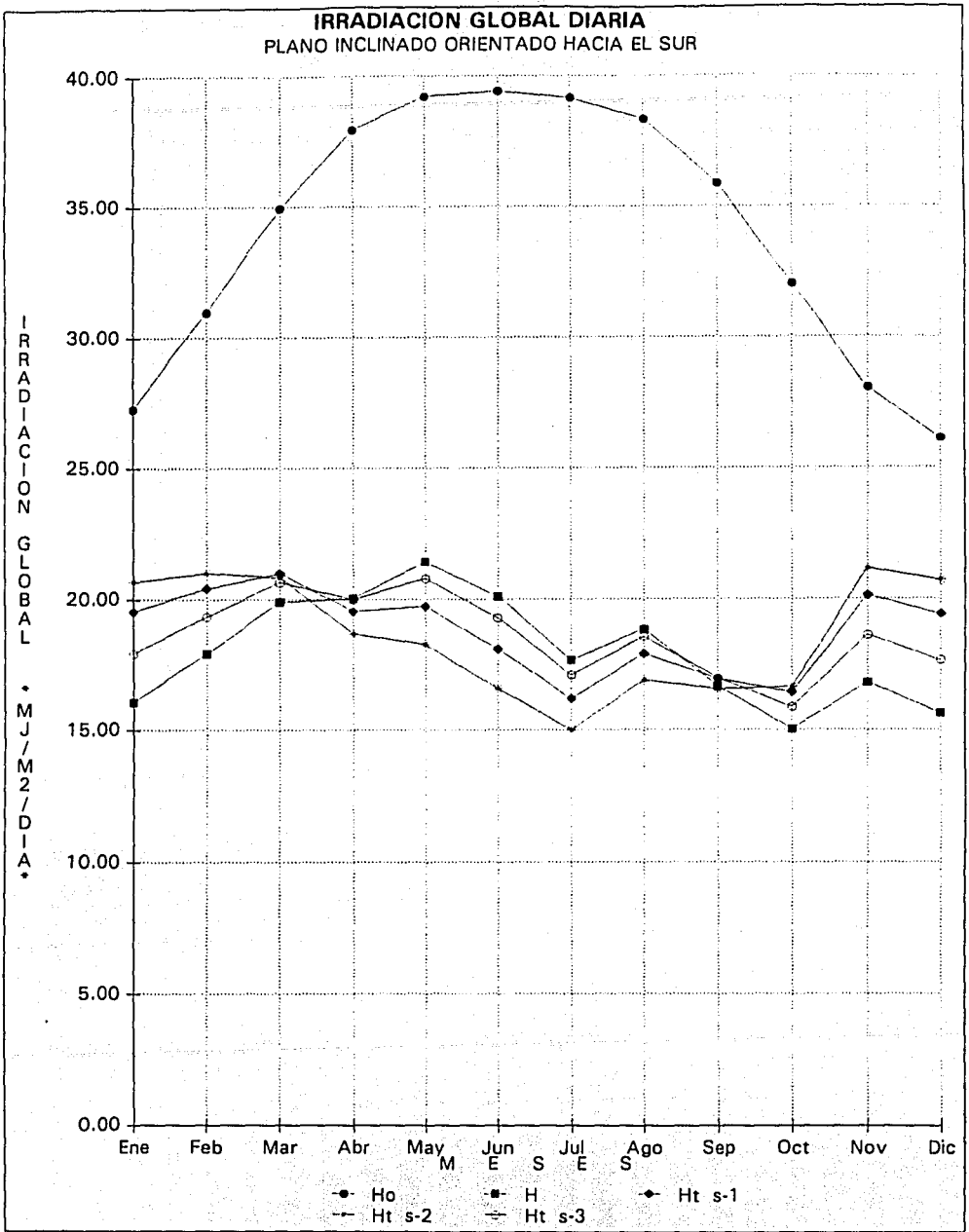
Mes	Día re- presen.	No. del día	Decli- nación	ω_s	W s-1	W s-2	W s-3	$\omega_s - W$ s-1	$\omega_s - W$ s-2	$\omega_s - W$ s-3
Ene	17	17	-20.92	82.26	90.00	93.86	86.14	-7.74	-11.60	-3.87
Feb	16	47	-12.95	85.35	90.00	92.32	87.68	-4.65	-6.97	-2.32
Mar	16	75	-2.42	89.15	90.00	90.43	89.57	-0.85	-1.28	-0.43
Abr	15	105	9.41	93.35	90.00	88.32	91.68	3.35	5.02	1.67
May	15	135	18.79	96.88	90.00	86.56	93.44	6.88	10.32	3.44
Jun	11	162	23.09	98.63	90.00	85.69	94.31	8.63	12.94	4.32
Jul	17	198	21.18	97.84	90.00	86.08	93.92	7.84	11.76	3.93
Ago	14	226	14.11	95.08	90.00	87.46	92.54	5.08	7.62	2.54
Sep	15	258	2.22	90.78	90.00	89.61	90.39	0.78	1.17	0.39
Oct	15	288	-9.60	86.59	90.00	91.71	88.29	-3.41	-5.12	-1.71
Nov	14	318	-18.91	83.07	90.00	93.46	86.54	-6.93	-10.39	-3.47
Dic	10	344	-23.05	81.38	90.00	94.30	85.70	-8.62	-12.92	-4.31

Mes	Día re- presen.	m's s-1	m's s-2	m's s-3
Ene	17	82.26	82.26	82.26
Feb	16	85.35	85.35	85.35
Mar	16	89.15	89.15	89.15
Abr	15	90.00	88.32	91.68
May	15	90.00	86.56	93.44
Jun	11	90.00	85.69	94.31
Jul	17	90.00	86.08	93.92
Ago	14	90.00	87.46	92.54
Sep	15	90.00	89.61	90.39
Oct	15	86.59	86.59	86.59
Nov	14	83.07	83.07	83.07
Dic	10	81.38	81.38	81.38

Mes	Día re- presen.	H _o MJ/M2	H MJ/M2	K _t	H _d / H	R _b s-1	R _b s-2	R _b s-3
Ene	17	27.26	16.06	0.59	0.31	1.32	1.42	1.17
Feb	16	30.96	17.93	0.58	0.31	1.21	1.26	1.12
Mar	16	34.92	19.89	0.57	0.32	1.09	1.08	1.06
Abr	15	37.96	20.02	0.53	0.35	0.97	0.91	1.00
May	15	39.22	21.41	0.55	0.34	0.89	0.79	0.96
Jun	11	39.42	20.09	0.51	0.37	0.85	0.74	0.94
Jul	17	39.17	17.66	0.45	0.42	0.87	0.76	0.95
Ago	14	38.36	18.85	0.49	0.38	0.93	0.85	0.98
Sep	15	35.88	16.65	0.46	0.40	1.04	1.01	1.03
Oct	15	32.01	15.02	0.47	0.40	1.17	1.20	1.10
Nov	14	28.06	16.79	0.60	0.30	1.29	1.38	1.16
Dic	10	26.10	15.61	0.60	0.30	1.35	1.47	1.19

**IRRADIACION SOLAR GLOBAL INCIDENTE SOBRE UN PLANO INCLINADO
ORIENTADO HACIA EL SUR (ANGULO ACIMUTAL = 0°)
(MJ/M2 DÍA)**

Mes	Día re- presen.	H _o	K _t	R s-1	R s-2	R s-3	H	H _t s-1	H _t s-2	H _t s-3
Ene	17	27.26	0.59	1.22	1.29	1.12	16.06	19.54	20.66	17.94
Feb	16	30.96	0.58	1.14	1.17	1.08	17.93	20.41	20.99	19.34
Mar	16	34.92	0.57	1.05	1.05	1.04	19.89	20.97	20.83	20.64
Abr	15	37.96	0.53	0.98	0.93	1.00	20.02	19.54	18.68	19.99
May	15	39.22	0.55	0.92	0.85	0.97	21.41	19.72	18.28	20.79
Jun	11	39.42	0.51	0.90	0.83	0.96	20.09	18.09	16.57	19.28
Jul	17	39.17	0.45	0.92	0.85	0.97	17.66	16.17	14.98	17.09
Ago	14	38.36	0.49	0.95	0.90	0.99	18.85	17.91	16.89	18.57
Sep	15	35.88	0.46	1.02	0.99	1.02	16.65	16.93	16.54	16.96
Oct	15	32.01	0.47	1.09	1.11	1.06	15.02	16.42	16.62	15.86
Nov	14	28.06	0.60	1.20	1.26	1.11	16.79	20.11	21.13	18.61
Dic	10	26.10	0.60	1.24	1.32	1.13	15.61	19.40	20.68	17.64
Prom.		34.11	0.53	1.05	1.05	1.04	18.00	18.77	18.57	18.56



NOTA: IRRADIACION GLOBAL DIARIA, PROMEDIO MENSUAL

3.4 IRRADIACION SOLAR HORARIA SOBRE UN PLANO INCLINADO Y ORIENTADO HACIA EL SUR

DATOS GENERALES:

CIUDAD: MEXICO, D.F.
 LATITUD: 19.40 ° N
 LONGITUD: 99.20 ° W
 ALTITUD: 2308 M.S.N.M.

CONSTANTE

SOLAR: 4.9212 MJ/M2-HR

ANGULO ACIMUTAL: 0.00 °

ρ : REFLECTIVIDAD DEL PISO 0.20
 (albedo)

Mes	Día re- presen.	No. del día	Declinación	H (MJ/M2)	Hd/H	Hd	Hb	Rb s:19.40°
Ene	17	17	-20.92	16.06	0.31	4.93	11.13	1.32
Feb	16	47	-12.95	17.93	0.31	5.64	12.29	1.21
Mar	16	75	-2.42	19.89	0.32	6.39	13.50	1.09
Abr	15	105	9.41	20.02	0.35	7.06	12.96	0.97
May	15	135	18.79	21.41	0.34	7.25	14.16	0.89
Jun	11	162	23.09	20.09	0.37	7.36	12.73	0.85
Jul	17	198	21.18	17.66	0.42	7.35	10.31	0.87
Ago	14	226	14.11	18.85	0.38	7.18	11.67	0.93
Sep	15	258	2.22	16.65	0.40	6.73	9.92	1.04
Oct	15	288	-9.60	15.02	0.40	6.01	9.01	1.17
Nov	14	318	-18.91	16.79	0.30	5.05	11.74	1.29
Dic	10	344	-23.05	15.61	0.30	4.70	10.91	1.35

IRRADIACION SOLAR HORARIA SOBRE UN
 PLANO CON INCLINACION HACIA EL SUR
 (CALCULO DE LAS VARIABLES "rd" y "rg")

Mes	Día re- presen.	Con- cepto	H O R A R I O					
			7 17	8 16	9 15	10 14	11 13	12
		ω	75	60	45	30	15	0
Ene	17	ω_s	82.26	82.26	82.26	82.26	82.26	82.26
		rd	0.02	0.06	0.09	0.12	0.14	0.14
		rg	0.01	0.05	0.09	0.12	0.15	0.15
Feb	16	ω_s	85.35	85.35	85.35	85.35	85.35	85.35
		rd	0.03	0.06	0.09	0.12	0.13	0.14
		rg	0.02	0.05	0.09	0.12	0.14	0.15
Mar	16	ω_s	89.15	89.15	89.15	89.15	89.15	89.15
		rd	0.03	0.07	0.09	0.11	0.13	0.13
		rg	0.02	0.06	0.09	0.12	0.14	0.14
Abr	15	ω_s	93.35	93.35	93.35	93.35	93.35	93.35
		rd	0.04	0.07	0.09	0.11	0.12	0.13
		rg	0.03	0.06	0.09	0.11	0.13	0.14
May	15	ω_s	96.88	96.88	96.88	96.88	96.88	96.88
		rd	0.04	0.07	0.09	0.11	0.12	0.12
		rg	0.03	0.06	0.09	0.11	0.13	0.13
Jun	11	ω_s	98.63	98.63	98.63	98.63	98.63	98.63
		rd	0.04	0.07	0.09	0.11	0.12	0.12
		rg	0.04	0.06	0.09	0.11	0.13	0.13
Jul	17	ω_s	97.84	97.84	97.84	97.84	97.84	97.84
		rd	0.04	0.07	0.09	0.11	0.12	0.12
		rg	0.03	0.06	0.09	0.11	0.13	0.13
Ago	14	ω_s	95.08	95.08	95.08	95.08	95.08	95.08
		rd	0.04	0.07	0.09	0.11	0.12	0.12
		rg	0.03	0.06	0.09	0.11	0.13	0.14
Sep	15	ω_s	90.78	90.78	90.78	90.78	90.78	90.78
		rd	0.03	0.07	0.09	0.11	0.13	0.13
		rg	0.03	0.06	0.09	0.12	0.13	0.14
Oct	15	ω_s	86.59	86.59	86.59	86.59	86.59	86.59
		rd	0.03	0.06	0.09	0.12	0.13	0.14
		rg	0.02	0.05	0.09	0.12	0.14	0.15
Nov	14	ω_s	83.07	83.07	83.07	83.07	83.07	83.07
		rd	0.02	0.06	0.09	0.12	0.14	0.14
		rg	0.02	0.05	0.09	0.12	0.14	0.15
Dic	10	ω_s	81.38	81.38	81.38	81.38	81.38	81.38
		rd	0.02	0.06	0.09	0.12	0.14	0.14
		rg	0.01	0.05	0.09	0.12	0.15	0.15

IRRADIANCIA SOLAR HORARIA SOBRE UN
PLANO CON INCLINACION HACIA EL SUR
(W/M2)

Inclinación (s): 19.40 °

Mes	Día re- presen.	Rad. Horaria	H O R A R I O					
			7 17	8 16	9 15	10 14	11 13	12
Ene	17	Hh	65.79	224.49	393.43	543.50	646.94	683.82
		Hbh	37.85	142.32	264.67	379.01	459.98	489.20
		Hdh	27.94	82.18	128.76	164.50	186.96	194.63
		Hth	77.37	268.56	475.92	662.09	791.14	837.28
Feb	16	Hh	98.19	265.72	441.15	595.53	701.37	739.02
		Hbh	56.57	167.66	294.61	411.79	494.25	523.93
		Hdh	41.62	98.07	146.54	183.74	207.12	215.09
		Hth	109.23	299.02	500.25	678.62	801.41	845.2
Mar	16	Hh	138.05	311.67	490.24	645.72	751.67	789.26
		Hbh	80.00	196.24	325.52	443.19	525.37	554.85
		Hdh	58.05	115.43	164.72	202.53	226.30	234.41
		Hth	144.01	326.91	516.12	681.45	794.33	834.41
Abr	15	Hh	166.41	328.69	492.69	633.99	729.67	763.5
		Hbh	91.94	197.61	313.00	416.99	489.23	515.08
		Hdh	74.46	131.08	179.69	217.00	240.45	248.44
		Hth	162.44	320.83	480.88	618.75	712.12	745.15
May	15	Hh	199.01	362.25	525.10	664.25	758.04	791.14
		Hbh	115.47	225.51	342.66	446.76	518.50	544.09
		Hdh	83.54	136.74	182.43	217.49	239.53	247.05
		Hth	184.70	334.92	484.14	611.31	696.89	727.07
Jun	11	Hh	195.50	344.18	491.60	617.10	701.50	731.26
		Hbh	107.73	204.63	307.60	398.99	461.95	484.39
		Hdh	87.77	139.54	184.00	218.11	239.55	246.87
		Hth	177.98	311.51	443.08	554.63	629.46	655.81
Jul	17	Hh	168.45	300.91	432.60	544.90	620.49	647.16
		Hbh	82.09	161.85	248.29	325.87	379.63	398.85
		Hdh	86.37	139.06	184.31	219.03	240.86	248.31
		Hth	155.99	277.05	396.65	498.24	566.45	590.49
Ago	14	Hh	166.09	314.36	463.22	590.95	677.24	707.73
		Hbh	86.71	179.86	281.39	372.80	436.25	458.96
		Hdh	79.38	134.50	181.83	218.15	240.98	248.77
		Hth	158.50	299.30	440.32	561.12	642.65	671.45
Sep	15	Hh	124.92	266.11	410.29	535.31	620.28	650.39
		Hbh	59.62	143.00	237.55	324.47	385.50	407.45
		Hdh	65.30	123.11	172.74	210.83	234.78	242.94
		Hth	126.03	269.54	416.72	544.65	631.74	662.62
Oct	15	Hh	89.78	227.05	369.91	495.18	580.89	611.35
		Hbh	41.87	121.13	214.19	301.25	362.93	385.20
		Hdh	47.92	105.91	155.72	193.93	217.95	226.15
		Hth	95.85	245.35	402.98	542.27	637.98	672.1
Nov	14	Hh	75.12	238.63	411.90	565.44	671.11	708.77
		Hbh	44.11	153.49	280.28	398.16	481.41	511.43
		Hdh	31.01	85.13	131.61	167.28	189.70	197.34
		Hth	87.32	281.61	490.93	678.16	807.69	853.96
Dic	10	Hh	57.24	214.00	381.70	531.11	634.25	671.06
		Hbh	33.26	136.95	259.08	373.51	454.67	483.97
		Hdh	23.98	77.05	122.63	157.60	179.58	187.08
		Hth	68.55	261.10	471.33	660.77	792.35	839.44

IRRADIACION SOLAR DIARIA SOBRE UN
PLANO CON INCLINACION HACIA EL SUR

Inclinación (s): 19.40 °

Mes	Día re- presen.	Radia- ción	Rad. diaria MJ/m2	Suma rad.hor. MJ/m2	Varia- ción
Ene	17	Hh	16.06	15.96	1.007
		Hbh	11.13	11.00	1.011
		Hdh	4.93	4.95	0.996
		Hth	19.54	19.39	1.007
Feb	16	Hh	17.93	17.79	1.008
		Hbh	12.29	12.15	1.012
		Hdh	5.64	5.65	0.998
		Hth	20.41	20.24	1.008
Mar	16	Hh	19.89	19.67	1.011
		Hbh	13.50	13.30	1.015
		Hdh	6.39	6.37	1.004
		Hth	20.97	20.74	1.011
Abr	15	Hh	20.02	19.68	1.017
		Hbh	12.96	12.72	1.019
		Hdh	7.06	6.96	1.014
		Hth	19.54	19.21	1.017
May	15	Hh	21.41	20.91	1.024
		Hbh	14.16	13.83	1.024
		Hdh	7.25	7.08	1.025
		Hth	19.72	19.26	1.024
Jun	11	Hh	20.09	19.55	1.028
		Hbh	12.73	12.41	1.026
		Hdh	7.36	7.15	1.030
		Hth	18.09	17.60	1.028
Jul	17	Hh	17.66	17.21	1.026
		Hbh	10.31	10.06	1.025
		Hdh	7.35	7.16	1.028
		Hth	16.17	15.77	1.026
Ago	14	Hh	18.85	18.47	1.020
		Hbh	11.67	11.42	1.021
		Hdh	7.18	7.05	1.019
		Hth	17.91	17.55	1.020
Sep	15	Hh	16.65	16.43	1.013
		Hbh	9.92	9.75	1.017
		Hdh	6.73	6.68	1.007
		Hth	16.93	16.70	1.013
Oct	15	Hh	15.02	14.89	1.009
		Hbh	9.01	8.88	1.015
		Hdh	6.01	6.01	1.000
		Hth	16.42	16.28	1.009
Nov	14	Hh	16.79	16.68	1.007
		Hbh	11.74	11.61	1.011
		Hdh	5.05	5.06	0.997
		Hth	20.11	19.96	1.007
Dic	10	Hh	15.61	15.51	1.007
		Hbh	10.91	10.80	1.011
		Hdh	4.70	4.71	0.997
		Hth	19.40	19.25	1.008

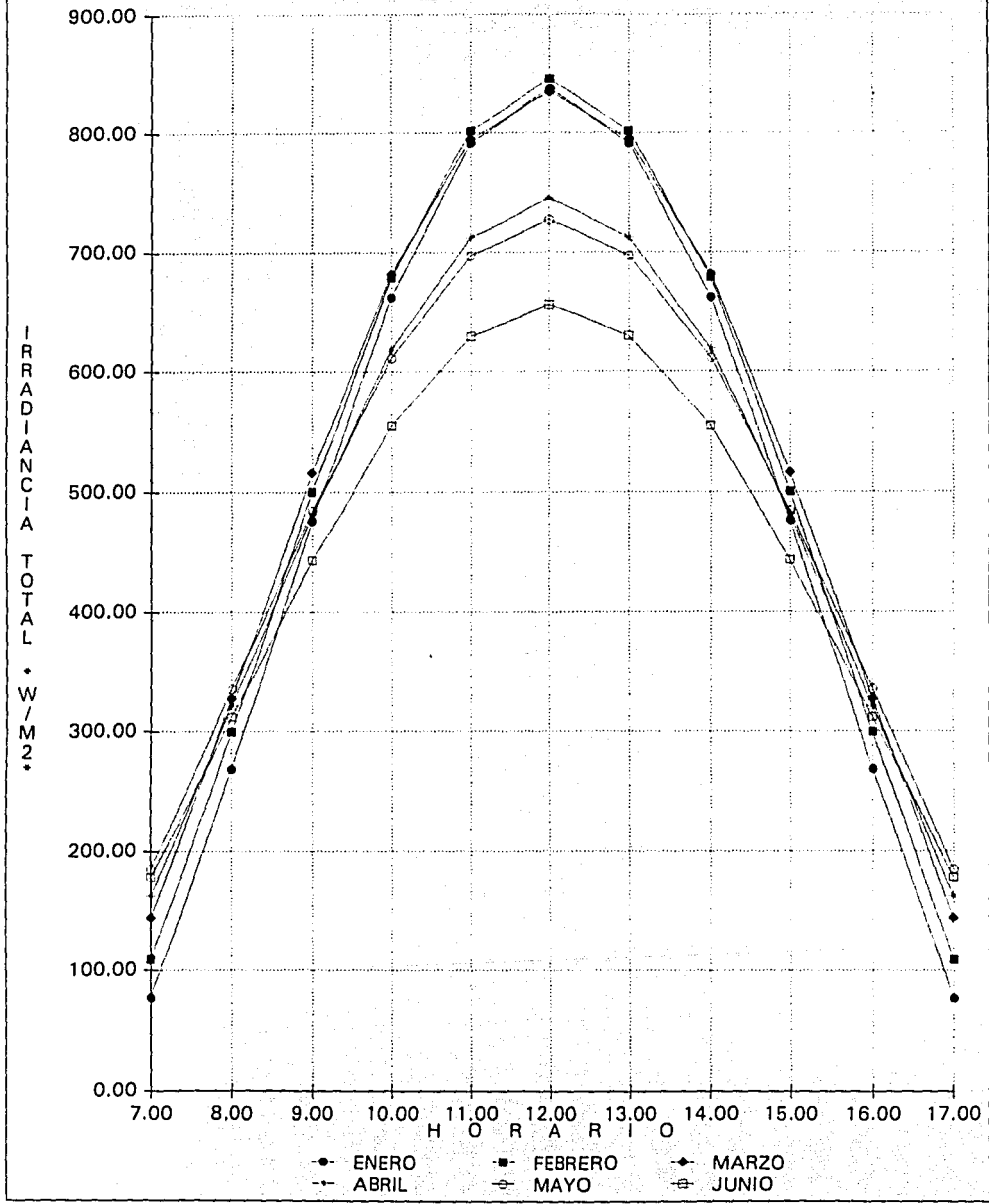
IRRADIANCIA SOLAR TOTAL HORARIA SOBRE
UN PLANO CON INCLINACION HACIA EL SUR (Hth)
(W/m²)

Inclinación (s): 19.40 °

Mes	H	O	R	A	R	I	O				
	7.00	8.00	9.00	10.00	11.00	12.00	13.00	14.00	15.00	16.00	17.00
1	77.37	268.56	475.92	662.09	791.14	837.28	791.14	662.09	475.92	268.56	77.37
2	109.23	299.02	500.25	678.62	801.41	845.16	801.41	678.62	500.25	299.02	109.23
3	144.01	326.91	516.12	681.45	794.33	834.41	794.33	681.45	516.12	326.91	144.01
4	162.44	320.83	480.88	618.75	712.12	745.15	712.12	618.75	480.88	320.83	162.44
5	184.70	334.92	484.14	611.31	696.89	727.07	696.89	611.31	484.14	334.92	184.70
6	177.98	311.51	443.08	554.63	629.46	655.81	629.46	554.63	443.08	311.51	177.98
7	155.99	277.05	396.65	498.24	566.45	590.49	566.45	498.24	396.65	277.05	155.99
8	158.50	299.30	440.32	561.12	642.65	671.45	642.65	561.12	440.32	299.30	158.50
9	126.03	269.54	416.72	544.65	631.74	662.62	631.74	544.65	416.72	269.54	126.03
10	95.85	245.35	402.98	542.27	637.98	672.06	637.98	542.27	402.98	245.35	95.85
11	87.32	281.61	490.93	678.16	807.69	853.96	807.69	678.16	490.93	281.61	87.32
12	68.55	261.10	471.33	660.77	792.35	839.44	792.35	660.77	471.33	261.10	68.55

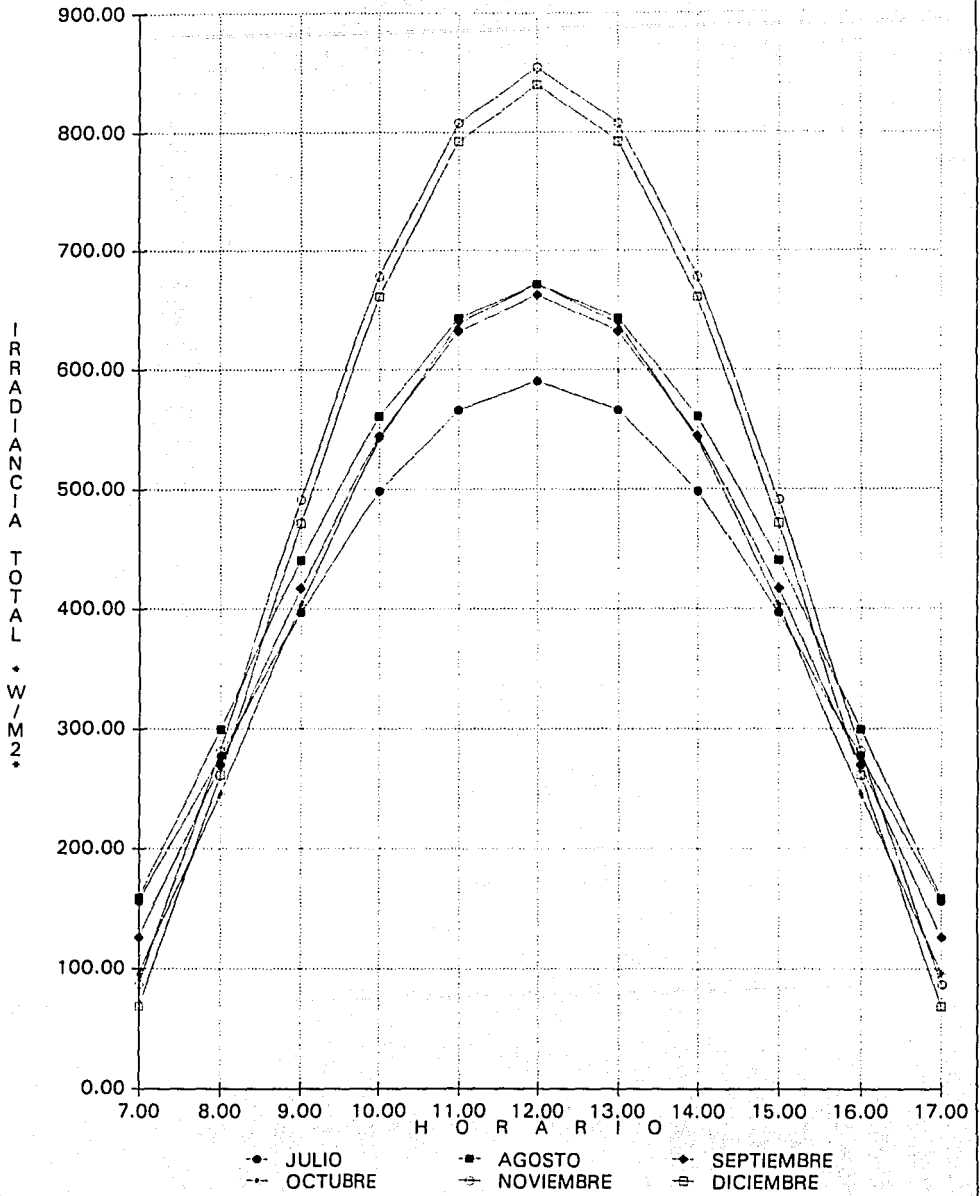
CIUDAD DE MEXICO

IRRADIANCIA TOTAL HORARIA (Hth)
 PLANO INCLINADO HACIA EL SUR (S = 19.40°)



CIUDAD DE MEXICO

IRRADIANCIA TOTAL HORARIA (Hth)
 PLANO INCLINADO HACIA EL SUR (S = 19.40°)



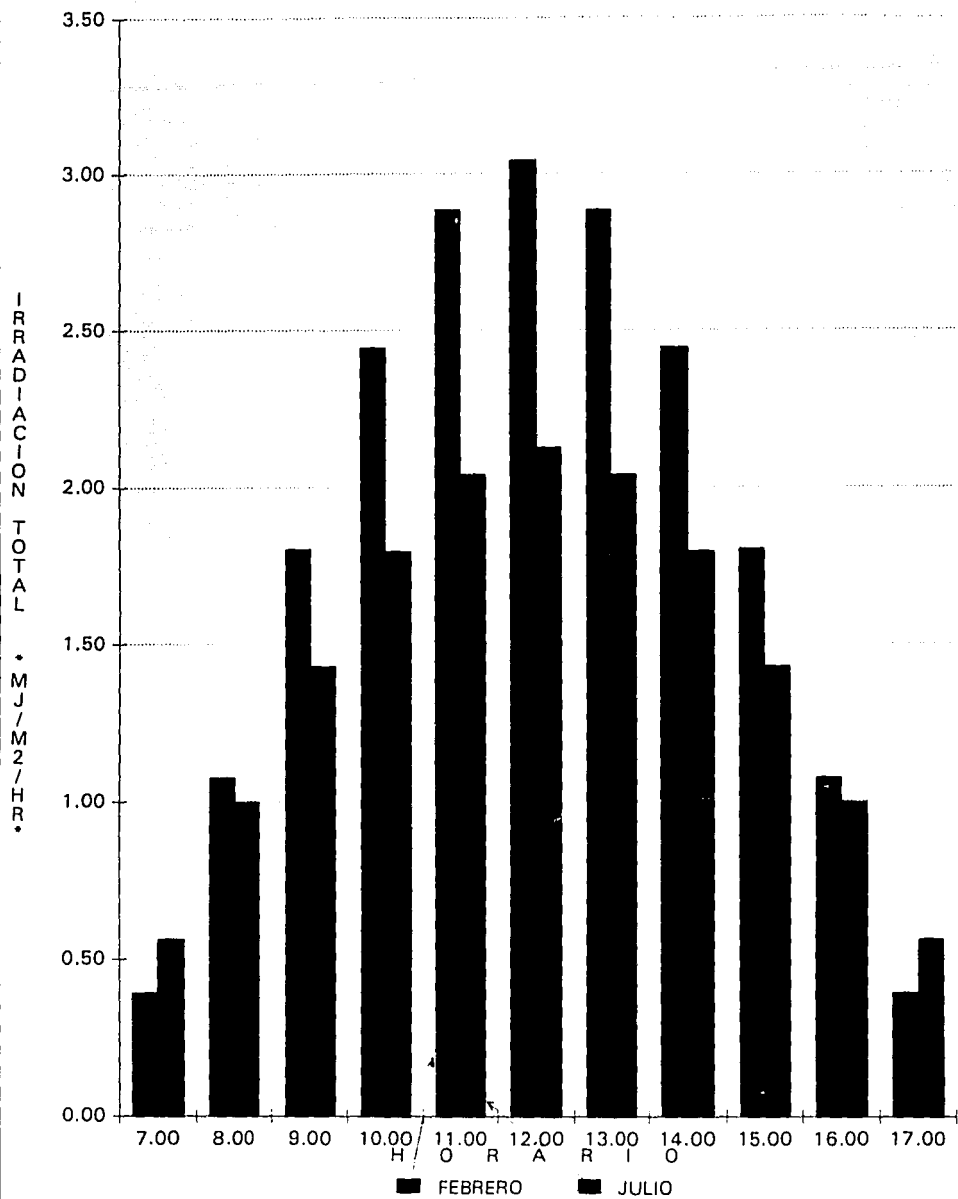
IRRADIACION SOLAR HORARIA SOBRE UN
PLANO CON INCLINACION HACIA EL SUR
(MJ/M2 HR)

Inclinación (s): 19.40 °

Mes	Día re- presen.	Rad. Horaria	H O R A R I O					
			7 17	8 16	9 15	10 14	11 13	12
Ene	17	Hh	0.24	0.81	1.42	1.96	2.33	2.46
		Hbh	0.14	0.51	0.95	1.36	1.66	1.76
		Hdh	0.10	0.30	0.46	0.59	0.67	0.70
		Hth	0.28	0.97	1.71	2.38	2.85	3.01
Feb	16	Hh	0.35	0.96	1.59	2.14	2.52	2.66
		Hbh	0.20	0.60	1.06	1.48	1.78	1.89
		Hdh	0.15	0.35	0.53	0.66	0.75	0.77
		Hth	0.39	1.08	1.80	2.44	2.89	3.04
Mar	16	Hh	0.50	1.12	1.76	2.32	2.71	2.84
		Hbh	0.29	0.71	1.17	1.60	1.89	2.00
		Hdh	0.21	0.42	0.59	0.73	0.81	0.84
		Hth	0.52	1.18	1.86	2.45	2.86	3.00
Abr	15	Hh	0.60	1.18	1.77	2.28	2.63	2.75
		Hbh	0.33	0.71	1.13	1.50	1.76	1.85
		Hdh	0.27	0.47	0.65	0.78	0.87	0.89
		Hth	0.58	1.15	1.73	2.23	2.56	2.68
May	15	Hh	0.72	1.30	1.89	2.39	2.73	2.85
		Hbh	0.42	0.81	1.23	1.61	1.87	1.96
		Hdh	0.30	0.49	0.66	0.78	0.86	0.89
		Hth	0.66	1.21	1.74	2.20	2.51	2.62
Jun	11	Hh	0.70	1.24	1.77	2.22	2.53	2.63
		Hbh	0.39	0.74	1.11	1.44	1.66	1.74
		Hdh	0.32	0.50	0.66	0.79	0.86	0.89
		Hth	0.64	1.12	1.60	2.00	2.27	2.36
Jul	17	Hh	0.61	1.08	1.56	1.96	2.23	2.33
		Hbh	0.30	0.58	0.89	1.17	1.37	1.44
		Hdh	0.31	0.50	0.66	0.79	0.87	0.89
		Hth	0.56	1.00	1.43	1.79	2.04	2.13
Ago	14	Hh	0.60	1.13	1.67	2.13	2.44	2.55
		Hbh	0.31	0.65	1.01	1.34	1.57	1.65
		Hdh	0.29	0.48	0.65	0.79	0.87	0.90
		Hth	0.57	1.08	1.59	2.02	2.31	2.42
Sep	15	Hh	0.45	0.96	1.48	1.93	2.23	2.34
		Hbh	0.21	0.51	0.86	1.17	1.39	1.47
		Hdh	0.24	0.44	0.62	0.76	0.85	0.87
		Hth	0.45	0.97	1.50	1.96	2.27	2.39
Oct	15	Hh	0.32	0.82	1.33	1.78	2.09	2.20
		Hbh	0.15	0.44	0.77	1.08	1.31	1.39
		Hdh	0.17	0.38	0.56	0.70	0.78	0.81
		Hth	0.35	0.88	1.45	1.95	2.30	2.42
Nov	14	Hh	0.27	0.86	1.48	2.04	2.42	2.55
		Hbh	0.16	0.55	1.01	1.43	1.73	1.84
		Hdh	0.11	0.31	0.47	0.60	0.68	0.71
		Hth	0.31	1.01	1.77	2.44	2.91	3.07
Dic	10	Hh	0.21	0.77	1.37	1.91	2.28	2.42
		Hbh	0.12	0.49	0.93	1.34	1.64	1.74
		Hdh	0.09	0.28	0.44	0.57	0.65	0.67
		Hth	0.25	0.94	1.70	2.38	2.85	3.02

CIUDAD DE MEXICO

IRRADIACION TOTAL HORARIA (Hth)
PLANO INCLINADO HACIA EL SUR (S = 19.40°)



**CALCULO DE LAS CURVAS DE FRECUENCIA ACUMULADA
Y DE ENERGIA DISPONIBLE**

DATOS GENERALES:

CIUDAD: MEXICO, D.F.
 LATITUD: 19.40 ° N
 LONGITUD: 99.20 ° W
 ALTITUD: 2308 M.S.N.M.
 ESTACION: U.N.A.M.
 INSTITUTO DE GEOFISICA
 MES: FEBRERO
 AÑO: 1990

No.	Hora	Irradiancia total (W/m2)	Irradiación tot. MJ/m2/ /hr
1	7.00	109.23	0.39
2	8.00	299.02	1.08
3	9.00	500.25	1.80
4	10.00	678.62	2.44
5	11.00	801.41	2.89
6	12.00	845.16	3.04
7	13.00	801.41	2.89
8	14.00	678.62	2.44
9	15.00	500.25	1.80
10	16.00	299.02	1.08
11	17.00	109.23	0.39
SUMA			20.24

Número de horas	Niveles críticos* (W/m2)
1	845
3	801
5	678
7	500
9	299
11	109

Niveles críticos (W/m2)	Irradiación ** MJ/m2/ /día
109	20.24
299	19.46
500	17.30
678	13.70
801	8.82
845	3.04

MES: JULIO
 AÑO: 1990

No.	Hora	Irradiancia total (W/m2)	Irradiación tot. MJ/m2/ /hr
1	7.00	155.99	0.56
2	8.00	277.05	1.00
3	9.00	396.65	1.43
4	10.00	498.24	1.79
5	11.00	566.45	2.04
6	12.00	590.49	2.13
7	13.00	566.45	2.04
8	14.00	498.24	1.79
9	15.00	396.65	1.43
10	16.00	277.05	1.00
11	17.00	155.99	0.56
SUMA			15.77

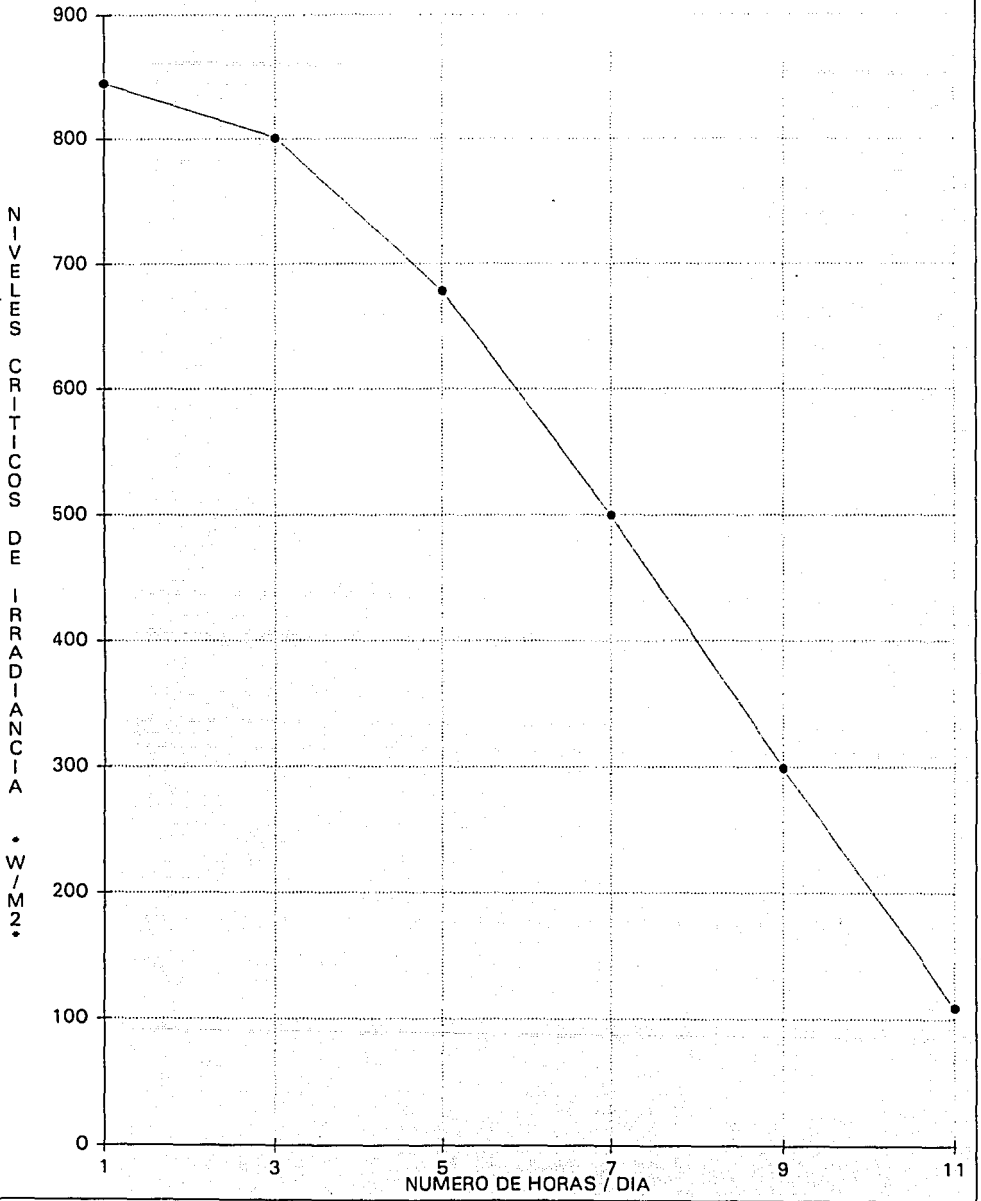
Número de horas	Niveles críticos* (W/m2)
1	590
3	566
5	498
7	396
9	277
11	155

Niveles críticos (W/m2)	Irradiación ** MJ/m2/ /día
155	15.77
277	14.65
396	12.65
498	9.79
566	6.21
590	2.13

NOTAS:

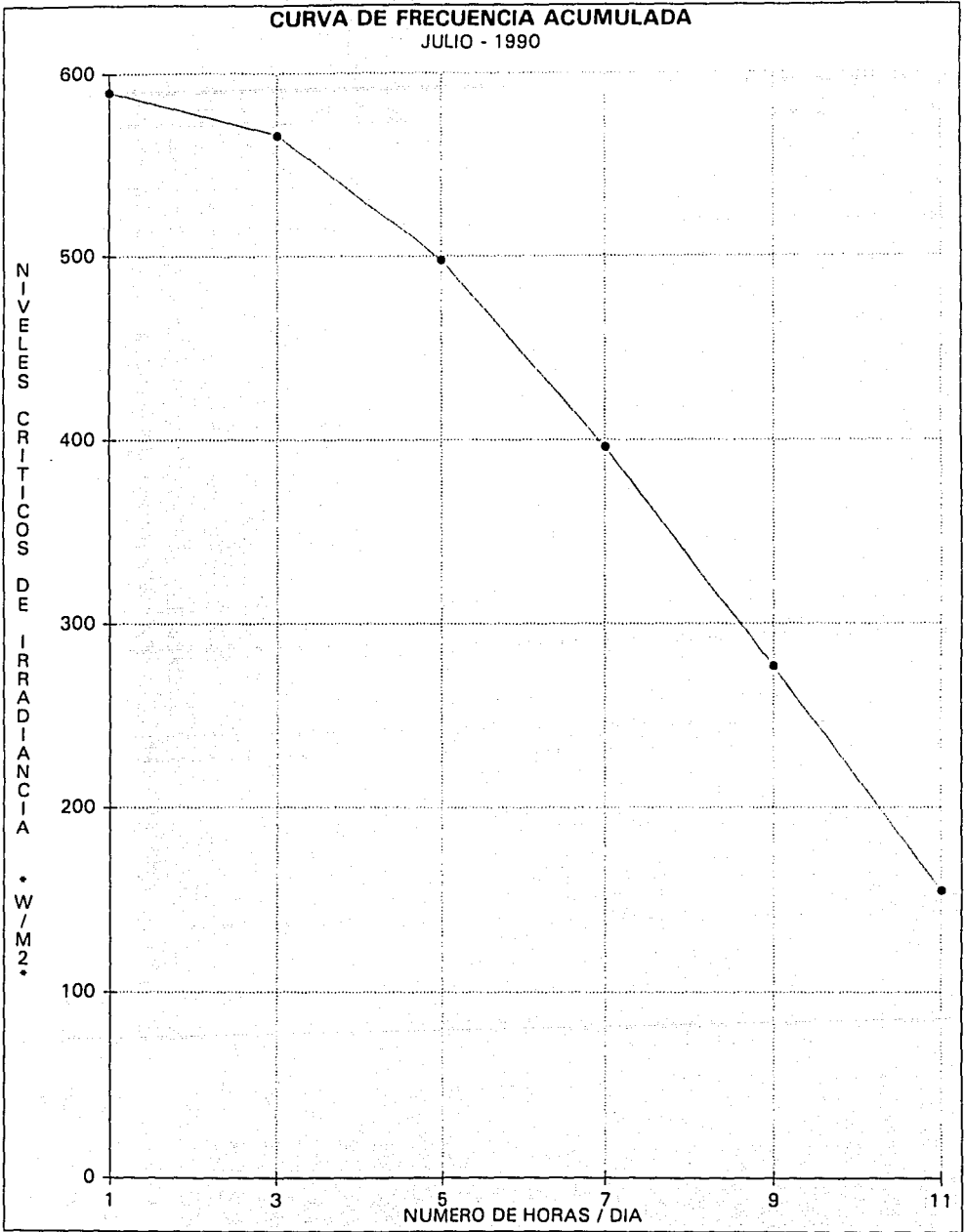
- * La tabla se refiere al número de horas durante el día en el que la irradiancia es igual o mayor al valor indicado.
- ** La tabla se refiere a la irradiación (energía disponible) durante el día, la cual es generada por un nivel crítico de irradiancia igual o mayor al valor indicado.

CURVA DE FRECUENCIA ACUMULADA
FEBRERO - 1990



NOTA: PLANO INCLINADO HACIA EL SUR ($S = 19.40^\circ$)

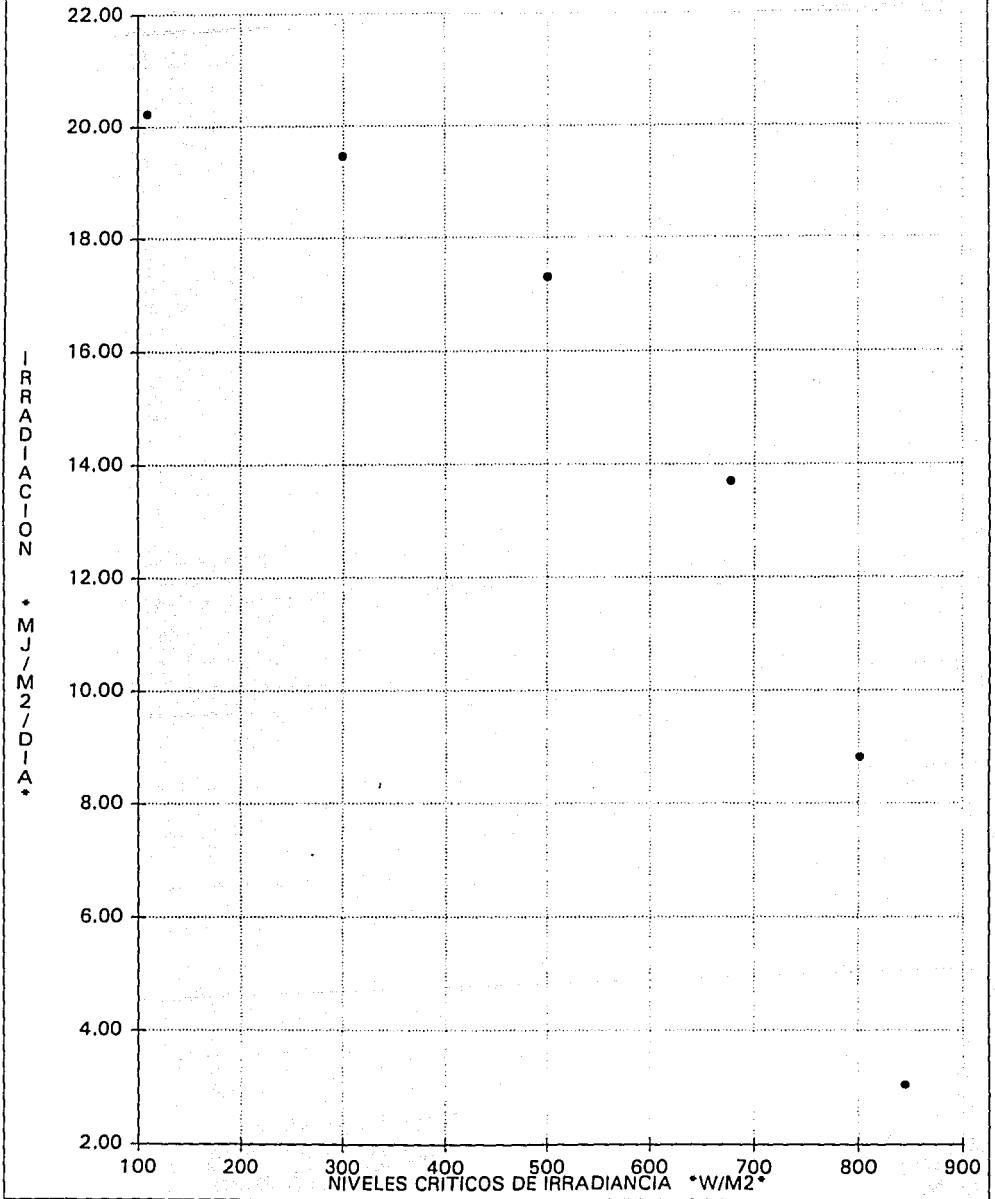
CIUDAD DE MEXICO



NOTA: PLANO INCLINADO HACIA EL SUR (S = 19.40°)

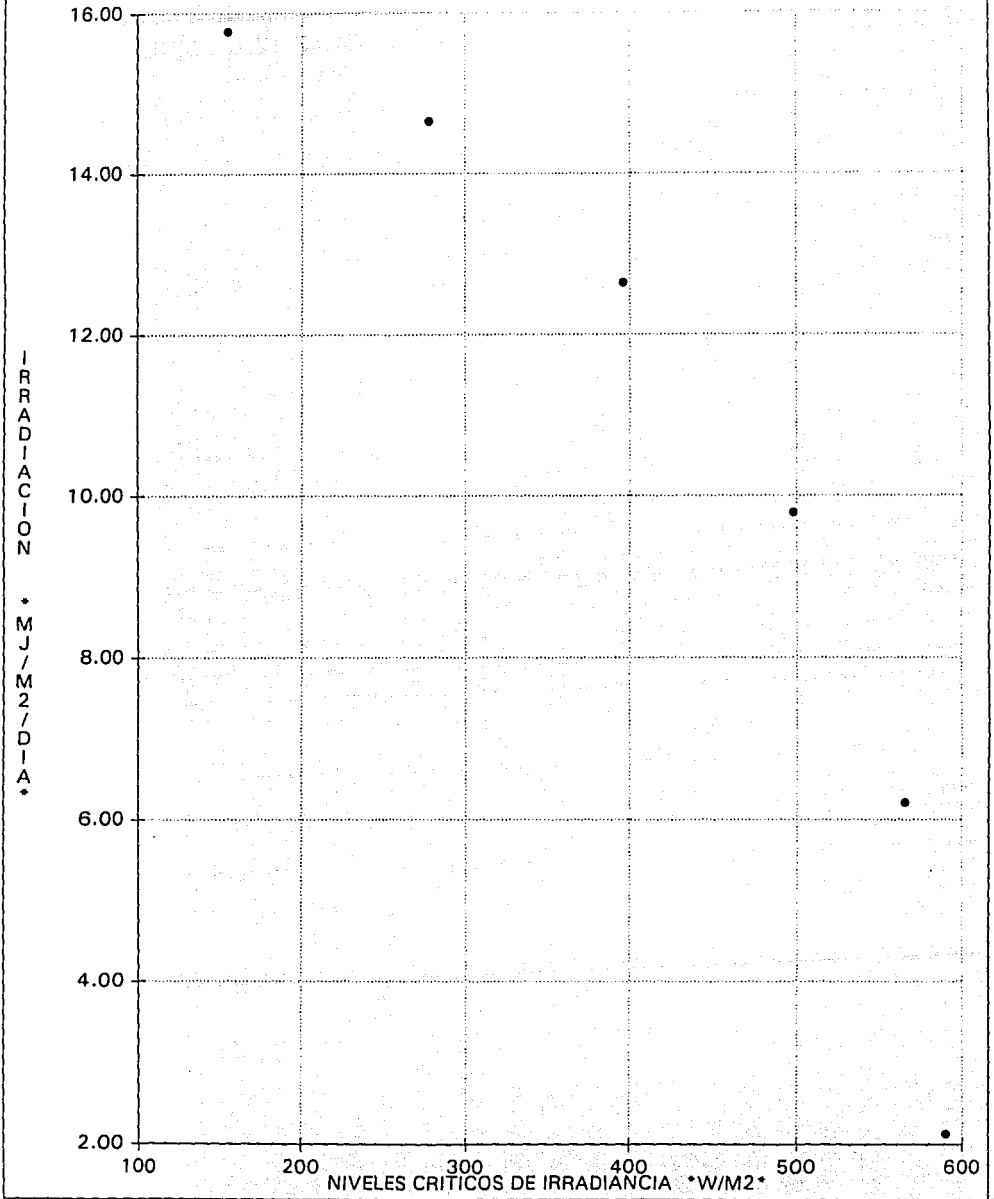
CIUDAD DE MEXICO

CURVA DE ENERGIA DISPONIBLE
FEBRERO - 1990



NOTA: PLANO INCLINADO HACIA EL SUR (S = 19.40°)

CURVA DE ENERGIA DISPONIBLE
JULIO - 1990



NOTA: PLANO INCLINADO HACIA EL SUR ($S = 19.40^\circ$)

COLECTORES SOLARES PLANOS

DATOS GENERALES:

CIUDAD: MEXICO, D.F.
 LATITUD: 19.40 ° N.
 LONGITUD: 99.20 °W
 ALTITUD: 2308

IRRADIACION GLOBAL DIARIA. DECLINACION.

No.	Mes	Día re- presen.	No. del día	Decli- nación	H MJ/M2
1	Ene	17	17	-20.92	16.06
2	Feb	16	47	-12.95	17.93
3	Mar	16	75	-2.42	19.89
4	Abr	15	105	9.41	20.02
5	May	15	135	18.79	21.41
6	Jun	11	162	23.09	20.09
7	Jul	17	198	21.18	17.66
8	Ago	14	226	14.11	18.85
9	Sep	15	258	2.22	16.65
10	Oct	15	288	-9.60	15.02
11	Nov	14	318	-18.91	16.79
12	Dic	10	344	-23.05	15.61

IRRADIACION SOLAR TOTAL HORARIA SOBRE UN PLANO CON INCLINACION HACIA EL SUR (Hth) (MJ/M2 HR)

Inclinación respecto a la horizontal: 19.40 °
 Angulo acimutal respecto al sur: 0.00 °

Mes	H O R A R I O										
	7.00	8.00	9.00	10.00	11.00	12.00	13.00	14.00	15.00	16.00	17.00
1	0.28	0.97	1.71	2.38	2.85	3.01	2.85	2.38	1.71	0.97	0.28
2	0.39	1.08	1.80	2.44	2.89	3.04	2.89	2.44	1.80	1.08	0.39
3	0.52	1.18	1.86	2.45	2.86	3.00	2.86	2.45	1.86	1.18	0.52
4	0.58	1.15	1.73	2.23	2.56	2.68	2.56	2.23	1.73	1.15	0.58
5	0.66	1.21	1.74	2.20	2.51	2.62	2.51	2.20	1.74	1.21	0.66
6	0.64	1.12	1.60	2.00	2.27	2.36	2.27	2.00	1.60	1.12	0.64
7	0.56	1.00	1.43	1.79	2.04	2.13	2.04	1.79	1.43	1.00	0.56
8	0.57	1.08	1.59	2.02	2.31	2.42	2.31	2.02	1.59	1.08	0.57
9	0.45	0.97	1.50	1.96	2.27	2.39	2.27	1.96	1.50	0.97	0.45
10	0.35	0.88	1.45	1.95	2.30	2.42	2.30	1.95	1.45	0.88	0.35
11	0.31	1.01	1.77	2.44	2.91	3.07	2.91	2.44	1.77	1.01	0.31
12	0.25	0.94	1.70	2.38	2.85	3.02	2.85	2.38	1.70	0.94	0.25

**3.5 COLECTORES SOLARES PLANOS.
ANALISIS OPTICO.**

**CALCULO DEL ANGULO DE INCIDENCIA DE
LA RADIACION DIRECTA RESPECTO A LA
NORMAL DEL PLANO (θ_1)**

Inclinación respecto a la horizontal: 19.40 °
Angulo acimutal respecto al sur: 0.00 °

CALCULO DE LOS PRIMEROS 3 TERMINOS DE LA ECUACION NO.3 DE LA SECCION 2.5

No.	Mes	Día re- presen.	Con- cepto	H O R A R I O					
				7 17	8 16	9 15	10 14	11 13	12
			ω	75	60	45	30	15	0
1	Ene	17	17	0.22	0.42	0.59	0.72	0.80	0.83
2	Feb	16	47	0.22	0.43	0.61	0.75	0.84	0.87
3	Mar	16	75	0.23	0.44	0.63	0.77	0.86	0.89
4	Abr	15	105	0.23	0.44	0.62	0.76	0.85	0.88
5	May	15	135	0.22	0.42	0.60	0.73	0.81	0.84
6	Jun	11	162	0.21	0.41	0.58	0.71	0.79	0.82
7	Jul	17	198	0.21	0.41	0.59	0.72	0.80	0.83
8	Ago	14	226	0.22	0.43	0.61	0.75	0.83	0.86
9	Sep	15	258	0.23	0.44	0.63	0.77	0.86	0.89
10	Oct	15	288	0.23	0.44	0.62	0.76	0.85	0.88
11	Nov	14	318	0.22	0.42	0.60	0.73	0.81	0.84
12	Dic	10	344	0.21	0.41	0.58	0.71	0.79	0.82

CALCULO QUE DETERMINA EL TOTAL DE LA ECUACION NO. 3 DE LA SECCION 2.5 (5 TERMINOS)

No.	Mes	Día re- presen.	Con- cepto	H O R A R I O					
				7 17	8 16	9 15	10 14	11 13	12
			ω	75	60	45	30	15	0
1	Ene	17	17	76.01	62.16	48.66	36.01	25.54	20.92
2	Feb	16	47	75.39	60.84	46.44	32.44	19.72	12.95
3	Mar	16	75	75.01	60.03	45.05	30.09	15.19	2.42
4	Abr	15	105	75.21	60.44	45.77	31.31	17.65	9.41
5	May	15	135	75.82	61.75	47.98	34.93	23.87	18.79
6	Jun	11	162	76.23	62.62	49.42	37.19	27.31	23.09
7	Jul	17	198	76.03	62.21	48.75	36.15	25.76	21.18
8	Ago	14	226	75.46	60.99	46.70	32.87	20.48	14.11
9	Sep	15	258	75.01	60.02	45.04	30.07	15.16	2.22
10	Oct	15	288	75.21	60.46	45.80	31.36	17.75	9.60
11	Nov	14	318	75.83	61.77	48.02	34.99	23.97	18.91
12	Dic	10	344	76.22	62.61	49.41	37.17	27.28	23.05

COLECTORES SOLARES PLANOS
ANÁLISIS ÓPTICO

ÁNGULOS DE INCIDENCIA Y DE REFRACCIÓN DE LA RADIACIÓN SOLAR
ÍNDICES DE REFLEXIÓN A INCIDENCIA NORMAL Y A LA INCIDENCIA INDICADA

Inclinación respecto a la horizontal:

19.40 °

Angulo acimutal respecto al sur:

0.00 °

n1: 1.000

n2: 1.526

ρ (°): 0.04

No.	Mes	Día re- presen.	Con- cepto	H O R A R I O					
				7 17	8 16	9 15	10 14	11 13	12
			ω	75	60	45	30	15	0
1	Ene	17	θ_1	76.01	62.16	48.66	36.01	25.54	20.92
			θ_2	39.48	35.41	29.47	22.66	16.41	13.53
			$\rho - \theta_1$	0.28	0.11	0.06	0.05	0.04	0.04
2	Feb	16	θ_1	75.39	60.84	46.44	32.44	19.72	12.95
			θ_2	39.35	34.91	28.35	20.58	12.78	8.45
			$\rho - \theta_1$	0.27	0.10	0.06	0.05	0.04	0.04
3	Mar	16	θ_1	75.01	60.03	45.05	30.09	15.19	2.42
			θ_2	39.27	34.59	27.63	19.18	9.89	1.58
			$\rho - \theta_1$	0.26	0.09	0.05	0.04	0.04	0.04
4	Abr	15	θ_1	75.21	60.44	45.77	31.31	17.65	9.41
			θ_2	39.32	34.75	28.00	19.91	11.46	6.15
			$\rho - \theta_1$	0.26	0.10	0.05	0.05	0.04	0.04
5	May	15	θ_1	75.82	61.75	47.98	34.93	23.87	18.79
			θ_2	39.44	35.26	29.13	22.04	15.38	12.19
			$\rho - \theta_1$	0.28	0.10	0.06	0.05	0.04	0.04
6	Jun	11	θ_1	76.23	62.62	49.42	37.19	27.31	23.09
			θ_2	39.53	35.58	29.85	23.33	17.49	14.89
			$\rho - \theta_1$	0.28	0.11	0.06	0.05	0.04	0.04
7	Jul	17	θ_1	76.03	62.21	48.75	36.15	25.76	21.18
			θ_2	39.49	35.43	29.52	22.74	16.54	13.70
			$\rho - \theta_1$	0.28	0.11	0.06	0.05	0.04	0.04
8	Ago	14	θ_1	75.46	60.99	46.70	32.87	20.48	14.11
			θ_2	39.37	34.97	28.49	20.83	13.25	9.19
			$\rho - \theta_1$	0.27	0.10	0.06	0.05	0.04	0.04
9	Sep	15	θ_1	75.01	60.02	45.04	30.07	15.16	2.22
			θ_2	39.27	34.59	27.63	19.17	9.87	1.45
			$\rho - \theta_1$	0.26	0.09	0.05	0.04	0.04	0.04
10	Oct	15	θ_1	75.21	60.46	45.80	31.36	17.75	9.60
			θ_2	39.32	34.76	28.02	19.94	11.52	6.27
			$\rho - \theta_1$	0.26	0.10	0.05	0.05	0.04	0.04
11	Nov	14	θ_1	75.83	61.77	48.02	34.99	23.97	18.91
			θ_2	39.45	35.27	29.15	22.07	15.44	12.26
			$\rho - \theta_1$	0.28	0.10	0.06	0.05	0.04	0.04
12	Dic	10	θ_1	76.22	62.61	49.41	37.17	27.28	23.05
			θ_2	39.53	35.58	29.84	23.32	17.48	14.87
			$\rho - \theta_1$	0.28	0.11	0.06	0.05	0.04	0.04

COLECTORES SOLARES PLANOS
ANÁLISIS ÓPTICO

INDICES DE REFLEXION DE LOS RAYOS SOLARES A LA INCIDENCIA INDICADA
(SE DIVIDE LA FORMULA EN SUS DOS TERMINOS)

Inclinación respecto a la horizontal: 19.40 °
 Ángulo acimutal respecto al sur: 0.00 °
 n1: 1.000 n2: 1.526 ρ (°): 0.04

No.	Mes	Día re- presen.	Con- cepto	H	O	R	A	R	I	O
				7 17	8 16	9 15	10 14	11 13	12	
			ω	75	60	45	30	15	0	
1	Ene	17	1º ter.	0.43	0.21	0.11	0.07	0.06	0.05	
			2º ter.	0.12	0.00	0.01	0.02	0.03	0.04	
			total	0.28	0.11	0.06	0.05	0.04	0.04	
2	Feb	16	1º ter.	0.42	0.19	0.10	0.07	0.05	0.05	
			2º ter.	0.11	0.00	0.01	0.03	0.04	0.04	
			total	0.27	0.10	0.06	0.05	0.04	0.04	
3	Mar	16	1º ter.	0.41	0.19	0.10	0.06	0.05	0.04	
			2º ter.	0.11	0.00	0.01	0.03	0.04	0.04	
			total	0.26	0.09	0.05	0.04	0.04	0.04	
4	Abr	15	1º ter.	0.42	0.19	0.10	0.06	0.05	0.04	
			2º ter.	0.11	0.00	0.01	0.03	0.04	0.04	
			total	0.26	0.10	0.05	0.05	0.04	0.04	
5	May	15	1º ter.	0.43	0.20	0.11	0.07	0.05	0.05	
			2º ter.	0.12	0.00	0.01	0.02	0.03	0.04	
			total	0.28	0.10	0.06	0.05	0.04	0.04	
6	Jun	11	1º ter.	0.44	0.21	0.12	0.08	0.06	0.05	
			2º ter.	0.13	0.01	0.00	0.02	0.03	0.03	
			total	0.28	0.11	0.06	0.05	0.04	0.04	
7	Jul	17	1º ter.	0.44	0.21	0.11	0.07	0.06	0.05	
			2º ter.	0.13	0.00	0.01	0.02	0.03	0.04	
			total	0.28	0.11	0.06	0.05	0.04	0.04	
8	Ago	14	1º ter.	0.42	0.19	0.10	0.07	0.05	0.05	
			2º ter.	0.11	0.00	0.01	0.02	0.04	0.04	
			total	0.27	0.10	0.06	0.05	0.04	0.04	
9	Sep	15	1º ter.	0.41	0.19	0.10	0.06	0.05	0.04	
			2º ter.	0.11	0.00	0.01	0.03	0.04	0.04	
			total	0.26	0.09	0.05	0.04	0.04	0.04	
10	Oct	15	1º ter.	0.42	0.19	0.10	0.06	0.05	0.04	
			2º ter.	0.11	0.00	0.01	0.03	0.04	0.04	
			total	0.26	0.10	0.05	0.05	0.04	0.04	
11	Nov	14	1º ter.	0.43	0.20	0.11	0.07	0.05	0.05	
			2º ter.	0.12	0.00	0.01	0.02	0.03	0.04	
			total	0.28	0.10	0.06	0.05	0.04	0.04	
12	Dic	10	1º ter.	0.44	0.21	0.12	0.08	0.06	0.05	
			2º ter.	0.13	0.01	0.00	0.02	0.03	0.03	
			total	0.28	0.11	0.06	0.05	0.04	0.04	

ANALISIS OPTICO
TRANSMISION Y ABSORCION DE LA RADIACION SOLAR EN EL COLECTOR

No. de cubiertas (n): 1 cub. Absorción solar de la placa(α) 0.88
 Coef. de extinción (K): 0.32 /cm. Reflexión difusa a 60° (pd): 0.16
 Espesor del vidrio (L): 0.4 cm. Transmisión a 0°: τ : 0.92
 τ_a : 0.88 τ : 0.81

No.	Mes	Día re- presen.	Con- cepto	H	O	R	A	R	I	O
				7 17	8 16	9 15	10 14	11 13	12	
			ω	75	60	45	30	15	0	
1	Ene	17	τ_r	0.59	0.82	0.89	0.91	0.92	0.92	
			τ_a	0.85	0.85	0.86	0.87	0.88	0.88	
			τ	0.50	0.70	0.77	0.79	0.80	0.80	
			($\tau\alpha$)	0.45	0.63	0.69	0.71	0.72	0.72	
2	Feb	16	τ_r	0.60	0.84	0.90	0.91	0.92	0.92	
			τ_a	0.85	0.86	0.86	0.87	0.88	0.88	
			τ	0.51	0.71	0.78	0.80	0.80	0.81	
			($\tau\alpha$)	0.46	0.64	0.70	0.71	0.72	0.72	
3	Mar	16	τ_r	0.61	0.84	0.90	0.91	0.92	0.92	
			τ_a	0.85	0.86	0.87	0.87	0.88	0.88	
			τ	0.52	0.72	0.78	0.80	0.81	0.81	
			($\tau\alpha$)	0.47	0.65	0.70	0.72	0.72	0.72	
4	Abr	15	τ_r	0.61	0.84	0.90	0.91	0.92	0.92	
			τ_a	0.85	0.86	0.87	0.87	0.88	0.88	
			τ	0.52	0.72	0.78	0.80	0.80	0.81	
			($\tau\alpha$)	0.46	0.64	0.70	0.72	0.72	0.72	
5	May	15	τ_r	0.59	0.83	0.89	0.91	0.92	0.92	
			τ_a	0.85	0.85	0.86	0.87	0.88	0.88	
			τ	0.50	0.71	0.77	0.79	0.80	0.80	
			($\tau\alpha$)	0.45	0.64	0.69	0.71	0.72	0.72	
6	Jun	11	τ_r	0.58	0.82	0.89	0.91	0.92	0.92	
			τ_a	0.85	0.85	0.86	0.87	0.87	0.88	
			τ	0.49	0.70	0.77	0.79	0.80	0.80	
			($\tau\alpha$)	0.44	0.63	0.69	0.71	0.72	0.72	
7	Jul	17	τ_r	0.59	0.82	0.89	0.91	0.92	0.92	
			τ_a	0.85	0.85	0.86	0.87	0.88	0.88	
			τ	0.50	0.70	0.77	0.79	0.80	0.80	
			($\tau\alpha$)	0.44	0.63	0.69	0.71	0.72	0.72	
8	Ago	14	τ_r	0.60	0.83	0.90	0.91	0.92	0.92	
			τ_a	0.85	0.86	0.86	0.87	0.88	0.88	
			τ	0.51	0.71	0.78	0.80	0.80	0.81	
			($\tau\alpha$)	0.46	0.64	0.70	0.71	0.72	0.72	
9	Sep	15	τ_r	0.61	0.84	0.90	0.91	0.92	0.92	
			τ_a	0.85	0.86	0.87	0.87	0.88	0.88	
			τ	0.52	0.72	0.78	0.80	0.81	0.81	
			($\tau\alpha$)	0.47	0.65	0.70	0.72	0.72	0.72	
10	Oct	15	τ_r	0.61	0.84	0.90	0.91	0.92	0.92	
			τ_a	0.85	0.86	0.87	0.87	0.88	0.88	
			τ	0.52	0.72	0.78	0.80	0.80	0.81	
			($\tau\alpha$)	0.46	0.64	0.70	0.72	0.72	0.72	
11	Nov	14	τ_r	0.59	0.83	0.89	0.91	0.92	0.92	
			τ_a	0.85	0.85	0.86	0.87	0.88	0.88	
			τ	0.50	0.71	0.77	0.79	0.80	0.80	
			($\tau\alpha$)	0.45	0.64	0.69	0.71	0.72	0.72	
12	Dic	10	τ_r	0.58	0.82	0.89	0.91	0.92	0.92	
			τ_a	0.85	0.85	0.86	0.87	0.87	0.88	
			τ	0.49	0.70	0.77	0.79	0.80	0.80	
			($\tau\alpha$)	0.44	0.63	0.69	0.71	0.72	0.72	

3.6 COLECTORES SOLARES PLANOS ANÁLISIS TÉRMICO

Mes: Febrero
Día represen.: 16

No. de cubiertas (n):	1 cub.	Material tuberías:	cobre
Coef. de extinción (K):	0.32 /cm.	Separación tubos (W):	0.15 m.
Espesor del vidrio (L):	0.4 cm.	Diámetro exterior (D):	0.0127 m.
Transmisión (τ_a):	0.88	Diámetro interior (Di):	0.0114 m.
Temp. placa (T_p):	65 ° C.	Espesor de la placa:	0.0002 m.
Velocidad viento (v):	2.60 m/s	Conductancia unión (C_b):	50.00 W/m °K
Material aislante:	poliuretano	Coef. transf. calor (ht):	1500.0 W/m ² °K
Conduc. térmica (k):	0.024 W/m °C	Flujo (m):	0.02 kg/s
Espesor aislante (L):	0.03 m.	Area del colector (A):	1.6 m ²
Inclinación colector (s):	19.40 °	Gasto másico (G):	0.0125 kg/s m ²
Emisividad placa (ϵ_p):	0.90	Presión atmosférica (p):	0.75 atm.
Factor a-1:	0.26		
Factor a-2:	0.00		
Factor a-3:	0.00		
Emisividad vidrio (ϵ_v):	0.88		
Const. Stefan Boltzmann (σ):	6E-08 W/m ² °K ⁴		
Separación placas (L')::	0.025 m		

No.	Concepto	H O R A R I O					
		7	8	9	10	11	12
1.-	Cálculo de "S"						
a	Hh	0.35	0.96	1.59	2.14	2.52	2.66
b	Hth (HR)	0.39	1.08	1.80	2.44	2.89	3.04
c	τ (1 cub.)	0.51	0.71	0.78	0.80	0.80	0.81
d	(τ_a)	0.46	0.64	0.70	0.71	0.72	0.72
e	(τ_a)e	0.49	0.67	0.73	0.75	0.75	0.75
f	S	0.19	0.72	1.31	1.82	2.17	2.29
2.-	Cálculo de "UL"	W/m ² °K					
a	T c1 inicial	26.12	26.59	28.21	31.25	32.95	33.96
b	hr p-c1	5.90	5.91	5.95	6.04	6.08	6.11
c	Tm (°K)	318.56	318.80	319.61	321.13	321.98	322.48
d	α	0.31	0.31	0.31	0.31	0.31	0.31
e	Ra	24065	23691	22419	20106	18854	18124
f	Nu	2.86	2.85	2.81	2.74	2.70	2.67
g	k	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03
h	h p-c1	3.17	3.16	3.13	3.06	3.02	2.99
i	hr c1-a	4.90	4.93	5.03	5.23	5.34	5.40
j	hw	15.58	15.58	15.58	15.58	15.58	15.58
k	Ut	6.29	6.29	6.30	6.33	6.34	6.35
l	Tc	26.12	26.59	28.21	31.25	32.95	33.96
m	Ub	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80
n	UL (W/m ² °K)	7.09	7.09	7.10	7.13	7.14	7.15

No.	Concepto	H O R A R I O					
		12	13	14	15	16	17
1.-	Cálculo de "S"						
a	Hh	2.66	2.52	2.14	1.59	0.96	0.35
b	Hth (HR)	3.04	2.89	2.44	1.80	1.08	0.39
c	τ (1 cub.)	0.81	0.80	0.80	0.78	0.71	0.51
d	($\tau\alpha$)	0.72	0.72	0.71	0.70	0.64	0.46
e	($\tau\alpha$) _a	0.75	0.75	0.75	0.73	0.67	0.49
f	S	2.29	2.17	1.82	1.31	0.72	0.19
2.-	Cálculo de "UL"						
a	T _{c1} inicial	33.96	34.71	35.39	34.98	34.64	33.56
b	hr _{p-c1}	6.11	6.13	6.15	6.14	6.13	6.10
c	T _m (°K)	322.48	322.86	323.20	322.99	322.82	322.28
d	α	0.31	0.31	0.31	0.31	0.31	0.31
e	Ra	18124	17589	17108	17397	17638	18412
f	Nu	2.67	2.65	2.63	2.64	2.65	2.68
g	k	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03
h	h _{p-c1}	2.99	2.97	2.95	2.96	2.97	3.00
i	hr _{c1-a}	5.40	5.45	5.50	5.47	5.45	5.38
j	hw	15.58	15.58	15.58	15.58	15.58	15.58
k	Ut	6.35	6.35	6.36	6.36	6.35	6.35
l	Tc	33.96	34.71	35.39	34.98	34.64	33.56
m	Ub	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80
n	UL (W/m ² °K)	7.15	7.15	7.16	7.16	7.15	7.15

CALCULO DE "Nu" DIVIDIENDO LA FORMULA EN PARTES

No.	Concepto	H O R A R I O					
		7	8	9	10	11	12
2-f	Nu						
	a	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
	b	1.29	1.28	1.28	1.26	1.25	1.24
	c	0.57	0.56	0.54	0.48	0.45	0.43
	Suma	2.86	2.85	2.81	2.74	2.70	2.67
No.	Concepto	H O R A R I O					
		12	13	14	15	16	17
2-f	Nu						
	a	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
	b	1.24	1.23	1.23	1.23	1.23	1.24
	c	0.43	0.42	0.40	0.41	0.42	0.44
	Suma	2.67	2.65	2.63	2.64	2.65	2.68

TEMP. AMBIENTE (°C)		
Mes:	Febrero	
No.	Hora	Temp.
1	7	8.90
2	8	9.60
3	9	12.00
4	10	16.50
5	11	19.00
6	12	20.50
7	13	21.60
8	14	22.60
9	15	22.00
10	16	21.50
11	17	19.90

Temperatura promedio: 17.65 °C.

COLECTORES SOLARES PLANOS
FACTORES DE EFICIENCIA
FACTOR DE REMOCION DE CALOR
CALOR UTIL

Mes: Febrero
Día represen.: 16

No. de cubiertas (n): 1 cub.
Material tuberías: cobre
Conductividad (k): 385 W/m²K
Separación tubos (W): 0.15 m.
Diámetro exterior (D): 0.0127 m.
Diámetro interior (Di): 0.0114 m.
Espesor de la placa: 0.0002 m.
Conductancia unión (Cb): 50 W/m²K
Coef. transf. calor (hf): 1500 W/m²K
Flujo (m): 0.02 kg/s
Area del colector (A): 1.6 m²
Gasto másico (G): 0.0125 kg/s m²
Calor esp. agua (Cp): 4190 J/kg °C
Temp. entrada (Te): 3 °C + Ta

No.	Concepto	H O R A R I O					
		7	8	9	10	11	12
1	m	9.59	9.60	9.60	9.62	9.63	9.64
2	F	0.88	0.88	0.88	0.88	0.88	0.88
3	F'	0.86	0.86	0.86	0.86	0.86	0.85
4	Fr	0.81	0.81	0.81	0.81	0.81	0.81
5	Qu MJ/col.	0.15	0.84	1.60	2.26	2.70	2.86
6	Qu W/col	41.73	232.63	443.34	626.5	751.0	795.1

No.	Concepto	H O R A R I O					
		12	13	14	15	16	17
1	m	9.64	9.64	9.64	9.64	9.64	9.63
2	F	0.88	0.88	0.88	0.88	0.88	0.88
3	F'	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85	0.86
4	Fr	0.81	0.81	0.81	0.81	0.81	0.81
5	Qu MJ/col.	2.86	2.70	2.25	1.59	0.84	0.15
6	Qu W/col	795.1	750.7	625.9	442.53	231.99	41.43

Calor útil por día (Qu):
17.94 MJ/colector

Tot. HR 20.24 MJ/M²

Eficiencia para un sólo
calentador (nd), considerando
"Qu" y "HR" por día
0.55

HORAS	Qu	HR	nd
7	0.15	0.39	0.24
8	0.84	1.08	0.49
9	1.60	1.80	0.55
10	2.26	2.44	0.58
11	2.70	2.89	0.59
12	2.86	3.04	0.59
13	2.70	2.89	0.59
14	2.25	2.44	0.58
15	1.59	1.80	0.55
16	0.84	1.08	0.48
17	0.15	0.39	0.24
Promedio			0.50

**COLECTORES SOLARES PLANOS
CALCULO DEL NUMERO DE COLECTORES SOLARES
CALCULO DEL TERMOTANQUE**

Mes: **Febrero**
 Día represen.: **16**

**USO INDUSTRIAL
LAVANDERIA**

Aportación solar: **0.50**
 Pérdidas de calor (nl): **0.10**

Consumo agua caliente:
 Ropa blanca: **72.7 litros (1/2 hora)**
 Ropa de color: **36.3 litros (1/2 hora)**

Consumo agua caliente:
 Máximo horario: **109 litros/hora**
 Máximo diario: **872 litros/día**

Flujo (m): **872 lts/día**
 Calor esp. agua (Cp): **0.0042 MJ/kg °C**
 Area del colector (A): **1.6 m²**

m	C _p	T-tan.	T _e	Q _L	Q _u	A _c	No. de	Vol. termo-
lts/día	MJ/kgC	°C	°C	MJ/día	MJ/c-d	m ²	colec.	tanque (lts)
872	0.0042	60.00	17.65	155.12	17.94	7.69	4.80	461.19

**COLECTORES SOLARES PLANOS
ANALISIS TERMICO**

Mes: Julio
Día represen.: 17

No. de cubiertas (n): 1 cub.

Material tuberías: cobre

Coef. de extinción (K): 0.32 /cm.
Espesor del vidrio (L): 0.4 cm.
Transmisión (τ_a): 0.88

Separación tubos (W): 0.15 m.
Diámetro exterior (D): 0.0127 m.
Diámetro interior (Di): 0.0114 m.
Espesor de la placa: 0.0002 m.
Conductancia unión (Cb): 50 W/m °K
Coef. transf. calor (hr): 1500 W/m²°K
Flujo (m): 0.02 kg/s
Area del colector (A): 1.6 m²
Gasto másico (G): 0.0125 kg/s m²

Temp. placa (Tp): 65 °C.
Velocidad viento (v): 2.60 m/s
Material aislante: poliuretano
Conduc. térmica (k): 0.024 W/m °C
Espesor aislante (L): 0.03 m.
Inclinación colector (s): 19.40 °
Emisividad placa (ep): 0.90
Factor a-1: 0.26
Factor a-2: 0.00
Factor a-3: 0.00
Emisividad vidrio (ev): 0.88

Presión atmosférica (p): 0.75 atm.

Const. Stefan Boltzmann (σ): 6E-08 W/m²°K⁴
Separación placas (L'): 0.025 m

No.	Concepto	H O R A R I O					
		7	8	9	10	11	12
1.-	Cálculo de "S"						
a	Hh	0.61	1.08	1.56	1.96	2.23	2.33
b	Hth (HR)	0.56	1.00	1.43	1.79	2.04	2.13
c	τ (1 cub.)	0.50	0.70	0.77	0.79	0.80	0.80
d	(τ_a)	0.44	0.63	0.69	0.71	0.72	0.72
e	(τ_a)e	0.48	0.66	0.72	0.74	0.75	0.75
f	S	0.27	0.66	1.03	1.33	1.53	1.60
2.-	Cálculo de "UL"	W/m ² °K					
a	T c1 inicial	22.62	23.01	24.49	27.24	28.90	29.76
b	hr p-c1	5.81	5.82	5.86	5.93	5.97	6.00
c	Tm (°K)	316.81	317.01	317.75	319.12	319.95	320.38
d	α	0.32	0.32	0.31	0.31	0.31	0.31
e	Ra	26931	26605	25383	23177	21885	21228
f	Nu	2.94	2.93	2.90	2.83	2.80	2.78
g	k	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03
h	h p-c1	3.24	3.23	3.20	3.15	3.11	3.09
i	hr c1-a	4.91	4.93	5.02	5.18	5.28	5.33
j	hw	15.58	15.58	15.58	15.58	15.58	15.58
k	Ut	6.28	6.28	6.29	6.32	6.33	6.34
l	Tc	28.93	29.26	30.55	32.92	34.35	35.10
m	Ub	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80
n	UL (W/m ² °K)	7.08	7.08	7.09	7.12	7.13	7.14

No.	Concepto	H O R A R I O						
		12	13	14	15	16	17	
1.-	Cálculo de "S"							
a	Hh	2.33	2.23	1.96	1.56	1.08	0.61	
b	Hth (HR)	2.13	2.04	1.79	1.43	1.00	0.56	
c	τ (1 cub.)	0.80	0.80	0.79	0.77	0.70	0.50	
d	($\tau\alpha$)	0.72	0.72	0.71	0.69	0.63	0.44	
e	($\tau\alpha$)e	0.75	0.75	0.74	0.72	0.66	0.48	
f	S	1.60	1.53	1.33	1.03	0.66	0.27	
2.-	Cálculo de "UL"							
a	T c1 inicial	29.76	30.47	31.11	30.71	30.40	29.45	
b	hr p-c1	6.00	6.02	6.03	6.02	6.01	5.99	
c	Tm (°K)	320.38	320.74	321.06	320.86	320.70	320.23	
d	α	0.31	0.31	0.31	0.31	0.31	0.31	
e	Ra	21228	20690	20211	20510	20743	21464	
f	Nu	2.78	2.76	2.74	2.75	2.76	2.78	
g	k	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	
h	h p-c1	3.09	3.08	3.06	3.07	3.08	3.10	
i	hr c1-a	5.33	5.38	5.41	5.39	5.37	5.31	
j	hw	15.58	15.58	15.58	15.58	15.58	15.58	
k	Ut	6.34	6.34	6.35	6.34	6.34	6.33	
l	Tc	35.10	35.71	36.25	35.91	35.64	34.82	
m	Ub	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80	
n	UL (W/m2 °K)	7.14	7.14	7.15	7.14	7.14	7.13	

CALCULO DE "Nu" DIVIDIENDO LA FORMULA EN PARTES

No.	Concepto	H O R A R I O						
		7	8	9	10	11	12	
2-f	Nu a	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	
	b	1.30	1.30	1.29	1.28	1.27	1.27	
	c	0.63	0.63	0.60	0.55	0.52	0.51	
	Suma	2.94	2.93	2.90	2.83	2.80	2.78	
No.	Concepto	H O R A R I O						
		12	13	14	15	16	17	
2-f	Nu a	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	
	b	1.27	1.26	1.26	1.26	1.26	1.27	
	c	0.51	0.50	0.48	0.49	0.50	0.51	
	Suma	2.78	2.76	2.74	2.75	2.76	2.78	

TEMP. AMBIENTE (°C)		
Mes: Julio		
No.	Hora	Temp.
1	7	13.00
2	8	13.50
3	9	15.40
4	10	18.90
5	11	21.00
6	12	22.10
7	13	23.00
8	14	23.80
9	15	23.30
10	16	22.90
11	17	21.70

Temperatura promedio: 19.87 °C.

COLECTORES SOLARES PLANOS
FACTORES DE EFICIENCIA
FACTOR DE REMOCION DE CALOR
CALOR UTIL

Mes: Julio
Día represen.: 17

No. de cubiertas (n): 1 cub.
Material tuberías: cobre
Conductividad (k): 385 W/m²K
Separación tubos (W): 0.15 m.
Diámetro exterior (D): 0.0127 m.
Diámetro interior (Di): 0.0114 m.
Espesor de la placa: 0.0002 m.
Conductancia unión (Cb): 50 W/m °K
Coef. transf. calor (hf): 1500 W/m²K
Flujo (m): 0.02 kg/s
Area del colector (A): 1.6 m²
Gasto másico (G): 0.0125 kg/s m²
Calor esp. agua (Cp): 4190 J/kg °C
Temp. entrada (Te): 3 °C + Ta

No.	Concepto	H O R A R I O						
		7	8	9	10	11	12	
1	m	9.59	9.59	9.60	9.61	9.62	9.63	
2	F	0.88	0.88	0.88	0.88	0.88	0.88	
3	F'	0.86	0.86	0.86	0.86	0.86	0.86	
4	Fr	0.81	0.81	0.81	0.81	0.81	0.81	
5	Qu MJ/col.	0.25	0.76	1.24	1.62	1.88	1.97	
6	Qu W/col	68.63	210.21	343.29	450.8	521.3	545.8	

No.	Concepto	H O R A R I O						
		12	13	14	15	16	17	
1	m	9.63	9.63	9.63	9.63	9.63	9.62	
2	F	0.88	0.88	0.88	0.88	0.88	0.88	
3	F'	0.86	0.86	0.86	0.86	0.86	0.86	
4	Fr	0.81	0.81	0.81	0.81	0.81	0.81	
5	Qu MJ/col.	1.97	1.88	1.62	1.23	0.75	0.25	
6	Qu W/col	545.8	521.1	450.3	342.63	209.62	68.30	

Calor útil por día (Qu):
13.44 MJ/colector

Tot. HR 15.77 MJ/M²

Eficiencia para un sólo
calentador (nD), considerando
"Qu" y "HR" por día
0.53

HORAS	Qu	HR	nD
7	0.25	0.56	0.27
8	0.76	1.00	0.47
9	1.24	1.43	0.54
10	1.62	1.79	0.57
11	1.88	2.04	0.58
12	1.97	2.13	0.58
13	1.88	2.04	0.57
14	1.62	1.79	0.56
15	1.23	1.43	0.54
16	0.75	1.00	0.47
17	0.25	0.56	0.27
Promedio			0.49

COLECTORES SOLARES PLANOS
CALCULO DEL NUMERO DE COLECTORES SOLARES
CALCULO DEL TERMOTANQUE

Mes: Julio
 Día represen.: 17

USO INDUSTRIAL
LAVANDERIA

Aportación solar: 0.50
 Pérdidas de calor (nl): 0.10

Consumo agua caliente:
 Ropa blanca: 72.70 litros (1/2 hora)
 Ropa de color: 36.30 litros (1/2 hora)

Consumo agua caliente:
 Máximo horario: 109.00 litros/hora
 Máximo diario: 872.00 litros/día

Flujo (m): 872.00 lts/día
 Calor esp. agua (Cp): 0.0042 MJ/kg °C
 Area del colector (A): 1.60 m²

m	Cp	T-tan.	Ta	Ql	Qu	Ac	No. de	Vol. termo-
lts/día	MJ/kgC	°C	°C	MJ/día	MJ/c-d	m ²	colec.	tanque (lts)
872	0.0042	60.00	19.87	146.96	13.44	9.72	6.08	583.39

CAPITULO 4

RESULTADOS OBTENIDOS

4.1 Aspectos generales del cálculo de los colectores solares.

Una de las ventajas de contar con programa de computadora para el análisis de sistemas solares para calentamiento de fluidos, es el de poder cambiar los valores de las distintas variables que intervienen en el diseño, observando como modifican el resultado inicial, optimizándolo.

Aprovechando el programa de cálculo elaborado en el capítulo 3, se han modificado algunos de los valores de los parámetros que afectan el área de colectores por utilizar. Se observa lo siguiente:

1. Superficie selectiva.

Se modifica la pintura negro mate comercial utilizada en el cálculo inicial por cromo negro (superficie selectiva), cambiándose la absorción de la placa de 0.88 a 0.92, y la emisividad de la placa de 0.90 a 0.20.

Se observa una disminución del área inicial de los colectores para el mes de Julio de 9.72 m^2 a 8.46 m^2 ; es decir, se obtiene una disminución del 14.9% respecto al área inicial.

En caso de aumentarse el espesor de la placa, el efecto de la superficie selectiva en la disminución del área inicial de los colectores es menor al porcentaje anterior.

Se presenta en éste capítulo dichos cálculos para el mes de Julio. Se muestra 2 veces el mismo cálculo; en el primero no se ha hecho el cálculo iterativo para la obtención de la temperatura de la cubierta, mientras que en el segundo caso si se hace, llegándose en ambos casos a la misma área de colectores; se concluye que pequeñas variaciones en la temperatura de la cubierta no afectan el resultado final.

2. Coeficiente de extinción (K).

El óxido de hierro en el vidrio determina el valor del coeficiente de extinción:

- vidrio con canto claro, poco contenido de hierro $K=0.04/\text{cm}$

- vidrio verdoso, alto contenido de hierro $K=0.32/\text{cm}$

Modificando el valor del coeficiente de extinción a $0.04/\text{cm}$ y contándose con una superficie selectiva, se obtiene una disminución del área de colectores (7.74 m^2) de 25.6% respecto al área inicial.

3. Espesor de la placa. (δ).

Al modificar el espesor de la placa de 0.2 mm. a 2 mm., se disminuye el área inicial de colectores a 7.24 m^2 , es decir, 34.3% respecto al área inicial. Sin

embargo, el costo de fabricación del colector se incrementa al aumentar el espesor de la placa.

4. Se modificaron en el programa de computadora las variables que se indican a continuación, sin lograrse una variación de importancia en la disminución del área de los colectores; por lo tanto se concluye que no es necesario llevar a cabo los cambios que se indican:

- a. Se modifica el espesor del vidrio de 4 mm. a 3 mm.
- b. Se modifica el espesor del aislante de 3 cm. a 5 cm.
- c. Se modifica la separación entre placas de 2.5 cm. a 5.0 cm.
- d. Se modifica el diámetro de la tubería de 1.27 cm. a 1.6 cm.

5. Calor específico (C_p).

Es evidente que para la lavandería analizada en este estudio, el líquido a utilizar en los colectores es el agua. Sin embargo, para una aplicación industrial distinta, el área de colectores varía de manera importante al cambiar el líquido a utilizar, modificándose en el cálculo el calor específico.

Es necesario el tomar en consideración el flujo requerido a circulación forzada, con objeto de lograr la temperatura deseada del líquido en cuestión.

Los anteriores análisis nos dan las bases para una construcción económica de los colectores, viéndose la necesidad de tener una buena calidad en su fabricación para poderse respetar los valores de las variables considerados en el cálculo.

ANÁLISIS ÓPTICO
TRANSMISIÓN Y ABSORCIÓN DE LA RADIACIÓN SOLAR EN EL COLECTOR

No. de cubiertas (n): 1 cub. Absorción solar de la placa (α): 0.92
 Coef. de extinción (K): 0.32 /cm. Reflexión difusa a 60° (ρ_d): 0.16
 Espesor del vidrio (L): 0.4 cm. Transmisión a 0°: τ_r : 0.92
 τ_a : 0.88 τ : 0.81

No.	Mes	Día re- presen.	Con- cepto	H	O	R	A	R	I	O
				7 17	8 16	9 15	10 14	11 13	12	
			ω	75	60	45	30	15	0	
1	Ene	17	τ_r	0.59	0.82	0.89	0.91	0.92	0.92	
			τ_a	0.85	0.85	0.86	0.87	0.88	0.88	
			τ	0.50	0.70	0.77	0.79	0.80	0.80	
			($\tau\alpha$)	0.46	0.66	0.72	0.74	0.75	0.75	
2	Feb	16	τ_r	0.60	0.84	0.90	0.91	0.92	0.92	
			τ_a	0.85	0.86	0.86	0.87	0.88	0.88	
			τ	0.51	0.71	0.78	0.80	0.80	0.81	
			($\tau\alpha$)	0.48	0.67	0.72	0.74	0.75	0.75	
3	Mar	16	τ_r	0.61	0.84	0.90	0.91	0.92	0.92	
			τ_a	0.85	0.86	0.87	0.87	0.88	0.88	
			τ	0.52	0.72	0.78	0.80	0.81	0.81	
			($\tau\alpha$)	0.48	0.67	0.73	0.74	0.75	0.75	
4	Abr	15	τ_r	0.61	0.84	0.90	0.91	0.92	0.92	
			τ_a	0.85	0.86	0.87	0.87	0.88	0.88	
			τ	0.52	0.72	0.78	0.80	0.80	0.81	
			($\tau\alpha$)	0.48	0.67	0.73	0.74	0.75	0.75	
5	May	15	τ_r	0.59	0.83	0.89	0.91	0.92	0.92	
			τ_a	0.85	0.85	0.86	0.87	0.88	0.88	
			τ	0.50	0.71	0.77	0.79	0.80	0.80	
			($\tau\alpha$)	0.47	0.66	0.72	0.74	0.75	0.75	
6	Jun	11	τ_r	0.58	0.82	0.89	0.91	0.92	0.92	
			τ_a	0.85	0.85	0.86	0.87	0.87	0.88	
			τ	0.49	0.70	0.77	0.79	0.80	0.80	
			($\tau\alpha$)	0.46	0.65	0.72	0.74	0.75	0.75	
7	Jul	17	τ_r	0.59	0.82	0.89	0.91	0.92	0.92	
			τ_a	0.85	0.85	0.86	0.87	0.88	0.88	
			τ	0.50	0.70	0.77	0.79	0.80	0.80	
			($\tau\alpha$)	0.46	0.66	0.72	0.74	0.75	0.75	
8	Ago	14	τ_r	0.60	0.83	0.90	0.91	0.92	0.92	
			τ_a	0.85	0.86	0.86	0.87	0.88	0.88	
			τ	0.51	0.71	0.78	0.80	0.80	0.81	
			($\tau\alpha$)	0.47	0.67	0.72	0.74	0.75	0.75	
9	Sep	15	τ_r	0.61	0.84	0.90	0.91	0.92	0.92	
			τ_a	0.85	0.86	0.87	0.87	0.88	0.88	
			τ	0.52	0.72	0.78	0.80	0.81	0.81	
			($\tau\alpha$)	0.48	0.67	0.73	0.74	0.75	0.75	
10	Oct	15	τ_r	0.61	0.84	0.90	0.91	0.92	0.92	
			τ_a	0.85	0.86	0.87	0.87	0.88	0.88	
			τ	0.52	0.72	0.78	0.80	0.80	0.81	
			($\tau\alpha$)	0.48	0.67	0.73	0.74	0.75	0.75	
11	Nov	14	τ_r	0.59	0.83	0.89	0.91	0.92	0.92	
			τ_a	0.85	0.85	0.86	0.87	0.88	0.88	
			τ	0.50	0.71	0.77	0.79	0.80	0.80	
			($\tau\alpha$)	0.47	0.66	0.72	0.74	0.75	0.75	
12	Dic	10	τ_r	0.58	0.82	0.89	0.91	0.92	0.92	
			τ_a	0.85	0.85	0.86	0.87	0.87	0.88	
			τ	0.49	0.70	0.77	0.79	0.80	0.80	
			($\tau\alpha$)	0.46	0.65	0.72	0.74	0.75	0.75	

COLECTORES SOLARES PLANOS
ANÁLISIS TÉRMICO

Mes: Julio
Día represen.: 17

No. de cubiertas (n): 1 cub.

Material tuberías: cobre

Coef. de extinción (K): 0.32 /cm.
Espesor del vidrio (L): 0.4 cm.
Transmisión (τ): 0.88

Separación tubos (W): 0.15 m.
Diámetro exterior (D): 0.0127 m.
Diámetro interior (Di): 0.0114 m.
Espesor de la placa: 0.0002 m.
Conductancia unión (Cb): 50 W/m²K
Coef. transf. calor (hr): 1500 W/m²K
Flujo (m): 0.02 kg/s
Área del colector (A): 1.6 m²
Gasto másico (G): 0.0125 kg/s m²

Temp. placa (Tp): 65 °C.
Velocidad viento (v): 2.60 m/s
Material aislante: poliuretano
Conduc. térmica (k): 0.024 W/m °C
Espesor aislante (L): 0.03 m.
Inclinación colector (s): 19.40 °
Emisividad placa (ϵ_p): 0.20
Factor a-1: 0.26
Factor a-2: 0.00
Factor a-3: 0.00
Emisividad vidrio (ϵ_v): 0.88
Const. Stefan Boltzmann (σ): 6E-08 W/m²K⁴
Separación placas (L'): 0.025 m

Presión atmosférica (p): 0.75 atm.

No.	Concepto	H O R A R I O					
		7	8	9	10	11	12
1.-	Cálculo de "S"						
a	Hh	0.61	1.08	1.56	1.96	2.23	2.33
b	Hth (HR)	0.56	1.00	1.43	1.79	2.04	2.13
c	τ (1 cub.)	0.50	0.70	0.77	0.79	0.80	0.80
d	($\tau\alpha$)	0.46	0.66	0.72	0.74	0.75	0.75
e	($\tau\alpha$) _e	0.49	0.69	0.75	0.77	0.78	0.78
f	S	0.28	0.69	1.07	1.38	1.59	1.66
2.-	Cálculo de "UL"	W/m ² K					
a	T _{c1} inicial	28.89	29.22	30.51	32.88	34.30	35.05
b	hr _{p-c1}	1.45	1.45	1.46	1.48	1.49	1.49
c	T _m (°K)	319.95	320.11	320.76	321.94	322.65	323.03
d	α	0.31	0.31	0.31	0.31	0.31	0.31
e	R _a	21893	21640	20660	18905	17881	17348
f	Nu	2.80	2.79	2.76	2.70	2.66	2.64
g	k	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03
h	h _{p-c1}	3.11	3.10	3.08	3.02	2.98	2.96
i	hr _{c1-a}	5.07	5.09	5.18	5.33	5.43	5.48
j	hw	15.58	15.58	15.58	15.58	15.58	15.58
k	Ut	3.74	3.73	3.72	3.70	3.68	3.68
l	T _c	22.41	22.80	24.30	27.06	28.72	29.59
m	U _b	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80
n	UL (W/m ² °K)	4.54	4.53	4.52	4.50	4.48	4.48

No.	Concepto	H O R A R I O					
		12	13	14	15	16	17
1.-	Cálculo de "S"						
a	Hh	2.33	2.23	1.96	1.56	1.08	0.61
b	Hth (HR)	2.13	2.04	1.79	1.43	1.00	0.56
c	τ (1 cub.)	0.80	0.80	0.79	0.77	0.70	0.50
d	$(\tau\alpha)$	0.75	0.75	0.74	0.72	0.66	0.46
e	$(\tau\alpha)_e$	0.78	0.78	0.77	0.75	0.69	0.49
f	S	1.66	1.59	1.38	1.07	0.69	0.28
2.-	Cálculo de "UL"						
a	T _{ci} inicial	35.05	35.66	36.20	35.86	35.59	34.78
b	h _{r p-c1}	1.49	1.50	1.50	1.50	1.50	1.49
c	T _m (°K)	323.03	323.33	323.60	323.43	323.30	322.89
d	α	0.31	0.31	0.31	0.31	0.31	0.31
e	R _a	17348	16918	16541	16778	16967	17539
f	Nu	2.64	2.62	2.61	2.62	2.62	2.65
g	k	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03
h	h _{p-c1}	2.96	2.95	2.93	2.94	2.95	2.97
i	h _{r c1-a}	5.48	5.52	5.55	5.53	5.51	5.46
j	hw	15.58	15.58	15.58	15.58	15.58	15.58
k	U _t	3.68	3.67	3.66	3.67	3.67	3.68
l	T _c	29.59	30.30	30.94	30.54	30.22	29.27
m	U _b	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80
n	UL (W/m ² °K)	4.48	4.47	4.46	4.47	4.47	4.48

CALCULO DE "Nu" DIVIDIENDO LA FORMULA EN PARTES

No.	Concepto	H O R A R I O						
		7	8	9	10	11	12	
2-f	Nu	a	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
		b	1.27	1.27	1.26	1.25	1.23	1.23
		c	0.52	0.52	0.50	0.45	0.42	0.41
		Suma	2.80	2.79	2.76	2.70	2.66	2.64
No.	Concepto	H O R A R I O						
		12	13	14	15	16	17	
2-f	Nu	a	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
		b	1.23	1.22	1.22	1.22	1.22	1.23
		c	0.41	0.40	0.39	0.39	0.40	0.42
		Suma	2.64	2.62	2.61	2.62	2.62	2.65

TEMP. AMBIENTE (°C)		
Mes: Julio		
No.	Hora	Temp.
1	7	13.00
2	8	13.50
3	9	15.40
4	10	18.00
5	11	21.00
6	12	22.10
7	13	23.00
8	14	23.80
9	15	23.30
10	16	22.90
11	17	21.70

Temperatura promedio: 19.87 °C.

COLECTORES SOLARES PLANOS
FACTORES DE EFICIENCIA
FACTOR DE REMOCION DE CALOR
CALOR UTIL

Mes: Julio
Día represen.: 17

No. de cubiertas (n): 1 cub.
Material tuberías: cobre
Conductividad (k): 385 W/m²K
Separación tubos (W): 0.15 m.
Diámetro exterior (D): 0.0127 m.
Diámetro interior (Di): 0.0114 m.
Espesor de la placa: 0.0002 m.
Conductancia unión (Cb): 50 W/m²K
Coef. transf. calor (hr): 1500 W/m²K
Flujo (m): 0.02 kg/s
Area del colector (A): 1.6 m²
Gasto másico (G): 0.0125 kg/s m²
Calor esp. agua (Cp): 4190 J/kg °C
Temp. entrada (Ta): 3 °C + Ta

No.	Concepto	H O R A R I O					
		7	8	9	10	11	12
1	m	7.68	7.67	7.66	7.64	7.63	7.62
2	F	0.92	0.92	0.92	0.92	0.92	0.92
3	F'	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90
4	Fr	0.87	0.87	0.87	0.87	0.87	0.87
5	Qu MJ/col.	0.32	0.88	1.42	1.85	2.14	2.24
6	Qu W/col	87.93	245.57	394.08	514.7	593.9	621.6

No.	Concepto	H O R A R I O					
		12	13	14	15	16	17
1	m	7.62	7.62	7.61	7.62	7.62	7.63
2	F	0.92	0.92	0.92	0.92	0.92	0.92
3	F'	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90
4	Fr	0.87	0.87	0.87	0.87	0.87	0.87
5	Qu MJ/col.	2.24	2.14	1.86	1.42	0.89	0.32
6	Qu W/col	621.6	594.2	515.4	394.95	246.30	88.32

Calor útil por día (Qu):
15.47 MJ/colector

Tot. HR 15.77 MJ/M²

Eficiencia para un sólo
calentador (nD), considerando
"Qu" y "HR" por día
0.61

HORAS	Qu	HR	nD
7	0.32	0.56	0.35
8	0.88	1.00	0.55
9	1.42	1.43	0.62
10	1.85	1.79	0.65
11	2.14	2.04	0.66
12	2.24	2.13	0.66
13	2.14	2.04	0.66
14	1.86	1.79	0.65
15	1.42	1.43	0.62
16	0.89	1.00	0.56
17	0.32	0.56	0.35
Promedio			0.57

COLECTORES SOLARES PLANOS
CALCULO DEL NUMERO DE COLECTORES SOLARES
CALCULO DEL TERMOTANQUE

Mes: Julio
 Día represen.: 17

USO INDUSTRIAL
LAVANDERIA

Aportación solar: 0.50
 Pérdidas de calor (nl): 0.10

Consumo agua caliente:
 Ropa blanca: 72.70 litros (1/2 hora)
 Ropa de color: 36.30 litros (1/2 hora)

Consumo agua caliente:
 Máximo horario: 109.00 litros/hora
 Máximo diario: 872.00 litros/día

Flujo (m): 872.00 lts/día
 Calor esp. agua (Cp): 0.0042 MJ/kg °C
 Area del colector (A): 1.60 m²

m	Cp	T-tan.	Te	QL	Qu	Ac	No. de	Vol. termo-
lts/día	MJ/kgC	°C	°C	MJ/día	MJ/c-d	m ²	colec.	tanque (lts)
872	0.0042	60.00	19.87	146.96	15.47	8.45	5.28	506.70

COLECTORES SOLARES PLANOS
ANÁLISIS TÉRMICO

Mes: Julio
Día represen.: 17

No. de cubiertas (n): 1 cub. Material tuberías: cobre

Coef. de extinción (K): 0.32 /cm.
Espesor del vidrio (L): 0.4 cm.
Transmisión (ta): 0.88

Temp. placa (Tp): 65 ° C.
Velocidad viento (v): 2.60 m/s
Material aislante: poliuretano
Conduc. térmica (k): 0.024 W/m °C
Espesor aislante (L): 0.03 m.
Inclinación colector (s): 19.40 °
Emisividad placa (ep): 0.20
Factor a-1: 0.26
Factor a-2: 0.00
Factor a-3: 0.00
Emisividad vidrio (ev): 0.88
Const. Stefan Boltzmann (σ): 6E-08 W/m²°K⁴
Separación placas (L'): 0.025 m

Separación tubos (W): 0.15 m.
Diámetro exterior (D): 0.0127 m.
Diámetro interior (Di): 0.0114 m.
Espesor de la placa: 0.0002 m.
Conductancia unión (Cb): 50 W/m °K
Coef. transf. calor (hf): 1500 W/m²°K
Flujo (m): 0.02 kg/s
Área del colector (A): 1.6 m²
Gasto másico (G): 0.0125 kg/s m²
Presión atmosférica (p): 0.75 atm.

No.	Concepto	H O R A R I O					
		7	8	9	10	11	12
1.-	Cálculo de "S"						
a	Hh	0.61	1.08	1.56	1.96	2.23	2.33
b	Hth (HR)	0.56	1.00	1.43	1.79	2.04	2.13
c	τ (1 cub.)	0.50	0.70	0.77	0.79	0.80	0.80
d	(τα)	0.46	0.66	0.72	0.74	0.75	0.75
e	(τα)e	0.49	0.69	0.75	0.77	0.78	0.78
f	S	0.28	0.69	1.07	1.38	1.59	1.66
2.-	Cálculo de "UL"	W/m ² °K					
a	T c1 inicial	22.62	23.01	24.49	27.24	28.90	29.76
b	hr p-c1	1.41	1.41	1.42	1.44	1.45	1.46
c	Tm (°K)	316.81	317.01	317.75	319.12	319.95	320.38
d	α	0.32	0.32	0.31	0.31	0.31	0.31
e	Re	26931	26605	25383	23177	21885	21228
f	Nu	2.94	2.93	2.90	2.83	2.80	2.78
g	k	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03
h	h p-c1	3.24	3.23	3.20	3.15	3.11	3.09
i	hr c1-a	4.91	4.93	5.02	5.18	5.28	5.33
j	hw	15.58	15.58	15.58	15.58	15.58	15.58
k	Ut	3.79	3.79	3.78	3.76	3.74	3.74
l	Tc	22.62	23.01	24.50	27.24	28.90	29.76
m	Ub	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80
n	UL (W/m ² °K)	4.59	4.59	4.58	4.56	4.54	4.54

No.	Concepto	H O R A R I O					
		12	13	14	15	16	17
1.-	Cálculo de "S"						
a	Hh	2.33	2.23	1.96	1.56	1.08	0.61
b	Hth (HR)	2.13	2.04	1.79	1.43	1.00	0.56
c	τ (1 cub.)	0.80	0.80	0.79	0.77	0.70	0.50
d	($\tau\alpha$)	0.75	0.75	0.74	0.72	0.66	0.46
e	($\tau\alpha$)e	0.78	0.78	0.77	0.75	0.69	0.49
f	S	1.66	1.59	1.38	1.07	0.69	0.28
2.-	Cálculo de "UL"						
a	T c1 inicial	29.76	30.47	31.11	30.71	30.40	29.45
b	hr p-c1	1.46	1.46	1.47	1.46	1.46	1.45
c	Tm (°K)	320.38	320.74	321.06	320.86	320.70	320.23
d	α	0.31	0.31	0.31	0.31	0.31	0.31
e	Ra	21228	20690	20211	20510	20743	21464
f	Nu	2.78	2.76	2.74	2.75	2.76	2.78
g	k	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03
h	h p-c1	3.09	3.08	3.06	3.07	3.08	3.10
i	hr c1-a	5.33	5.38	5.41	5.39	5.37	5.31
j	hw	15.58	15.58	15.58	15.58	15.58	15.58
k	Ur	3.74	3.73	3.72	3.73	3.73	3.74
l	Tc	29.76	30.48	31.11	30.71	30.40	29.45
m	Ub	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80
n	UL (W/m2 °K)	4.54	4.53	4.52	4.53	4.53	4.54

CALCULO DE "Nu" DIVIDIENDO LA FORMULA EN PARTES

No.	Concepto	H O R A R I O					
		7	8	9	10	11	12
2-f	Nu a	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
	b	1.30	1.30	1.29	1.28	1.27	1.27
	c	0.63	0.63	0.60	0.55	0.52	0.51
	Suma	2.94	2.93	2.90	2.83	2.80	2.78
No.	Concepto	H O R A R I O					
		12	13	14	15	16	17
2-f	Nu a	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
	b	1.27	1.26	1.26	1.26	1.26	1.27
	c	0.51	0.50	0.48	0.49	0.50	0.51
	Suma	2.78	2.76	2.74	2.75	2.76	2.78

TEMP. AMBIENTE (°C)		
Mes: Julio		
No.	Hora	Temp.
1	7	13.00
2	8	13.50
3	9	15.40
4	10	18.90
5	11	21.00
6	12	22.10
7	13	23.00
8	14	23.80
9	15	23.30
10	16	22.90
11	17	21.70

Temperatura promedio: 19.87 °C.

COLECTORES SOLARES PLANOS
FACTORES DE EFICIENCIA
FACTOR DE REMOCION DE CALOR
CALOR UTIL

Mes: Julio
Día represen.: 17

No. de cubiertas (n): 1 cub.
Material tuberías: cobre
Conductividad (k): 385 W/m²K
Separación tubos (W): 0.15 m.
Diámetro exterior (D): 0.0127 m.
Diámetro interior (Di): 0.0114 m.
Espesor de la placa: 0.0002 m.
Conductancia unión (Cb): 50 W/m²°K
Coef. transf. calor (hf): 1500 W/m²°K
Flujo (m): 0.02 kg/s
Area del colector (A): 1.6 m²
Gasto másico (G): 0.0125 kg/s m²
Calor esp. agua (Cp): 4190 J/kg °C
Temp. entrada (Te): 3 °C + Ta

No.	Concepto	H O R A R I O					
		7	8	9	10	11	12
1	m	7.72	7.72	7.71	7.69	7.68	7.68
2	F	0.92	0.92	0.92	0.92	0.92	0.92
3	F'	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90
4	Fr	0.87	0.87	0.87	0.87	0.87	0.87
5	Qu MJ/col.	0.32	0.88	1.42	1.85	2.13	2.23
6	Qu W/col	87.58	244.98	393.24	513.6	592.6	620.3

No.	Concepto	H O R A R I O					
		12	13	14	15	16	17
1	m	7.68	7.67	7.66	7.67	7.67	7.68
2	F	0.92	0.92	0.92	0.92	0.92	0.92
3	F'	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90
4	Fr	0.87	0.87	0.87	0.87	0.87	0.87
5	Qu MJ/col.	2.23	2.13	1.85	1.42	0.88	0.32
6	Qu W/col	620.3	592.9	514.2	394.01	245.62	87.92

Calor útil por día (Qu):
15.43 MJ/colector

Tot. HR 15.77 MJ/M2

Eficiencia para un sólo
calentador (nd), considerando
"Qu" y "HR" por día
0.61

HORAS	Qu	HR	nd
7	0.32	0.56	0.35
8	0.88	1.00	0.55
9	1.42	1.43	0.62
10	1.85	1.79	0.64
11	2.13	2.04	0.65
12	2.23	2.13	0.66
13	2.13	2.04	0.65
14	1.85	1.79	0.65
15	1.42	1.43	0.62
16	0.88	1.00	0.55
17	0.32	0.56	0.35
Promedio			0.57

**COLECTORES SOLARES PLANOS
 CALCULO DEL NUMERO DE COLECTORES SOLARES
 CALCULO DEL TERMOTANQUE**

Mes: Julio
 Día represen.: 17

**ESTA TESIS NO DEBE
 SALIR DE LA BIBLIOTECA**

**USO INDUSTRIAL
 LAVANDERIA**

Aportación solar: 0.50
 Pérdidas de calor (n): 0.10

Consumo agua caliente:
 Ropa blanca: 72.70 litros (1/2 hora)
 Ropa de color: 36.30 litros (1/2 hora)

Consumo agua caliente:
 Máximo horario: 109.00 litros/hora
 Máximo diario: 872.00 litros/día

Flujo (m): 872.00 lts/día
 Calor esp. agua (Cp): 0.0042 MJ/kg °C
 Area del colector (A): 1.60 m²

m	Cp	T-tan.	Te	QL	Qu	Ac	No. de	Vol. termo-
lts/día	MJ/kgC	°C	°C	MJ/día	MJ/c-d	m ²	colec.	tanque (lts)
872	0.0042	60.00	19.87	146.96	15.43	8.46	5.29	507.88

4.2 Sistema solar a emplear en la lavandería.

En el capítulo 3 se presenta el cálculo del número de colectores solares y del termotanque para los meses durante los cuales se tiene la mayor y la menor irradiación total horaria para la Ciudad de México para las condiciones del colector indicadas anteriormente, es decir, para los meses de febrero y de julio.

El sistema solar obtenido es al siguiente:

a. Para el mes de febrero:

número de colectores de una cubierta: 4.80
volumen del termotanque: 461.19 litros

b. Para el mes de julio:

número de colectores de una cubierta: 6.08
volumen del termotanque: 583.39 litros

c. Sistema solar elegido:

número de colectores de una cubierta: 6.00
volumen del termotanque: 500 litros

El sistema solar para la lavandería constará de:

número de colectores de 1.6 m²: 6 pzas X 6 lavadoras = 36 pzas.
número de termotanques de 500 litros: 1 pza X 6 lavadoras: 6 pzas

4.3 Aspectos generales del sistema solar a utilizar.

El sistema solar consta de colectores solares planos y de termotanques.

Los colectores solares planos constan de:

- vidrio de 4 mm. de espesor;
- marco de perfil de aluminio, sellado adecuadamente para evitar pérdidas de calor;
- lámina de cobre de 0.2 mm. de espesor;
- tubería de 3/8" de cobre soldada a la placa;
- tubo cabezal de 1" de cobre;
- pintura negro mate comercial;
- material aislante: poliuretano;
- placa trasera de acero galvanizado o de aluminio;
- válvula anticongelante.

Los termotanques constan de:

- aislamiento de poliuretano de 3 cm de espesor, para evitar pérdida de calor;
- revestimiento interior de la placa con esmalte, para contar con un mayor período de duración;
- revestimiento exterior del termotanque con pintura epóxica;
- conexiones de entrada y de salida.

En lugares a donde se registran temperaturas inferiores a los 5°C, se deben tomar previsiones para evitar que las tuberías del colector se revienten por congelamiento de agua, pudiendo optar por las siguientes alternativas:

- vaciar el calentador solar de forma manual por medio de válvulas en el invierno;
- agregar un anticongelante al circuito, para lo cual es necesario adaptar un intercambiador de calor;
- colocar una válvula anticongelante para que de forma automática se drene el colector cuando la temperatura ambiente esté cercana a la del congelamiento del agua [10,11].
- colocar un sensor de temperatura, para que cuando se tengan temperaturas inferiores a los 5°C, el termostato mande cerrar a través de válvulas la línea de llenado y se abra la línea de desagüe.

Es de vital importancia reducir las pérdidas de calor en el sistema solar, lo cual se logra aislando adecuadamente las partes lateral y posterior del colector, los tubos de entrada y salida del agua, así como el tanque de almacenamiento.

Para un funcionamiento óptimo del sistema solar, se deben de tomar en cuenta los siguientes factores al momento de su instalación:

- orientación de los calentadores solares (al sur, con una inclinación próxima a la latitud del lugar);
- inclinación del techo;

- proyección de sombras;
- se debe de tener una diferencia de altura mínima de 1.50 m. entre el tinaco y los calentadores solares;
- la base del tanque de almacenamiento de agua se debe de encontrar a mayor altura que el extremo superior del colector;
- la longitud de los tubos de conexión entre el colector y el tanque debe ser mínima;
- el tubo de agua caliente proveniente del colector hacia el termotanque debe de colocarse de forma ascendente;
- se debe de tener acceso para el mantenimiento de los calentadores solares, aún cuando dicho mantenimiento sea mínimo;
- es importante el considerar la velocidad de los vientos del lugar adonde se van a colocar los calentadores solares, con la finalidad de fijarlos adecuadamente [10,11].

El sistema solar tiene una vida útil mayor a los 20 años y requiere de poco mantenimiento.

Las ventajas del uso de los colectores solares han quedado indicadas en la sección 1.2, además de la evaluación económica que se incluye en el capítulo 5.

CAPITULO 5

ANALISIS ECONOMICO

5.1 Análisis comparativo de las 2 alternativas.

Habiéndose llevado a cabo el cálculo de los colectores solares para una lavandería en la Ciudad de México, el presente capítulo se dedica al análisis comparativo de ambas alternativas, es decir, el utilizar el sistema tradicional con el respectivo costo del consumo de gas, o bien el hacer una inversión inicial para poder contar con un sistema solar de calentamiento de agua con el consecuente ahorro del combustible.

La lavandería tipo objeto del presente análisis consta de los siguientes equipos:

1. Seis lavadoras comerciales marca General Electric, con capacidad de hasta 6 kg. de ropa seca, ciclos de lavado de 18.5 minutos más el tiempo de llenado de agua.
2. Dos tómbolas secadoras marca American Dryer, con calentamiento a base de gas, con capacidad de hasta 14 kg. de ropa seca por carga.
3. Un calentador de agua marca Laars, modelo LC-230, con calentamiento a base de gas, para incrementar 55° C de temperatura a 844 litros de agua en una hora, con tanque vertical con capacidad de 500 litros.
4. Un sistema hidroneumático marca Hydr-o-matic modelo Duplex, con un tanque pre-cargado de 200 litros.

Se toman como base de los consumos de gas en la lavandería tipo en la Ciudad de México los que me fueron proporcionados por distribuidores de maquinaria para lavanderías; de tal manera, se cuenta con la siguiente información:

El consumo de gas para un calentador de agua marca Laars, modelo LC-230 a nivel del mar es de 8.7 lts/hora de gas L.P. [8].

El consumo de gas del mismo calentador se incrementa para la Ciudad de México en la siguiente proporción:

$$(2,308 \text{ m.} / 300 \text{ m}) = 0.31, \text{ es decir, } 31\%.$$

Por lo tanto el consumo de gas en la Ciudad de México es de:

$$8.7 \times 1.31 = 11.4 \text{ lts/hora de gas L.P. [8].}$$

En base al análisis presentado en el capítulo 3, el consumo de agua caliente necesaria es de:

$$109 \text{ lts/hora/lavadora} \times 6 \text{ lavadoras} = 654 \text{ lts/hora}$$

El calentador Laars modelo LC-230 proporciona un incremento de 55°C de temperatura a 844 litros de agua en una hora; por lo tanto el consumo de gas L.P. que se tiene es de:

$$[654 \text{ lts/hora} / 844 \text{ lts/hora}] \times 11.4 \text{ lts/hora} = 8.84 \text{ lts/hora de gas L.P.}$$

Debido a que el factor de aportación solar es de 50%, el ahorro de gas que se tendrá en un día continuo de trabajo es:

$$8.84 \text{ lts/hora} \times 50\% \times 8 \text{ horas/día} = 35.36 \text{ lts/día}$$

Los precios unitarios de los paneles solares y termotanques correspondientes al análisis del costo de los calentadores solares, corresponden a Enero de 1995.

El precio unitario del gas se calcula considerando un incremento mensual del 2.5%, de acuerdo con la tabla que se anexa.

Se presenta el análisis de costos para las dos alternativas, así como la evaluación económica del proyecto para un período de cinco años.

TABLA DE DÍAS NO TRABAJADOS EN UN AÑO

C O N C E P T O	F E C H A S	NUMERO DE DÍAS	S U M A
Domingos	52	52	52
Días	1º de Enero	1	
	5 de Febrero	1	
	21 de Marzo	1	
	1º de Mayo	1	
	16 de Septiembre	1	
	20 de Noviembre	1	
	25 de Diciembre	1	7
Días por costumbre	Días santos	2	
	Días de muertos	1	
	12 de Diciembre	1	4
Vacaciones	1 año	6	6
Otros	1 año	4	4
Total de días no trabajados por año			73
Total de días trabajados por año		(365 - 73)	292

PROYECCION DEL COSTO DEL GAS L.P.
 PARA LA CIUDAD DE MEXICO (N\$/ lt.)

INCREMENTO MENSUAL: 2.50%

MESES	A	N	O	S	
	1995	1996	1997	1998	1999
Enero	0.617	0.830	1.116	1.501	2.019
Febrero	0.632	0.851	1.144	1.538	2.069
Marzo	0.648	0.872	1.172	1.577	2.121
Abril	0.664	0.894	1.202	1.616	2.174
Mayo	0.681	0.916	1.232	1.657	2.228
Junio	0.698	0.939	1.263	1.698	2.284
Julio	0.716	0.962	1.294	1.741	2.341
Agosto	0.733	0.986	1.327	1.784	2.399
Septiembre	0.752	1.011	1.360	1.829	2.459
Octubre	0.771	1.036	1.394	1.874	2.521
Noviembre	0.790	1.062	1.429	1.921	2.584
Diciembre	0.810	1.089	1.464	1.969	2.648
PROMEDIO	0.709	0.954	1.283	1.725	2.321

ANALISIS DE COSTOS DE LAS 2 ALTERNATIVAS

COSTO DEL SISTEMA SOLAR

DESCRIPCION:		Suministro e instalación de calentadores solares de 1 cubierta en una lavandería en la Ciudad de México, con 6 lavadoras de hasta 6 kgs. de ropa seca. Incluye flete. No incluye I.V.A.		
C O N C E P T O	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	IMPORTE (N\$)
Calentadores solares de 1.6 m2	Pza	36	1034.00	37224.00
Termotanque de 500 litros	Pza	6	2717.00	16302.00
Subtotal				53526.00
Instalación	%	35	53526.00	18734.10
Importe total				72260.10

**COSTO DEL CONSUMO DE GAS
PARA COMPLEMENTAR
EL SISTEMA SOLAR**

(Factor de aportación solar: 50%)

Consumo diario de gas L.P.: 35.36 lts./día
 Consumo anual de gas L.P.: 35.36 lts./día X 292 días = 10325.12 lts.
 Precio promedio del gas L.P. (N\$/lt):

Año: 1995	0.709
Año: 1996	0.954
Año: 1997	1.283
Año: 1998	1.725
Año: 1999	2.321

DESCRIPCION:		Costo del consumo de gas L.P. en una lavandería en la Ciudad de México, con 6 lavadoras de hasta 6 kgs. de ropa seca. Factor de aportación solar: 50%.		
C O N C E P T O	UNIDAD	CONSUMO DE GAS	PRECIO PROMEDIO	IMPORTE (N\$)
Gas para el año de 1995	litro	10325.12	0.709	7320.51
Gas para el año de 1996	litro	10325.12	0.954	9850.16
Gas para el año de 1997	litro	10325.12	1.283	13247.13
Gas para el año de 1998	litro	10325.12	1.725	17810.83
Gas para el año de 1999	litro	10325.12	2.321	23964.60
S U M A				72193.24

ANALISIS COMPARATIVO DE LAS DOS ALTERNATIVAS

SISTEMA TRADICIONAL		SISTEMA SOLAR				DIFERENCIA SISTEMAS		
Año	Importe consumo de gas(N\$)	Año	Importe sistema solar (N\$)	Importe consumo de gas (N\$)	Importe total (N\$)	Año	Diferencia importe (N\$)	Diferencia importe acumulado
1995	14641.02	1995	72260.10	7320.51	79580.61	1995	64939.59	55089.43
1996	19700.33	1996		9850.16	9850.164	1996	-9850.16	41842.30
1997	26494.26	1997		13247.13	13247.13	1997	-13247.13	24031.46
1998	35621.66	1998		17810.83	17810.83	1998	-17810.83	66.86
1999	47929.21	1999		23964.60	23964.6	1999	-23964.60	

EVALUACION ECONOMICA DEL PROYECTO
 METODO DEL VALOR PRESENTE
 (se reducen todos los flujos de dinero
 a su valor en el momento actual)

$P = F / (1 + i)^n$
 DONDE: P = VALOR PRESENTE
 F = VALOR FUTURO
 i = TASA DE INTERES MENSUAL
 n = NUMERO DE MESES

TASA DE INTERES MENSUAL: 0.50%

DIAS LABORABLES POR MES: 24.33
 (PROMEDIO: 292 DÍAS/12 MESES)

INVERSION INICIAL
 CALENTADORES SOLARES N\$72260.10

CONSUMO DE GAS
 DIFERENCIA ENTRE
 AMBAS ALTERNATIVAS 35.36 LT/DIA

C O N S U M O D E G A S								Diferencia alternativas acumulado
DIFERENCIA ENTRE AMBAS ALTERNATIVAS								
ANO	Mes	Unidad	Cantidad lavandería/año	Precio unitario	Importe N\$	Factor (P/F)	Valor actual	
1995	Enero	lt.	860.43	0.617	530.9	1.000	530.9	-71729.22
	Febrero	lt.	860.43	0.632	544.2	0.995	541.4	-71187.77
	Marzo	lt.	860.43	0.648	557.8	0.990	552.2	-70635.55
	Abril	lt.	860.43	0.664	571.7	0.985	563.2	-70072.33
	Mayo	lt.	860.43	0.681	586.0	0.980	574.4	-69497.91
	Junio	lt.	860.43	0.698	600.6	0.975	585.9	-68912.06
	Julio	lt.	860.43	0.716	615.7	0.971	597.5	-68314.55
	Agosto	lt.	860.43	0.733	631.1	0.966	609.4	-67705.15
	Septiembre	lt.	860.43	0.752	646.8	0.961	621.5	-67083.62
	Octubre	lt.	860.43	0.771	663.0	0.956	633.9	-66449.72
	Noviembre	lt.	860.43	0.790	679.6	0.951	646.5	-65803.21
	Diciembre	lt.	860.43	0.810	696.6	0.947	659.4	-65143.83
1996	Enero	lt.	860.43	0.830	714.0	0.942	672.5	-64471.33
	Febrero	lt.	860.43	0.851	731.8	0.937	685.9	-63785.44
	Marzo	lt.	860.43	0.872	750.1	0.933	699.5	-63085.91
	Abril	lt.	860.43	0.894	768.9	0.928	713.5	-62372.46
	Mayo	lt.	860.43	0.916	788.1	0.923	727.7	-61644.81
	Junio	lt.	860.43	0.939	807.8	0.919	742.1	-60902.67
	Julio	lt.	860.43	0.962	828.0	0.914	756.9	-60145.77
	Agosto	lt.	860.43	0.986	848.7	0.910	772	-59373.81
	Septiembre	lt.	860.43	1.011	869.9	0.905	787.3	-58586.48
	Octubre	lt.	860.43	1.036	891.7	0.901	803	-57783.48
	Noviembre	lt.	860.43	1.062	914.0	0.896	819	-56964.51
	Diciembre	lt.	860.43	1.089	936.8	0.892	835.3	-56129.24

TASA DE INTERES MENSUAL: 0.005

DIAS LABORABLES POR MES: 24.33
(PROMEDIO: 292 DÍAS/12 MESES)

INVERSION INICIAL CALENTADORES SOLARES N\$ 72260.10

C O N S U M O D E G A S								Diferencia alternativas acumulado
DIFERENCIA ENTRE AMBAS ALTERNATIVAS								
AÑO	Mes	Unidad	Cantidad lavandería/año	Precio unitario	Importe N\$	Factor (P/F)	Valor actual	
1997	Enero	lt.	860.43	1.116	960.2	0.887	851.9	-55277.34
	Febrero	lt.	860.43	1.144	984.2	0.883	868.8	-54408.49
	Marzo	lt.	860.43	1.172	1008.8	0.878	886.1	-53522.35
	Abril	lt.	860.43	1.202	1034.1	0.874	903.8	-52618.58
	Mayo	lt.	860.43	1.232	1059.9	0.870	921.8	-51696.82
	Junio	lt.	860.43	1.263	1086.4	0.865	940.1	-50756.72
	Julio	lt.	860.43	1.294	1113.6	0.861	958.8	-49797.91
	Agosto	lt.	860.43	1.327	1141.4	0.857	977.9	-48820.01
	Septiembre	lt.	860.43	1.360	1169.9	0.852	997.4	-47822.66
	Octubre	lt.	860.43	1.394	1199.2	0.848	1017	-46805.46
	Noviembre	lt.	860.43	1.429	1229.2	0.844	1037	-45768.02
	Diciembre	lt.	860.43	1.464	1259.9	0.840	1058	-44709.93
1998	Enero	lt.	860.43	1.501	1291.4	0.836	1079	-43630.78
	Febrero	lt.	860.43	1.538	1323.7	0.831	1101	-42530.16
	Marzo	lt.	860.43	1.577	1356.8	0.827	1123	-41407.64
	Abril	lt.	860.43	1.616	1390.7	0.823	1145	-40262.78
	Mayo	lt.	860.43	1.657	1425.5	0.819	1168	-39095.13
	Junio	lt.	860.43	1.698	1461.1	0.815	1191	-37904.25
	Julio	lt.	860.43	1.741	1497.6	0.811	1215	-36689.66
	Agosto	lt.	860.43	1.784	1535.1	0.807	1239	-35450.91
	Septiembre	lt.	860.43	1.829	1573.4	0.803	1263	-34187.51
	Octubre	lt.	860.43	1.874	1612.8	0.799	1289	-32898.96
	Noviembre	lt.	860.43	1.921	1653.1	0.795	1314	-31584.77
	Diciembre	lt.	860.43	1.969	1694.4	0.791	1340	-30244.43
1999	Enero	lt.	860.43	2.019	1736.8	0.787	1367	-28877.41
	Febrero	lt.	860.43	2.069	1780.2	0.783	1394	-27483.19
	Marzo	lt.	860.43	2.121	1824.7	0.779	1422	-26061.23
	Abril	lt.	860.43	2.174	1870.3	0.775	1450	-24610.96
	Mayo	lt.	860.43	2.228	1917.1	0.772	1479	-23131.84
	Junio	lt.	860.43	2.284	1965.0	0.768	1509	-21623.28
	Julio	lt.	860.43	2.341	2014.1	0.764	1539	-20084.70
	Agosto	lt.	860.43	2.399	2064.5	0.760	1569	-18515.50
	Septiembre	lt.	860.43	2.459	2116.1	0.756	1600	-16915.07
	Octubre	lt.	860.43	2.521	2169.0	0.753	1632	-15282.79
	Noviembre	lt.	860.43	2.584	2223.2	0.749	1665	-13618.03
	Diciembre	lt.	860.43	2.648	2278.8	0.745	1698	-11920.14

CAPITULO 6

CONCLUSIONES

6.1 Aspectos generales del trabajo realizado.

Es un tema de actualidad la preservación del medio ambiente, así como el aprovechamiento eficiente y económico de los recursos naturales para producir energía, poniendo especial atención en dichos sistemas.

El análisis de costos de la alternativa tradicional para calentamiento de agua en una lavandería y de la alternativa de calentamiento de agua por medio de paneles solares y su respectiva comparación económica, nos conduce a las siguientes conclusiones:

1. Un sistema solar para calentamiento de agua en una lavandería en la Ciudad de México a base de colectores solares planos y termotanques tiene una mayor rentabilidad económica conforme los intereses bancarios son menores. Lo anterior se puede observar comparando los dos métodos de análisis presentados en el capítulo anterior, el primero en el que no se involucran los intereses y el segundo en el que si se consideran.
2. Contando con intereses bancarios bajos e instalando colectores solares planos especificados en la sección 4.3, el período de recuperación de la inversión inicial es de 5 años.
3. Tomando en consideración que durante el tiempo que las lavadoras no se encuentren trabajando el calentador se va a encontrar prendido, teniendo un gasto adicional de gas, el período de recuperación de la inversión inicial se encuentra entre los 4 y los 5 años.
4. Cambiando la pintura negro mate comercial por cromo negro (superficie selectiva) y colocando un vidrio con poco contenido de hierro, el área requerida de colectores disminuye en un 25.6%, de acuerdo a lo indicado en la sección 4.1, por lo que el período de recuperación del capital se reduce a 4 años aproximadamente.
5. Con objeto de poder obtener una mejor rentabilidad económica del sistema para la Ciudad de México, se sugiere:
 - a. La utilización de colectores con dos capas de vidrio, con objeto de poder tener una mayor temperatura del agua y por lo tanto una menor área de colectores;
 - b. El implementar un dispositivo para que los colectores puedan seguir al Sol en función de la estación, en función de la hora del día, o al mismo tiempo en función de la estación y de la hora, con objeto de que el plano de los colectores quede perpendicular a los rayos solares;

c. El bajar los costos de producción de los colectores solares, bajo una mayor producción de los mismos.

6. Un estudio económico con mayor detalle que el que se presenta, en el cual se tome en consideración el costo futuro de agotar los recursos no renovables bajo un uso desmedido, así como la contaminación del medio ambiente, los cambios en el medio ambiente mundial y los efectos nocivos en la salud de las personas debido a la contaminación del ambiente, seguramente mostrará una rentabilidad del equipo solar muy superior a la que se llega en este estudio.

El estudio que se ha elaborado se limita a los análisis numéricos que tienden a mostrar la factibilidad económica del sistema solar mencionado. Es objeto de un siguiente estudio el llevar a cabo un modelo físico, sus respectivas pruebas y su comercialización, así como las investigaciones necesarias mencionadas anteriormente para mejorar la rentabilidad económica.

Por otro lado es de vital importancia el contar con tecnologías para la generación de distintos tipos de energía que nos permitan gozar de un medio ambiente más limpio y un mejor nivel de vida de la población, tomando en consideración que estos sistemas pueden ayudar a descontaminar la Ciudad de México.

Hay que mencionar que la Ciudad de México no presenta las condiciones más propicias en la República Mexicana para el uso de los sistemas solares; es decir, la irradiación es menor que en otras ciudades. Por lo tanto si es posible obtener un sistema solar para calentamiento de agua en una lavandería en la Ciudad de México rentable, en otras ciudades se tiene una mayor rentabilidad, disminuyéndose el tiempo de recuperación de la inversión inicial.

Las conclusiones a las que se han llegado al elaborar el presente trabajo, se pueden extrapolar a otras aplicaciones de tipo industrial en las que se tengan grandes consumos de combustibles, en las que los sistemas solares intervengan como sistemas de apoyo a los ya existentes actualmente, resultando económicamente rentables.

6.2 Perspectivas del uso de la energía solar en México.

México es una nación productora de petróleo que ha basado gran parte de su suministro de energía en este recurso. Aproximadamente el 90% de la energía primaria consumida ha provenído del petróleo y del gas natural; el 4% ha provenído de la hidroelectricidad; otro 4% del carbón; el 1% de fuentes geotermales. Es obvio que México debe diversificar sus fuentes de abastecimiento de energía [16].

Otro importante hecho es que México cuenta con una gran comunidad rural que no tiene acceso a algún tipo de energía. Su integración a fuentes de energía convencionales en ocasiones no es sencilla. La energía solar y sistemas alternos de energía parecen ser una solución, encontrándose México localizada en una zona de máxima insolación.

El primer grupo de investigadores de las aplicaciones de la energía solar en México proviene de principios de la década de los sesentas. Sin embargo, el uso de la energía solar en México no ha sido generalizada [16].

La abundante energía solar existente en México puede solucionar problemas actuales, impactando de manera importante en la economía, al poderse transformar los rayos solares en distintos tipos de energía, de manera coordinada con la utilización de los recursos naturales que se emplean con tal fin, para poder gozar de un mejor desarrollo ecológico.

Es clara la gran cantidad de aplicaciones tanto habitacionales como industriales que tiene la energía solar, como por ejemplo el calentamiento de agua, la desalinización del agua, bombeo de agua, el secado de productos agrícolas, la generación de electricidad, generación de vapor, calefacción y aire acondicionado en locales, en las comunicaciones, por mencionar algunas aplicaciones.

La Organización de las Naciones Unidas para el Desarrollo Industrial (ONUDI) nos indica que tanto en países en desarrollo como en países industrializados, hay varias instituciones que se han dedicado a la investigación aplicada, desarrollando conceptos tecnológicos bien fundados, y los han ensayado y transformado luego en prototipos de fabricación, prestando particular atención a las necesidades de los países en desarrollo. Indica que es necesario establecer vínculos entre estas instituciones de investigación y desarrollo técnico. Sugiere la elaboración de programas para la explotación comercial inmediata y la fabricación nacional de equipo solar basado en la tecnología bien conocida y aceptada.

México tiene un amplio campo de desarrollo en el aprovechamiento de la energía solar, la cual debe de ser utilizada.

REFERENCIAS

- 1.- Farrington D. Uso Directo de la Energía Solar, H. Blume Ediciones, Madrid, 1981.
- 2.- Vale R. La Casa Autónoma, Editorial Gustavo Gili, Barcelona, 1981.
- 3.- Marrero L. La Tierra y sus Recursos, Publicaciones Cultural, S.A., Caracas, 1969.
- 4.- Matsumoto Y. "Revista Avance y Perspectiva", vol. 12, páginas 259 - 266, México, 1993.
- 5.- Autores varios. Tecnología para Aprovechar la Energía Solar, Organización de las Naciones Unidas para el Desarrollo Industrial, Estados Unidos, 1977.
- 6.- Mazria E. El Libro de la Energía Solar Pasiva, Ediciones Gustavo Gili, Barcelona, 1985.
- 7.- Loftness R. Energy Handbook, Van Nostrand Reinhold Company, Nueva York, 1978.
- 8.- ——— Distribuidores de equipos para lavanderías
- 9.- Duffie J. y Beckman W. Solar Energy Thermal Processes, John Wiley & Sons, Nueva York, 1974.
- 10.- Lacomba R. Manual de Arquitectura Solar, Editorial Trillas, México, 1991.
- 11.- ——— Apuntes de la Especialización en Heliodiseño, 1993-1994.
- 12.- ——— Servicio Meteorológico Nacional. Estación de Tacubaya, D.F.
- 13.- Almanza R., Estrada V., Ramírez C. y Barrientos J. Actualización de los Mapas de Irradiación Global Solar en la República Mexicana, Instituto de Ingeniería, U.N.A.M., México, 1992.
- 14.- Muhlia A., Valderrama V., Jiménez E., Galindo L., Montero R., Velazco E., Muñoz J. Boletín de Datos de Radiación Solar y Parámetros Meteorológicos, Instituto de Geofísica, U.N.A.M., México, 1990.

- 15.- Salazar S. Costo y Tiempo en Edificación, Editorial Limusa, México, 1977.
- 16.- Khoshaim B., Williamson J. Solar Thermal Collectors, Missouri, 1983.