

50017  
**UNIVERSIDAD AUTONOMA DE GUADALAJARA**

**INCORPORADA A LA UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO**



12 E<sup>2</sup>  
Esp.

TEJIS CON  
FALLA DE ORIGEN

**"APLICACION DE COLECTORES SOLARES  
PARA ACONDICIONAMIENTO DE AGUA  
PARA PISCINAS"**

**TESIS PROFESIONAL**

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:

**INGENIERO MECANICO ELECTRICISTA**

P R E S E N T A

**ROGELIO KASTEN MIRANDA**

GUADALAJARA, JAL., NOVIEMBRE - 1990



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.

# I N D I C E

Introducción	1
Antecedentes	2
Capítulo I	10
Principios de Transferencia de Calor	10
1.1 Transferencia de Calor	10
1.2 Conducción	12
1.3 Convección	13
1.4 Radiación	15
1.5 Balance de energía para la piscina	17
1.6 Pérdidas de Calor	19
1.6.1 Pérdidas de Calor por Convección	19
1.6.2 Pérdidas de Calor por Evaporación	20
1.6.3 Pérdidas de Calor por Radiación	24
1.6.4 Pérdidas de Calor por Conducción	29
1.6.5 Coeficiente de Pérdidas de Calor	31
1.6.6 Otras Pérdidas	32
1.6.7 Pérdidas Totales de Calor	33
Capítulo II	35
Análisis de Disponibilidad de Energía Solar	35
2.1 Consideraciones Geométricas básicas de La Radiación	35
2.1.1 Ángulos Solares, Azimut, Altitud y Zenit	39
2.1.2 Radiación Solar	41
2.2 Inclinação del Pínei Colector	44
2.3 Ubicación Geográfica	50
2.4 Colectores Solares Generalmente en uso	73
2.5 Colectores sin vidrio	75
2.5.1 Píneles de Plástico	75
2.5.2 Colectores en Barra	76
2.5.3 Colectores de Tabos de Plástico	79

2.5.4 Colectores en Pavimento	81
2.6 Colectores con Vidrio	81
2.6.1 Colectores en Caja	82
2.6.2 Colectores Integrados	82
Capítulo III	87
Diseño y Cálculo del Colector Solar	87
3.1 Propiedades del Calentamiento Solar	87
3.2 Tasa de Colección Ideal $Q_{ideal}$	91
3.3 Eficiencia de la Seta o factor de separación de tubos $F_1$	94
3.4 La Eficiencia de la Sección $F_2$	97
3.5 La Eficiencia del Flujo o eficiencia Global $F_3$	101
3.6 Eficiencia Total del Colector	104
3.7 Área del Colector	105
3.8 Medida del Tubo	106
3.9 Diseño del Sistema	112
3.9.1 Diseño del Sistema Usando una Bomba para elevar la presión	112
3.9.2 Diagrama de colectores	113
3.9.2.1 Múltiples Colectores	115
3.9.2.2 Colectores en Barra	120
3.9.2.3 Colectores de Tubo de Plástico	121
3.9.3 Tubería	124
3.9.3.1 Tubería para Colectores sin Vidrio	124
3.9.3.2 Tubería para Colectores con Vidrio	125
3.9.3.3 Válvulas	126
3.9.4 Bombas	127
3.9.5 Sistemas de Control y Protección	127
3.9.5.1 Sistemas de Control	128
3.9.5.2 Sistemas de Protección	130
3.9.6 Diseño del Sistema sin Bomba elevadora de presión	132
3.9.7 Colectores con Vidrio vs. sin Vidrio	136
Capítulo IV	141

Análisis Económico y Comparativo con Sistemas Alternos	141
4.1 Factores que Afectan el Retorno Económico	142
4.1.1 Costos de Capital	142
4.1.2 Costos de Operación	143
4.1.3 Costo Futuro del Combustible Sustituido	145
4.2 La Economía de un Sistema Solar Solo	145
4.3 Ejemplo Ilustrativo	147
Conclusiones y Recomendaciones	154
Bibliografía	158

## I N T R O D U C C I O N

El calentamiento Solar de piscinas, es una de las más económicas y atractivas aplicaciones de la Energía Solar. Las piscinas requieren de un bajo calentamiento. A éstas bajas temperaturas los sistemas de calentamiento Solar generalmente operan a una eficiencia mayor que a altas temperaturas; los materiales de que son hechos los colectores solares son de un costo relativamente económico, por lo que los resultados económicos son mejores; ya que no se requiere un depósito especial para su calentamiento, ya que el estanque mismo de la piscina es el almacén de agua calentada.

Actualmente son pocos los propietarios de piscinas que usan éste sistema, ya que el calentamiento por medio de recursos orgánicos ( hidrocarburos ), era relativamente económico, pero el equipo para calentar ( auxiliar ) muy caro; por lo que actualmente se usan en una muy corta temporada debido al elevado costo del combustible; poco a poco la gente se ha ido convenciendo de que el calentar el agua por medio de la Energía Solar es barato, por lo que se puede usar todo el año.

## ANTECEDENTES

El agua en la mayoría de las piscinas que no cuentan con un calentamiento auxiliar, es decir, el calentamiento con que cuenta la piscina es natural, ya que es lo que la radiación solar incide y logra calentar y es confortable en algunos meses del año exclusivamente y rara vez se encuentra lo suficientemente tibia durante la tarde o por la mañana o muy temprano.

### CATEGORIAS DE PISCINAS

Las piscinas tienen tres categorías generales, es decir, de la adición o acoplamiento de un sistema solar tiene una deficiencia estable de requerimientos y beneficios, estas categorías son:

- A) Bajo techo, con calentamiento (empleando hidrocarburos)
- B) Aire libre, con calentamiento (empleando hidrocarburos)
- C) Aire libre, sin calentamiento

Las piscinas bajo techo con calentamiento, operan todo el año y generalmente a temperaturas mayores que las piscinas al aire libre, ésta temperatura varía de 25 a 34 °C dependiendo del fin a usar.

La tabla 1 presenta información de temperaturas disponibles para piscinas y para varios usos. La temperatura de confort comienza usualmente en el rango de 20 a 22 °C, así mismo la mayoría de las piscinas con un sistema de calentamiento de combustible hidrocarburo trabaja a temperaturas más elevadas a éstas.

Piscinas al aire libre con calentamiento, generalmente operan a una temperatura constante en un rango de 23 a 25°C y puede o no puede operar una extensión temporada adicional a la de verano.

Piscinas al aire libre sin calentamiento, muestra considerable variaciones en la temperatura en la temporada con fluctuaciones significantes, respecto a la temperatura de un día a otro, es decir, la temperatura no es constante.

34	
32	TERAPEUTICA
30	PISCINAS TECHADAS-DESCANSO
28	PISCINAS TECHADAS-COMPETEN
24	A LA INTENPERE-TODO USO
22	CONFORT MINIMO
20	
18	
16	

TABLA 1: TEMPERATURAS TÍPICAS DE PISCINAS

El término sistema activo, es usado para denotar un sistema de calentamiento solar, en donde la Energía Solar es recibida o colectada en un punto o lugar remoto de donde se va a usar. El calor es transferido conforme circula el fluido a la carga o al almacén térmico, que en éste caso es visto siendo la piscina es él.

Para piscinas, éste se puede interpretar como que el arreglo de colectores, están montados en un sitio disponible próximo a la piscina, proporcionando ésta misma la carga térmica y el almacén térmico. La circulación propia del sistema conecta las dos. La figura 1 muestra el montaje de una instalación sencilla.

Por piscinas cubiertas, se entiende un método de calentamiento solar para piscinas al aire libre, en donde éstas son cubiertas con plásticos y el resultado es válido para incrementar la temperatura de la piscina. Técnicamente es una conservación de energía, desde el punto de vista en el que "no se le adiciona" o agrega nada a la piscina ya que actúa como invernadero, pero lo que se hace es reducir la cantidad de pérdidas de temperatura en la piscina, de hecho se reduce la cantidad de pérdidas por evaporación y casi toda la de radiación y al mismo tiempo se gana por radiación sobre la cubierta de la piscina. No importa que tipo de piscina se tenga, una cubierta solar para la piscina, puede ahorrar grandes cantidades de dinero y esfuerzo. Si la piscina no cuenta con algún tipo de calentamiento -

auxiliar, se puede hacer la temperatura del agua más con-  
 fortable y extender la temporada de usar la piscina; digá-  
 mos para la temporada de verano, se puede usar de uno a  
 dos meses antes de la temporada y de uno a dos meses des-  
 pués de la temporada.

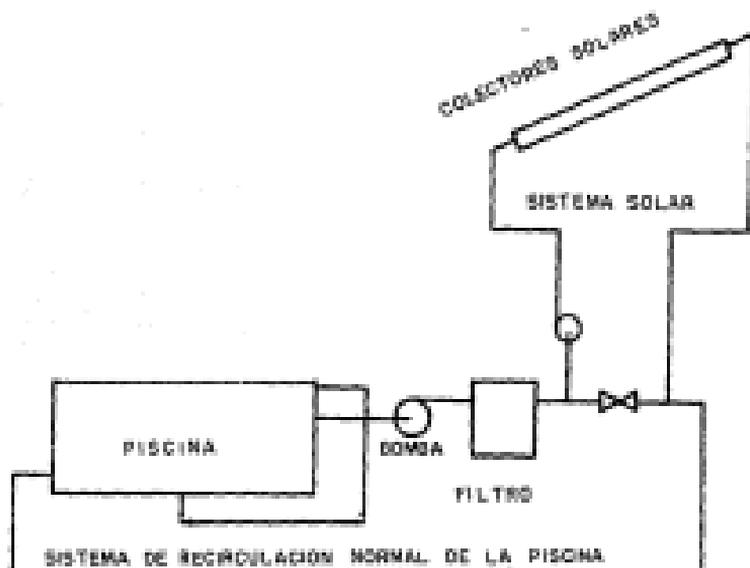


FIGURA 1: SISTEMA ACTIVO DE CALENTAMIENTO SOLAR

La mejor manera de usar la cubierta, es con un sistema de calentamiento solar para la piscina. El sol puede calentar el agua de la piscina durante el día, mientras la cubierta mantiene el calor cuando no está usándose. En la mayoría de las piscinas, el 95% de las pérdidas de calor, ocurren en la superficie del agua. La cubierta forma una capa flotante de aislante sobre la superficie de la piscina, con el fin de disminuir las pérdidas de calor. Otro propósito del uso de la cubierta, es que se evapora menos el agua.

El uso de la cubierta en piscinas techadas, es con el propósito de que si se usa la cubierta sobre la piscina por aproximadamente 12 horas al día, se puede esperar un 40% de reducción o más en la cantidad de energía requerida para calentar la piscina. Así también, menos condensación se formará en la estructura y en los vidrios al rededor de la piscina, cuando se encuentre usando la cubierta.

El uso de la cubierta en piscinas al intemperie, es con el propósito de que si la piscina es calentada durante la temporada de verano, la cubierta en la piscina puede reducir el costo en gastos (en caso de calentamiento con combustible hidrocarburo) de un 30% o más, y usarla para todos los casos antes mencionados (durante la noche).

Cuando la cubierta en la piscina está sola en uso, a lo largo de la temporada de verano, la temperatura de la piscina se incrementará en tres o más grados. Si un sistema solar es usado para el calentamiento, la cubierta no es-

muy requerida durante la temporada de verano normal y se puede usar para el resto del año. Las figuras 2 y 3, muestran una cubierta y la manera de enrollar y colocar la cubierta sobre la superficie respectivamente.

El propósito de ésta TESIS, es que el término de sistema solar se use para denotar o mostrar un sistema activo como el descrito anteriormente.

**DEFINICION:** Sistema solar en piscinas con un calentador de combustible.

Una razón por la cual se usa un sistema solar, donde también se usado un calentador de combustible para reducir el gasto en el combustible. Esta comparación puede ser hecha con los costos de operación y capital de un sistema solar donde el costo del combustible está aumentando su precio continuamente y los costos de capital son considerables, son índices que deben ser tomados en cuenta, en el momento de decidirse a instalar éste sistema.

**DEFINICION:** Un sistema solar en una piscina sin calentador permanente.

Debe tenerse cuidado en comparar los méritos relativos de un sistema solar solo, con uno de calentamiento con combustible para una piscina sin calentamiento continuo. No puede compararse directamente, ya que los resultados obtenidos no son los mismos.

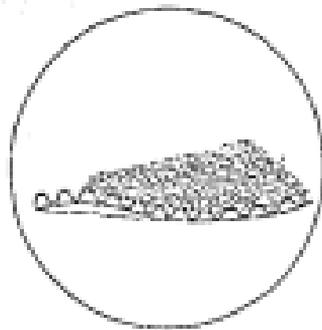


FIGURA 2: SECCIÓN TRANSVERSAL DE UN TIPO DE CUBIERTA PARA PISCINA DE BURBUJAS DE AIRE

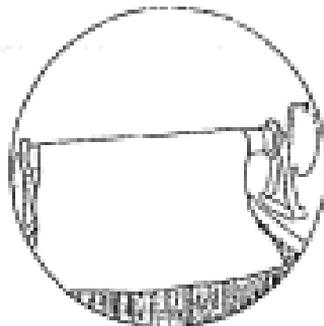


FIGURA 3: LA MANERA SENCILLA DE ALMACENAR LA CUBIERTA DE LA PISCINA

Un sistema con calentamiento con combustible, es usado invariablemente para mantener el agua a una temperatura constante a través de la temporada.

Por otro lado, un sistema solar no puede dar por resultado una temperatura constante en el agua, pero sí puede incrementar la temperatura en el agua en cualquier tiempo en la temporada, conforme a las inclinencias del tiempo. Este sistema solar no puede mantener la temperatura de la piscina en un rango muy preciso, es decir no puede tener una temperatura exacta determinada.

No es conveniente el diseño de un sistema solar solo para proveer suficiente energía, para mantener constante la temperatura para una temporada extensa, se puede considerar impráctico e innecesario, esto dará por resultado una cantidad muy vasta de energía no necesaria para la temporada alta y el requerimiento de un área de colectores enorme para mantener el rango de temperatura muy cerrado.

Lo que puede hacerse, es comparar los costos de capital de un sistema solar con los costos anuales del combustible para éste sistema y ver los resultados o beneficios que cada uno da. Puede decirse que un sistema convencional da mejores condiciones sobre la temporada, pero incrementa mucho el costo de la misma. La decisión debe ser tomada por el propietario de cada uno de los sistemas a bajar.

## CAPITULO I

## PRINCIPIOS DE TRANSFERENCIA DE CALOR

Antes de comenzar con los principios de transferencia de calor involucrados o en cierta forma relacionados con el calentamiento de agua para piscinas, definamos lo que es la transferencia de Calor y la manera en que se involucra en nuestro sistema de calentamiento.

## 1.1 Transferencia de Calor

Transferencia de Calor, es la ciencia que se procura predecir la transferencia de energía, donde positivamente tome lugar entre cuerpos como un resultado de la diferencia de temperaturas. Termodinámicamente, ésta transferencia de energía es definida como calor. La transferencia de Calor, no procura meramente el explicar como esa energía calorífica debe ser transferida, pero también predecir la tasa de éste intercambio, donde tomará lugar bajo ciertas condiciones específicas. El hecho de una tasa de transferencia de calor, es el objetivo deseado de un análisis entre los puntos de transferencia de Calor y Termodinámica. La energía transferida por flujo de calor, no puede

medirse directamente, pero el concepto tiene significado físico, porque se encuentra relacionado con una cantidad medible llamada temperatura. Desde hace mucho tiempo se estableció que cuando en un sistema hay una diferencia de temperaturas, el calor fluye de la región de mayor temperatura a la de menor temperatura. En la Transferencia de Calor, es esencial conocer la distribución de temperaturas en un sistema, ya que siempre hay flujo de calor cuando existe un gradiente de temperaturas. Una vez que se conoce la distribución de temperaturas, se determinará rápidamente por la ley que relaciona el flujo de calor con el gradiente de temperaturas, una cantidad de interés práctico, el flujo de calor, que es la cantidad de calor transferido por unidad de área.

La Transferencia de Calor, tiene muchas aplicaciones, pero para nuestro caso en especial que es el de acondicionamiento de agua para piscinas, es necesario hacer un análisis adecuado y apropiado de transferencia de calor para evitar pérdidas o ganancias excesivas de calor.

En la Transferencia de Calor, se suelen considerar tres formas distintas de transferencia, como son: Conducción, Convección y Radiación. En realidad, la distribución en las temperaturas en un medio, se controla por los efectos combinados de éstas tres formas de Transferencia de Calor, por lo que, no es posible aislar por completo una forma de éstas de las otras dos. Sin embargo, con el propósito de simplificar su análisis se puede considerar

La Conducción, cuando es despreciable la transferencia de calor por Convección y Radiación. Teniendo en cuenta de esas condiciones, a continuación se presenta una breve descripción de cada una de las formas diferentes de la Transferencia de Calor.

### 1.2 Conducción

La Conducción es la forma de la transferencia de calor, en la cual el intercambio de energía ocurre en la región de mayor a la de menor temperatura, por el movimiento aleatorio o el impacto directo de las moléculas.

La ley básica de la Conducción de calor basada en observaciones experimentales, proviene de Foit. Esta ley establece que la tasa de transferencia de calor por Conducción en una dirección dada, es proporcional al área normal a la dirección del flujo de calor y al gradiente de temperatura en ésta dirección.

$$Q = - K A \frac{\partial T}{\partial X} \quad \text{en la dirección X}$$

( 1.1 )

$$Q = - K A \frac{\partial T}{\partial Y} \quad \text{en la dirección Y}$$

Donde:

$Q$  = La tasa de flujo de calor, W

$A$  = Área de la superficie,  $m^2$

$K$  = Constante de proporcionalidad, llama productivi-  
dad térmica de material,  $W m^{-1} ^\circ C^{-1}$

$\frac{\partial T}{\partial x}$  = Gradiente de temperatura en la dirección X,  $^\circ C m^{-1}$

$\frac{\partial T}{\partial y}$  = Gradiente de temperatura en la dirección Y,  $^\circ C m^{-1}$

### 1.3 Convección

Cuando el fluido en movimiento pasa sobre un cuerpo sólido o fluye dentro de un canal y si las temperaturas -- del fluido y del sólido o del canal son diferentes, habrá transferencia de calor entre el fluido y la superficie sólida debido al movimiento relativo entre el fluido y la superficie.

Se dice que la transferencia de calor no es por convección forzada, si el movimiento es inducido artificialmente digamos por medio de una bomba. Este tipo de Convección se presenta en los colectores solares para nuestro caso particular, ya que el fluido es inducido por una bomba a través de los colectores, ya que no se puede por Convección natural porque nuestro tanque de almacenamiento se encuentra al mismo nivel o a un nivel inferior de los colectores solares.

Se dice que la transferencia de calor, es por convección libre o natural, si el movimiento del fluido es ocasionado por fuerzas de empuje debidas a diferencias de densidad causadas por diferencias de temperatura en el fluido. Este tipo de Convección se nos presenta en la piscina, es decir, en la superficie de la piscina y en el medio ambiente. La determinación de la distribución de temperatura y la transferencia de calor por Convección es un asunto complicado en los casos prácticos. En aplicaciones de la Ingeniería, se han simplificado los cálculos de Transferencia de Calor y de temperaturas, así que se toma como una diferencia de temperaturas entre el fluido  $T_v$  y en medio ambiente  $T_a$ .

$$Q = h A [ T_a - T_v ] \quad ( 1.2 )$$

Dando:

- $Q$  = Flujo de calor, W
- $h$  = Coeficiente de Transferencia de Calor por Convección,  $W m^{-1} ^\circ C^{-1}$
- $A$  = Area de la superficie,  $m^2$
- $T_v$  = Temperatura del fluido,  $^\circ C$
- $T_a$  = Temperatura ambiente,  $^\circ C$

#### 1.4 Radiación

Cuando dos cuerpos de temperaturas diferentes están separados por un vacío perfecto, no es posible la transferencia de calor entre ellos por Conducción o Convección, - en tal caso, la transferencia de calor ocurre mediante Radiación térmica. Es decir, la energía radiante emitida - por un cuerpo debido a su temperatura, es transmitida en - el espacio en forma de ondas electromagnéticas de Maxwell - o en forma de fotones discretos, de acuerdo con las hipótesis de Planck, ambos conceptos han sido utilizados en la investigación de la Transferencia de Calor por Radiación. La emisión o absorción de energía radiante por un cuerpo, es un proceso global, es decir, la Radiación que se origina - en el interior del cuerpo, se emite a través de la superficie; recíprocamente, la radiación que incide sobre la superficie de un cuerpo penetra en el medio en donde se atenua. Se puede decir que la radiación fue absorbida o emitida por la superficie cuando una gran porción de la Radiación incide se atenua en una distancia muy pequeña a partir de la superficie. La energía radiante emitida por un cuerpo es proporcional a la cuarta potencia de su temperatura absoluta. Si se considera un cuerpo negro (es decir, un emisor perfecto y un receptor perfecto) con un área de superficie  $A$  y temperatura absoluta  $T_1$ , estando dentro del recinto la temperatura absoluta  $T_2$ . El cuerpo emitirá una energía radiante en cantidad  $A\epsilon(T_1^4) (W)$ , y absorberá - energía radiante en cantidad  $A\epsilon(T_2^4) (W)$ , así que la energía radiante neta que sale del cuerpo será:

$$Q = A\epsilon(T_1^4 - T_2^4) \quad (1.3)$$

Donde:

$\sigma$  = Constante de Stefan - Boltzmann  
 $5.6696 \times 10^{-8} \text{ W m}^{-2} \text{ } ^\circ\text{K}^{-4}$

T = Las temperaturas para éste caso es especial son expresadas en grados absolutos, es decir,  $^\circ\text{K}$ .

Si los dos cuerpos no son perfectamente negros y si la superficie A no está completamente rodeada por el otro cuerpo, como es el caso de las piscinas, ya que solamente la superficie del agua se encuentra en contacto, se puede modificar la relación anterior y quedara así:

$$Q = F \times \sigma ( T_1^4 - T_2^4 ) \quad ( 1.4 )$$

En donde F es una cantidad menor que la unidad, ya que tiene en cuenta los efectos de la distribución geométrica de las superficies y el hecho de que los cuerpos no sean emisores o receptores perfectos.

Esta última ecuación ( 1.4 ), será tratada e explicada más ampliamente cuando se traten las pérdidas de calor a través de las piscinas.

### 1.5 Balance de Energía para la Piscina

El calentamiento de cualquier tipo de piscina solar, puede ser evaluada mediante el uso de una ecuación de balance de energía, determina que sólo una porción de la radiación total incide en la superficie puede utilizarse en el fluido de trabajo. Considerando una piscina abierta ( al aire libre ) y sin cubierta, de área  $A_p$ , se considera que la temperatura de la piscina es uniforme  $T_w$  en cualquier momento dado. La ecuación de balance puede ser descrita como:

$$\left( \overline{\tau \alpha} \right) A_p I = U_c A_p ( T_w - T_a ) + U_r A_p ( T_w - T_s ) + C U_e A_p ( T_w - T_a ) + \rho_p V c_p \frac{dT_w}{dt} \quad [ 1.5 ]$$

Donde:

- $\overline{\tau \alpha}$  = Promedio efectivo anual del producto de transmisión-absortancia de la piscina, valor igual a 0.75.
- $I$  = Energía o radiación solar incidente sobre la superficie.  $M m^{-2}$
- $T_a$  = Temperatura ambiente, °C
- $T_s$  = Temperatura del cielo, °C
- $U_c$  = Coeficiente de transferencia de calor perdido por convección del agua de la piscina al medio ambiente.  $M m^{-2} sc^{-1}$

- $U_r$  = Coeficiente de transferencia de calor perdido -  
 por radiación de la piscina al medio ambiente. -  
 $W m^{-2} ^\circ C^{-1}$
- $U_e$  = Coeficiente de transferencia de calor perdido -  
 por evaporación hacia el medio ambiente. -  
 $W m^{-2} ^\circ C^{-1}$
- $P_w$  = Presión de saturación del agua a la temperatura -  
 del agua de la piscina. KPa
- $P_a$  = Presión de vapor de agua prevaleciendo en el me -  
 dio ambiente a la temperatura ambiente y humedad  
 relativa. KPa
- $C$  = Constante de proporcionalidad, con un valor - -  
 igual a  $16.1153 ^\circ C kPa^{-1}$
- $R$  = Pérdidas de calor por radiación de un cuerpo ne -  
 gro a la temperatura ambiente, con un valor - -  
 igual a  $79 W m^{-2}$  de acuerdo con Hiras.
- $\epsilon$  = Emitancia efectiva del agua, con un valor igual -  
 a 0.9.
- $\frac{dQ}{dt}$  = Calor neto ganado por la piscina por unidad de -  
 tiempo.  $^\circ C seg^{-1}$
- $\rho_p$  = Densidad del agua de la piscina,  $kg m^{-3}$
- $V$  = Volumen de la piscina.  $m^3$
- $C_p$  = Calor específico del agua.  $J kg^{-1}$

## 1.6 Pérdidas de Calor

El factor más importante que determina la tasa de pérdidas de calor de una piscina, es la velocidad del aire - por el efecto de Convección, así como también por pérdidas de calor por evaporación. Más adelante en ésta sección, - será mostrada la relación de la velocidad del aire con respecto a la temperatura del agua de la piscina.

### 1.6.1 Pérdidas de Calor por Convección

La tasa de pérdida de calor debida a la Convección al aire ambiente ( se toma la velocidad del aire para una piscina cerrada, que tiene un valor de  $0.1 \text{ m seg}^{-1}$  ) puede ser expresada por la ecuación siguiente:

$$q_c = U_c ( T_w - T_a ) \quad ( 1.6 )$$

Donde:

$q_c$  = Transferencia de calor por Convección,  $\text{W m}^{-2}$

$U_c$  = Coeficiente de transferencia de calor por Convección,  $\text{W m}^{-2} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$

$T_w$  = Temperatura del agua,  $^\circ\text{C}$

$T_a$  = Temperatura ambiente,  $^\circ\text{C}$

El coeficiente convectivo de transferencia de calor - (  $U_c$  ) depende de la velocidad del aire:

$$U_c = 3.1 + 4.1 V \quad ( 1.7 )$$

Donde:

$$V = \text{Velocidad del aire, m seg}^{-1}$$

De las ecuaciones ( 1.6 ) Y ( 1.7 ) resulta:

$$q_c = ( 3.1 + 4.1 V ) ( T_w - T_a ) \quad ( 1.8 )$$

### 1.6.2 Pérdidas de Calor por Evaporación

La tasa de pérdidas de calor debida a la evaporación del agua de una piscina abierta, es usualmente la más alta de todas las pérdidas, puede ser expresada por la siguiente ecuación:

$$q_e = C U_e ( P_w - P_a ) \quad ( 1.9 )$$

Donde:

$$q_e = \text{Pérdidas de calor por evaporación, W m}^{-2}$$

C = Constante de proporcionalidad

$U_e$  = Coeficiente de transferencia de calor por evaporación, pero es el mismo que por convección de la ecuación ( 1.7 ),  $\text{W m}^{-2} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$

$P_a$  = Presión de vapor de agua prevaleciendo en el medio ambiente  $T_a$ , KPa

$P_w$  = Presión de saturación del agua a  $T_w$  temperatura de la piscina, KPa

La constante de proporcionalidad  $C = 16.1153 \text{ } ^\circ\text{C kPa}^{-1}$  en la ecuación anterior es el resultado de la relación entre los coeficientes de calor y transferencia de masa. La presión de vapor de agua  $P_v$  depende de la temperatura del agua, como se muestra en la Figura 1.1 ( a ).

La presión de vapor de agua prevaleciendo en el aire- $P_a$ , puede ser evaluada si la Humedad Relativa ( H R ) es conocida como sigue:

$$P_a = \frac{P_s \times HR}{100}$$

Donde:

$P_s$  = Presión de saturación del vapor de agua a temperatura ambiente  $T_a$  y puede ser obtenida en la figura 1.1 (a), kPa

HR = Humedad Relativa %

La presión de saturación del vapor del agua en el aire puede ser encontrado en la figura 1.1 ( a ) con  $P_s = P_v$  con  $T_a = T_w$ .

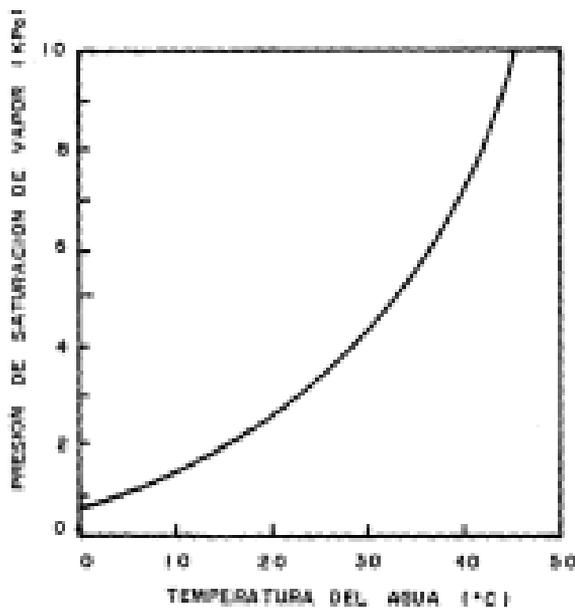


FIGURA 1.11 a) VARIACION DE LA PRESION DE SATURACION DE VAPOR  
CONTRA LA TEMPERATURA DEL AGUA

El contenido de vapor de agua puede ser expresado en términos de la temperatura de bulbo húmedo. Esta puede ser convertida a la Humedad Relativa usando la Figura 1.1 ( b ).

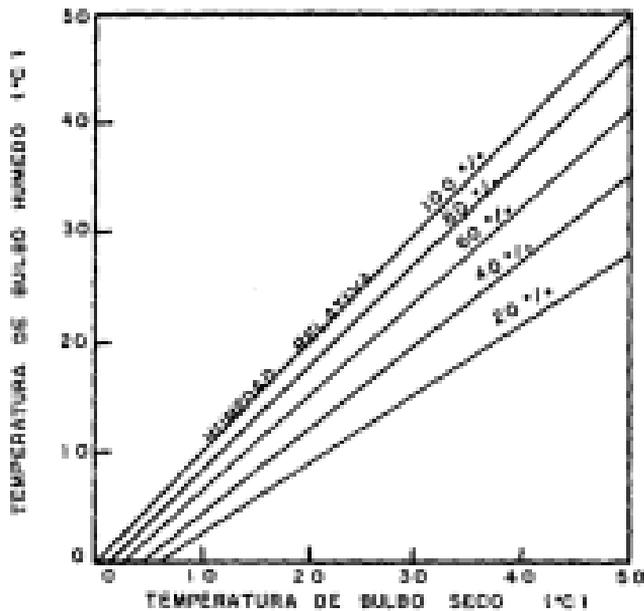


FIGURA 1.1 ( b ): CONVERSION DE TEMPERATURA DE BULBO HUMEDO A HUMEDAD RELATIVA

### 1.6.3 Pérdidas de Calor por Radiación

Las pérdidas de calor por Radiación desde la superficie del agua de la piscina, puede ser evaluada por la siguiente ecuación:

$$q_r = U_r (T_w - T_a) \quad (1.10)$$

Donde:

$q_r$  = Pérdidas de calor por Radiación,  $W m^{-2}$

$U_r$  = Coeficiente de transferencia de calor por Radiación,  $W m^{-2} K^{-1}$

$T_w$  = Temperatura del agua,  $^{\circ}C$

Normalmente, se puede asumir que la temperatura del cielo es un cuerpo negro a la temperatura  $T_c = T_a - 11^{\circ}C$  a usar. El valor de  $T_c$ , es solamente para piscinas al descubierto, es decir, a la intemperie y para piscinas al interior, es decir, techadas  $T_c = T_a$ .

El coeficiente de transferencia de calor por Radiación  $U_r$  puede ser calculado por:

$$U_r = 4\epsilon\sigma T_m^3 \quad (1.11)$$

Donde:

$\epsilon$  = Emitancia efectiva del agua, con un valor de 0.9

$C$  = Constante de Stefan-Boltzman,  $5.6678 \text{ E} - 8$   
 $\text{W m}^{-2} \text{ } ^\circ\text{K}^{-4}$

$T_m$  = Promedio de la temperatura del agua y del cielo  $^\circ\text{K}$

Donde:

$$T_m = \frac{T_w + T_a}{2} \quad ( 1.12 )$$

Sustituyendo ( 1.12 ) en ( 1.11 ), el coeficiente de transferencia de calor por Radiación nos queda:

$$h_c = 4 \epsilon C \frac{T_w + T_a}{2} + 273.15 \text{ } ^\circ\text{K} \quad ( 1.13 )$$

o determinado graficamente usando la Figura 1.2. La ecuación ( 1.13 ) es usada cuando existe una pequeña diferencia de temperaturas, es decir,  $T_w - T_a < 20^\circ\text{C}$ .

Los requerimientos diarios para mantener el agua de la piscina a una temperatura  $T_w$  predeterminada, puede ser calculados por la siguiente ecuación:

$$q_c = A_p [ 0.0064 q_c - 0.9 I_h ] \quad ( 1.14 )$$

Donde:

$Q_r$  = Calor requerido,  $\text{MJ día}^{-1}$

$q_t$  = Tasa de pérdidas de calor total

$q_t = q_c + q_e + q_r$ ,  $\text{W m}^{-2}$

$A_p$  = Área de la piscina,  $\text{m}^2$

$I_h$  = Radiación solar incidente en la superficie de la piscina,  $\text{MJ m}^{-2} \text{ día}^{-1}$

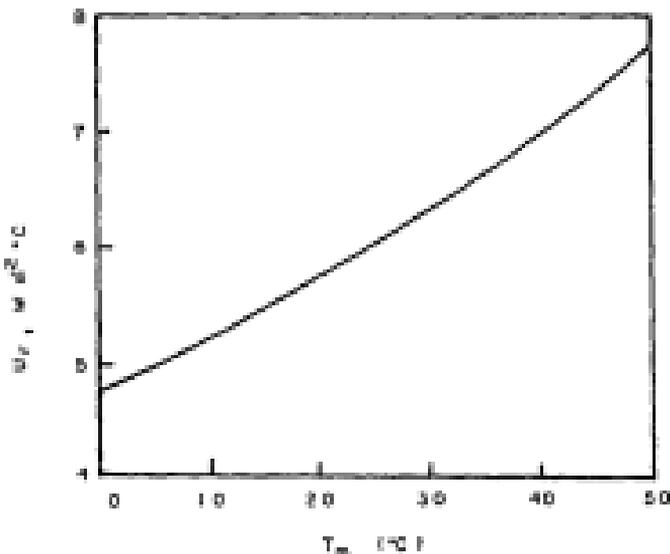


FIGURA 1.2: VARIACION DEL COEFICIENTE DE TRANSFERENCIA DE CALOR POR RADIACION CONTRA LA TEMPERATURA PROMEDIO

En la ecuación ( 1.14 ), se asume que el 90% de la Radiación Solar incidente es absorbida por el agua y contribuye al calentamiento.

Un efecto de la relación de la velocidad del aire y la temperatura pueden ser mostrados en la figura 1.3, como se puede ver, la tasa de cambio en la temperatura disminuye a medida que aumenta la velocidad del aire. Por un momento un incremento en la velocidad del viento de  $1/3$  a  $1/2$  en promedio resulta una caída en la temperatura de la piscina de  $2$  °C, mientras un incremento de la misma cantidad de  $1/2$  a  $2/3$  en promedio de la velocidad del viento, resulta una caída en la temperatura de solamente  $1.2$  °C.

Esto significa, que mientras más se acerque la temperatura de la piscina a la temperatura promedio del aire, la velocidad del viento será mayor.

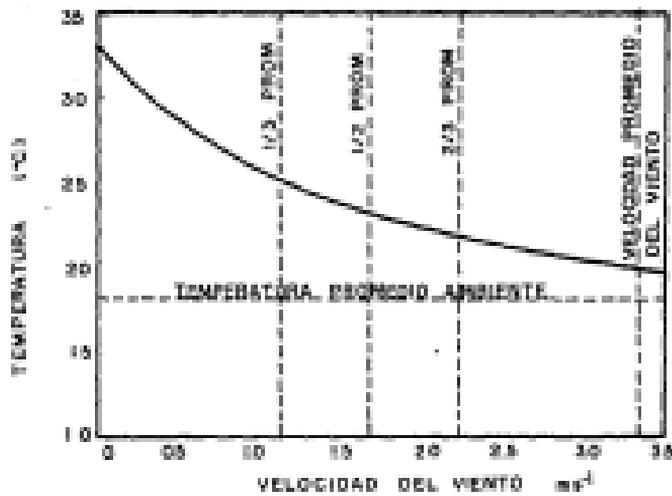


FIGURA 13: RELACION DE LA TEMPERATURA DEL AGUA DE UNA PISCINA AL INTENSIDAD Y LA VELOCIDAD DEL VIENTO

#### 1.6.4 Pérdidas de Calor por Conducción

Las pérdidas de calor por Conducción a través de una piscina se manifiestan hacia el suelo o tierra y por lo general son despreciables y usualmente se recuperan cuando la temperatura del agua disminuye ligeramente.

Schneider ( 11 ), muestra las ecuaciones que permiten los cálculos de Conducción de calor transitoria, que se presenta olvidando la resistencia de la superficie. La tasa transitoria de transferencia de calor hacia el suelo o tierra a través de la piscina se presenta después de un poco de cambio en la temperatura del agua en la piscina, como por ejemplo, ocurre cuando el calentamiento del agua es comenzado pero olvidado dado la inercia térmica del agua, es decir, cuando se comienza a operar el sistema por primera vez, o cuando el sistema ha sido desconectado y se vuelve a conectar pero ya se ha perdido la ganancia térmica del calentamiento anterior; puede ser expresado por la siguiente ecuación:

$$q_s = U_g ( T_w - T_g ) \quad ( 1.15 )$$

Donde:

$q_s$  = Tasa de transferencia de calor por Conducción hacia el suelo,  $W m^{-2}$

$U_g$  = Coeficiente de transferencia de calor hacia el suelo,  $W m^{-2} ^\circ C^{-1}$

$T_v$  = Temperatura del agua, °C

$T_g$  = Temperatura inicial del suelo, °C

El coeficiente de transferencia de calor hacia el suelo  $U_g$ , es una función del tiempo y en forma simplificada puede ser escrita como sigue:

$$U_g = 568 E^{-6} K \sqrt{\frac{t}{\alpha}} \quad E = \text{Notación Científica} \quad (1.16)$$

Donde:

$K$  = Conductividad térmica del suelo, estos valores pueden ser tomados de la Tabla 1,  $W m^{-1} ^\circ C^{-1}$

$\alpha$  = Difusividad térmica del suelo, estos valores pueden ser tomados de la Tabla 1,  $m^2 \text{seg}^{-1}$

$t$  = Tiempo después del cambio en la temperatura, días.

Combinando las ecuaciones ( 1.15 ) y ( 1.16 ) nos da:

$$q_s = 568 E^{-6} K \sqrt{\frac{t}{\alpha}} ( T_v - T_g ) \quad (1.17)$$

La transferencia de calor acumulada hacia la tierra o suelo puede ser calculado usando la siguiente ecuación:

$$Q_s = 568 E^{-6} A_s K \sqrt{\frac{t}{\alpha}} ( T_v - T_g ) \quad (1.18)$$

Donde:

$Q_c$  = Transferencia de calor acumulada, MJ

$A_s$  = Área de la piscina en contacto con la tierra,  $m^2$

#### 1.4.5 Coeficiente de Pérdidas de Calor

Para cálculos prácticos, es conveniente el uso del coeficiente de pérdidas de calor de una piscina. Esta es definida por la siguiente ecuación:

$$q_t = U_L ( T_w - T_{eq} ) \quad ( 1.19 )$$

Donde:

$q_t$  = Tasa total de pérdidas de calor,  $K m^{-2}$

$U_L$  = Coeficiente de pérdidas de calor,  $W m^{-2} ^\circ C^{-1}$

$T_{eq}$  = Temperatura de pérdida de calor,  $^\circ C$

$T_w$  = Temperatura del agua,  $^\circ C$

La temperatura  $T_{eq}$  en la ecuación anterior ( 1.19 ),- depende de la temperatura ambiente, en donde está definida como:

$$T_{eq} \cong T_a - 3 \quad ( 1.20 )$$

Combinando las ecuaciones ( 1.20 ) en ( 1.19 ), el coeficiente de pérdidas de calor puede ser escrito:

$$U_L = \frac{q_2}{T_w - T_a + 5} \quad ( 1.21 )$$

Una aplicación práctica del coeficiente de pérdidas de calor, es la evaluación de los requerimientos de calor cuando datos para calcular las pérdidas de calor individuales no están disponibles. Esto puede ser hecho asumiendo un valor promedio de  $U_L$ , haciendo una modificación de la ecuación ( 1.14 ) como sigue:

$$Q_r = 0.0004 A_p U_L T_r \quad ( 1.22 )$$

Donde:

$T_r$  = Incremento en la temperatura del agua de la piscina requerida, es decir, es la diferencia entre la temperatura del agua que se requiere y la temperatura de la piscina a la temperatura ambiente.

### 1.5.5 Otras Pérdidas

Existen unas pérdidas de Energía en el agua, debido al uso rudo de la piscina causada por la turbulencia de los usuarios. Una fuente cercana de "Pérdidas" para las piscinas al exterior y descubiertas, es el agregar agua fría a la piscina y esto es cuando llueve. Una lluvia ruda o fuerte puede reducir significativamente la temperatura de la piscina.

### 1.6.7 Pérdidas Totales de Calor

Estas pérdidas totales de calor, son simplemente la suma de los tres términos individuales, que son:

$$q_t = q_c + q_e + q_r \quad ( 1.23 )$$

Para hacer el cálculo de las pérdidas totales de calor en una piscina, se requiere conocer de: Temperatura requerida, temperatura ambiente, velocidad del viento y humedad relativa del aire o la presión de vapor de agua saturada.

Las condiciones locales para un sitio en específico, pueden variar de los datos promedio publicados para una ciudad o estado. En particular, los datos de la velocidad del viento son tomados en lugares estratégicos. La velocidad del viento en la superficie de la piscina (abierta) será significativamente menor que la publicada, debido a la reducción natural de la velocidad del viento a nivel de la tierra y al efecto de abrigo del vallado o cerca de la piscina, de edificios y vegetación que invariablemente existen junto a la mayoría de las piscinas. Para una piscina típica al descubierto, la velocidad del viento, será igual al 33% del promedio tomado. Piscinas con buena protección del viento, podrán asumir valores menores de velocidades, tan bajas como un 15% del promedio a ser tomado.

Para piscinas bajo techo, las condiciones del aire ambiente en el recinto, son usualmente controladas para algunas magnitudes, en particular la temperatura.

La velocidad del aire en una piscina bajo techo, es - por supuesto más baja. Algunas veces es ignorada su magnitud o el valor mínimo, pero se asume que es aproximadamente de  $0.1 \text{ m seg}^{-1}$ .

Para todas las piscinas, el uso de una cubierta sobre la piscina, tendrá un mejor efecto en la carga de la misma. Si se usa una de éstas en la piscina las pérdidas de Evaporación son el factor principal que contribuye a las pérdidas de calor en la piscina, las caídas se eliminarán por completo.

Para el propósito de los cálculos, las pérdidas por Evaporación deben ser tomadas o asumir el valor de cero, y las pérdidas por Radiación y Convección debe de asumirse - que no son afectadas cuando se usa la cubierta.

## C A P Í T U L O    I I

### ANÁLISIS DE DISPONIBILIDAD DE ENERGÍA SOLAR

Este capítulo se enfocará principalmente al aspecto teórico de la Radiación solar incidente (Directa y Difusa) sobre una superficie plana, auxiliándose de las consideraciones geométricas básicas del Sol, es decir, los ángulos involucrados con la obtención de la radiación solar incidente; también se mencionarán los colectores solares, en cuanto a su inclinación relacionada o involucrada con la cantidad de calor colectado, la localización geográfica, etc.. En cuanto a los colectores solares, se verán los tipos, es decir, con cubiertas de vidrio o sin ellas, y su clasificación secundaria de cada tipo.

#### 2.1 Consideraciones Geométricas Básicas de la Radiación Solar

Como es ya sabido, la Tierra tiene dos movimientos que son: El de Traducción al rededor del Sol y el de Rotación sobre su propio eje. Ambos movimientos son importantes en la Energía Solar.

El movimiento de Traslación sobre una órbita elíptica, ca con respecto al Sol, aunque la órbita de la Tierra es una elipse, hablando con precisión, su excentricidad es tan pequeña [  $e = 0.0167$  ] que apenas y se diferencia de una circunferencia, es decir, el semieje mayor es de 1.522 E 8 Km y el de semieje menor es de 1.472 E 8 Km, como se pueden ver en la Figura 2.1. El plano contenido en la órbita elíptica de la Tierra es llamado plano elíptico. El plano ecuatorial, es el plano contenido en el Ecuador de la Tierra. El ángulo entre éstos planos es de  $23^{\circ} 27'$  sobre el eje de rotación de la Tierra, interceptando el plano elíptico con un ángulo de  $66^{\circ} 33'$ .

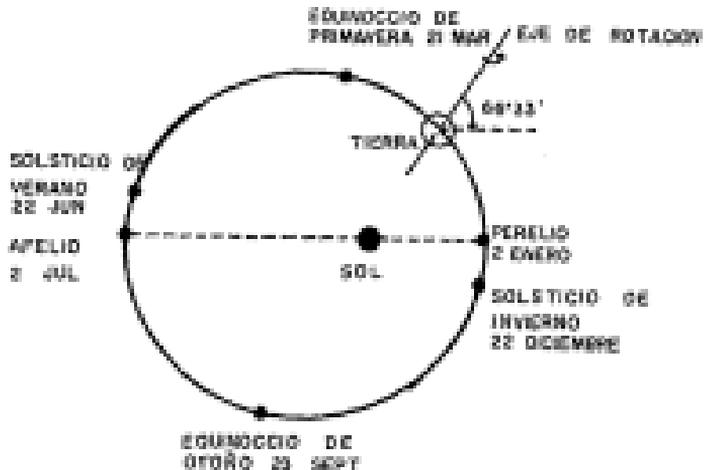


FIGURA 2.1: ÓRBITA DE LA TIERRA

El ángulo que se forma entre el plano elíptico y el plano ecuatorial, es llamado ángulo de declinación. La declinación varía de  $-23^{\circ} 27'$  en Diciembre 21, que es el solsticio de invierno, a  $+23^{\circ} 27'$  en Junio 22, que es el solsticio de verano. El ángulo de declinación solar es aproximadamente de:

$$\delta = \text{Sen}^{-1} \left[ 0.39795 \cos \left[ 0.98563 (N - 173) \right] \right] \quad (2.1)$$

Donde:

$N =$  Es el número del día con respecto al año.

La unidad de medida angular del tiempo, es el ángulo horario. Esta conversión básica consiste en que las 24 horas del día son iguales a los  $360^{\circ}$  angulares. En energía solar el ángulo horario es  $h_s$ , y es usado extensamente para expresar el tiempo solar, debido a la relación directa de la posición del Sol en el espacio. El ángulo horario, es medido a partir del mediodía y es positivo antes del mediodía, aproximadamente las 12 del día. Y es negativo después del mediodía. 1 hora equivalente a  $15^{\circ}$ .

### 2.1.1 Ángulos Solares, Azimut, Altitud y Zenit

La posición del Sol en la esfera celeste, es especificada en términos del ángulo del azimut  $\alpha$  y del ángulo de altitud  $\alpha'$ . Estos son mostrados en la Figura ( 2.2 ). El ángulo de altitud, es medido entre la distancia angular del Sol en el horizonte y el ángulo azimut, es medido entre la distancia angular del Sol y el sur. El ángulo solar zenit  $z$ , es la distancia angular del Sol desde el zenit, así:

$$\alpha' + z = 90^\circ \quad ( 2.2 )$$

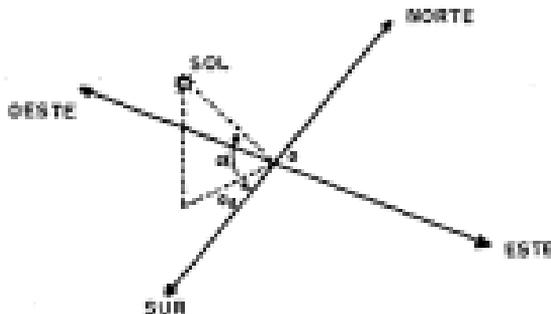


FIGURA 2.2: ANGULO DE ALTITUD SOLAR Y ANGULO DE AZIMUT

Los ángulos de altitud Solar y del zenit, son calculados para cualquier tiempo, fecha y ubicación usando las siguientes fórmulas:

$$\alpha = \text{Sen}^{-1} \left[ \frac{\text{Cos} ( L ) \text{Cos} ( \delta ) \text{Cos} ( h_a ) + \text{Sen} ( L ) \text{Sen} ( \delta )}{1} \right] \quad ( 2.3 )$$

$$az = \text{Sen}^{-1} \left[ \frac{\text{Cos} ( \delta ) \text{Sen} ( h_a )}{\text{Cos} ( \alpha )} \right] \quad ( 2.4 )$$

Donde:

- $\alpha$  = Ángulo de altitud
- L = Latitud del lugar
- $\delta$  = Ángulo de declinación
- $h_a$  = Ángulo horario
- az = Ángulo azimut

Para encontrar el ángulo azimut, es necesario distinguir entre el caso cuando se encuentra el Sol en el medio-Norte del espacio y de cuando se encuentra en el medio Sur del espacio. Para esta aclaración, es necesario hacer un cálculo, como sigue:

$$\begin{cases}
 \text{as} = \text{Sen}^{-1} \frac{\text{Cos}(\delta) \text{Sen}(hs)}{\text{Cos}(\alpha)}, \text{ si } \text{Cos}(hs) > \frac{\text{tg}(\delta)}{\text{tg}(L)} \\
 \\
 180 - \text{Sen}^{-1} \frac{\text{Cos}(\delta) \text{Sen}(hs)}{\text{Cos}(\alpha)}, \\
 \text{si } \text{Cos}(hs) < \frac{\text{tg}(\delta)}{\text{tg}(L)}
 \end{cases} \quad (2.5)$$

en caso de que  $\text{Cos}(hs) = \text{tg}(\delta) / \text{tg}(L)$ , entonces el ángulo azimut es lo mismo  $-90^\circ$  ó  $+90^\circ$ , dependiendo del ángulo horario  $hs$ , si es positivo o negativo.

Una vez determinados los ángulos horario ( $hs$ ), de declinación ( $\delta$ ), de altitud ( $\alpha$ ), de azimut ( $as$ ) y del ángulo de orientación de la superficie ( $\phi$ ), se puede calcular el ángulo de incidencia ( $i$ ), en rotación con los ángulos anteriores. El ángulo de incidencia, es el ángulo entre la normal de la superficie y los rayos solares.

$$\cos i = \cos^{-1} \left[ \cos(\alpha) \cos(as) \text{Sen}(\phi) + \text{Sen}(\alpha) \cos(\phi) \right] \quad (2.6)$$

### 2.1.2 Radiación Solar

Los colectores solares planos, pueden emplearse para recolectar Energía Solar en forma Directa y Difusa, es decir, en días parcialmente nublados se puede recolectar una cantidad importante de Energía Solar, para días nublados o con un alto índice de contaminación, no existe un método de calcular la Energía Solar incidente. Los métodos teóricos desarrollados se han aplicado principalmente para días claros. En la que sigue se reunirán diferentes métodos desarrollados anteriormente al cálculo de la Radiación solar para cualquier día.

La radiación que llega a la atmósfera de la Tierra, es de  $1,340 \text{ Kw}^{-2}$  aproximadamente, pero ésta no llega por completo al suelo, ya que un porcentaje de ella se disipa en la atmósfera debido a la capa de ozono, la capa de vapor de agua en el medio y por la contaminación del medio.

La intensidad de la radiación solar directa es aproximadamente de:

$$I_D = I_{ext} \text{ Exp } \left[ -0.1457(p \text{ m}/1000) - 0.1617( H \text{ m}_D )^2 / 6 \right] \quad ( 2.7 )$$

Donde:

$I_D$  = Radiación solar directa

$I_{ext}$  = Radiación extraterrestre, éstos valores son proporcionados en la Tabla 2

$P$  = Presión del lugar, en milibars

$m$  = Nivel de masa de aire a nivel del mar

$m_0$  = Nivel de masa de agua local

$H$  = Precipitación de agua, cm

$$m_0 = \sec(\alpha) \quad (2.8)$$

$$m = (P/P_0) m_0 \quad (2.9)$$

Donde:

$p$  = Presión local

$P_0$  = Presión a nivel del mar

$\alpha$  = Ángulo zenit

De la radiación total horizontal medida por un piranómetro, que es la que se proporciona mediante mapas meteorológicos, ver mapas (2.3) y la radiación directa se puede calcular mediante la Ecuación 2.7, la radiación difusa se puede calcular por la siguiente Ecuación:

$$I_D = I_H - I_D \quad (2.10)$$

Donde:

$I_D$  = Radiación Difusa

$I_H$  = Radiación total Horizontal

$I_B$  = Radiación Directa

La conversión de estas componentes de la radiación Directa y Difusa para una superficie inclinada, es calculada por separado. La componente Directa para una superficie inclinada es de:

$$I_{BT} = I_H \cos ( i ) \quad ( 2.11 )$$

Donde:

$i$  = Angulo de incidencia solar para la superficie del crista. Se calcula mediante el uso de la Ecuación 2.6

La componente Difusa para la superficie inclinada es:

$$I_{DT} = 1/2 ( 1 + \cos(\varphi) ) I_D + 1/2 ( 1 - \cos(\varphi) ) R^s I_{BT} / \cos(\varphi) \quad ( 2.12 )$$

Donde:

$\varphi$  = Angulo de inclinación de la superficie

$R^s$  = Parámetro de reflectancia del suelo

El parámetro de reflectancia del suelo, tiene valores típicos de 0.1 a 0.3 para la superficie libre de nieve, y 0.7 para la superficie cubierta con nieve.

Finalmente, la radiación total sobre una superficie inclinada, es simplemente la suma de las componentes Directa y Difusa. De la suma de las Ecuaciones 2.11 y 2.12, se tiene:

$$I_T = I_{DT} + I_{DT} \quad (2.13)$$

En el caso de que exista un nubado completo, se dice del 100%, se asume que la radiación total será igual a la componente de la radiación Difusa.

$$I_T = I_{DT} \quad (2.14)$$

## 2.2 Inclinación del Panel Colector

El efecto de la inclinación del panel hacia el sol, es algo confuso. El principal efecto es en  $I_c$ , que es la radiación que incide sobre la superficie inclinada. Es claro que  $I_c$  es máximo cuando el panel se encuentra perpendicular a la Luz Solar incidente, entonces éste interceptará más Luz Solar en ésta posición que en cualquier otra. Pero el Sol tiene diferentes posiciones en el Espacio todos los días y cambia de lugar de Norte a Sur con la temporada. La posición del Sol en el Espacio al mediodía para-

varias ocasiones del año, es mostrada en la Figura 2.3. Es obvio que un panel colector fijo o estacionario no pueda - coleccionar al máximo ( perpendicular ) calor todo el día.

Si se desea coleccionar más calor del que es coleccionado - con un panel estacionario de un tamaño dado, se pueden ha- cer dos cosas: Primero, se puede construir un sistema de - ajuste automático, es decir, un seguidor y una base para - soportar el panel, con el fin de mantener el panel en una - posición normal a la Luz Solar durante el día. Segundo, - dejar el panel estacionario, pero sencillamente haciendolo más largo. Es más barato hacer el panel más largo y mante - nerlo estacionario que hacer un seguidor automático con su - vimiento, ver Figura 2.4.

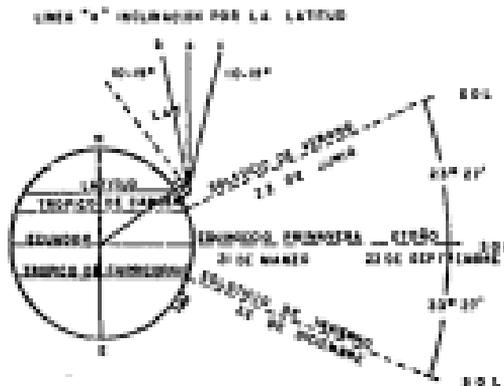


FIGURA 2.3: POSICIÓN DEL SOL, AL MEDIO DÍA

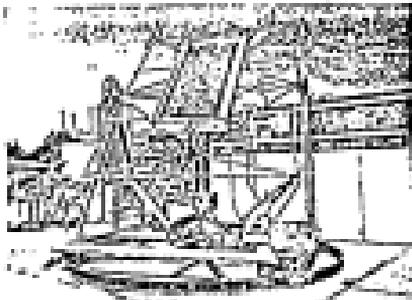


FIGURA 2.4: COLECTOR SOLAR CON SEGUIDOR AUTOMÁTICO

En cuanto a la inclinación u orientación del panel, - la persona interesada es la que decide respecto a eso. Así mismo, un panel estacionario coleccionará más calor mientras - más perpendicular incide sobre él la Luz Solar al mediodía. Esto significa que si el panel está construido sobre una - estructura de tipo cajón, entonces éste debe ser - orientado hacia el Ecuador. La posición del Sol, como es - de esperar, varía con las diferentes épocas del año. El - interesado debe de decidirse durante que temporada quiere co - lectar más energía y construir y ubicar el panel de acuerdo - a esto. Esto se puede entender más fácil examinando la Fi - gura 2.3, la cual muestra al Sol en diferentes épocas del - año con respecto a la Tierra y una casa en donde el panel - se encuentra montado.

Las temporadas del año, son el resultado del cambio anual de Norte a Sur del Sol. Este cambio es causado por estar el planeta inclinado aproximadamente  $23^{\circ} 27'$  con respecto al plano de la elipse, que es el plano en donde la Tierra se mueve al rededor del Sol. Dos veces al año, que son aproximadamente el 22 de Junio y el 22 de Diciembre, el Sol está en el Solsticio. El nombre del Solsticio, se deriva del hecho de que el Sol alcanza la distancia máxima al Ecuador celeste por algunos días en sucesión y luego comienza a retroceder hacia el Ecuador.

Para los simples requerimientos de colección de calor en verano y en invierno, el panel deberá entonces de tener una inclinación igual a la Latitud del lugar. Si se desea coleccionar calor para el invierno, el panel deberá tener una inclinación muy vertical. Si se desea coleccionar calor para el verano, éste deberá de ser más horizontal. No se debe de tomar el total de  $23^{\circ} 27'$  junto con la Latitud para la inclinación del panel, porque entonces se coleccionará la tasa máxima solamente en el Solsticio. ( 22 de Diciembre y el 22 de Junio ) y menos del máximo posible durante el resto del año. Es mejor construir el panel aproximadamente de  $10^{\circ}$  a  $15^{\circ}$  más de la Latitud para la colección en el invierno y aproximadamente de  $10^{\circ}$  a  $15^{\circ}$  menos de la inclinación por la Latitud para la colección en el verano. Este medio de tasa de colección es lo mas óptimo para largas épocas.

**Sumario:**

- a) Para igual colección en un período de un año:

Fijar el panel con una inclinación igual a la Latitud - del lugar, ver la línea ( a ) de la Figura 2.3

- b) Cuando se esté más interesado en el calentamiento durante el verano:

Fijar el panel con una inclinación igual a la latitud, - restándole aproximadamente de  $10^{\circ}$  a  $15^{\circ}$ , ver la línea - ( b ) de la Figura 2.3

- c) Cuando se esté más interesado en el calentamiento durante el invierno:

Fijar el panel con una inclinación igual a la latitud, - agregándole aproximadamente de  $10^{\circ}$  a  $15^{\circ}$ , ver la línea - ( c ) de la Figura 2.3. Pero recordar que el calentamiento de una piscina mediante Energía Solar es más interesante en el verano que en el invierno. Ver nota al final del capítulo.

Todo esto es muy interesante, pero es factible a confundir con que la superficie del colector no tenga una inclinación óptima. Esto es posible si se decide que una inclinación óptima del panel sea o muy vertical o muy horizontal para la manera de verlo alguien. En ambos casos un -

pánel óptimo será impráctico desear que el pánel no tenga más de 15° de su valor óptimo, no afectará la colección de calor en mucho. Esto es cierto para el caso de la superficie casi horizontal, que drene perfectamente hacia el Este u Oeste en vez de estar dirigido al Ecuador.

La discusión anterior concierne a la mejor inclinación para aplicaciones o usos en particular, pero ésto no cubre un medio exacto de la cantidad actual de calor que puede ser colectada para una inclinación en particular. Virtualmente todos los resultados medidos de la Energía Solar han sido para superficies horizontales.

Cálculos de calor incidente para una superficie inclina da tomada de valores horizontales es muy complicado. Ver Ecuaciones 2.10 a 2.14. Si sólo la componente Directa de la radiación solar incidente estuviera involucrada, el problema sería muy sencillo. Por simples aplicaciones trigonométricas y promedios sobre el día en cuestión resultarían los cálculos. Una cantidad significativa de Luz Solar incidente es dispersa, como quiera que sea, por aire, partículas de polvo en el medio y por las nubes. Edificios, montañas o vegetación, también pueden reflejar cantidades significativas de Luz Solar. Una de las ventajas de éste tipo de pánel de placa-plana en ésta TESIS, es precisamente que puede usar la componente Difusa de la Luz Solar. Así en día nublado, cuando sólomente pequeñas cantidades de Luz Solar vienen directamente del Sol, un pánel de placa-plana puede así colectar cantidades considerables de Energía Solar.

Como ya se vió en secciones anteriores, se han estado desarrollando métodos que ya incluyen la componente difusa en cálculos de calor recibido en superficies inclinadas. Para comenzar, éstos cálculos requieren de los valores del calor recibido o radiación incidente sobre la superficie horizontal, como se muestra en los mapas de la sección 2.3 a continuación.

### 2.3 La Ubicación Geográfica

Si la atmósfera no existiera, o si no afectara la radiación solar, el efecto de la ubicación geográfica sería muy simple. La ganancia de calor para cada día varía solamente con la latitud y la época del año. La única complicación puede ser que en algunos lugares montañosos o algo semejante puede ayudar a reflejar la luz solar extra, o puede reducir la entrada distribuyendo sombras al medio. De otra manera todo sería sencillo y de hecho esto sería sencillo y posible de calcular el efecto de la ubicación geográfica, en lugar de estar dependiendo por completo de tantos cálculos.

Desafortunadamente esto no es tan simple. Las nubes obstruyen o cubren, polvo en la atmósfera, smog o humo pueden tener efectos muy significantes en la ganancia solar. Estos factores pueden variar debido a la altitud, proximidad a las montañas, desiertos, depósitos de agua o cosecha

locaciones urbanas e industriales. Dado a que la Luz Solar penetra sobre la atmosfera a un ángulo, ésta tiene que atravesar más aire y polvo, que si entrara directamente en los nosotros. Mediciones en una ciudad pueden ser mucho menos del 15 al 20% de los valores en los alrededores del estado. Así, mediciones en una ciudad no podrán aplicarse a los alrededores de la ciudad o estado o viceversa.

De hecho grandes cantidades de datos existen para millares de localidades diferentes, todas correctas. Los resultados pueden ser recopilados por una computadora, y es por eso que se hicieron los mapas con un error mínimo. Las Figuras 2.3 a 2.8, muestran la radiación total incidente para todo el mundo en general, y las Figuras 2.9 a 2.20 solamente para México, para cada mes del año y la Figura 2.21, es un promedio diario del año. Las Figuras 2.5 ( a ) a 2.8 ( a ), muestran la radiación total incidente para cada Estación del año para México.

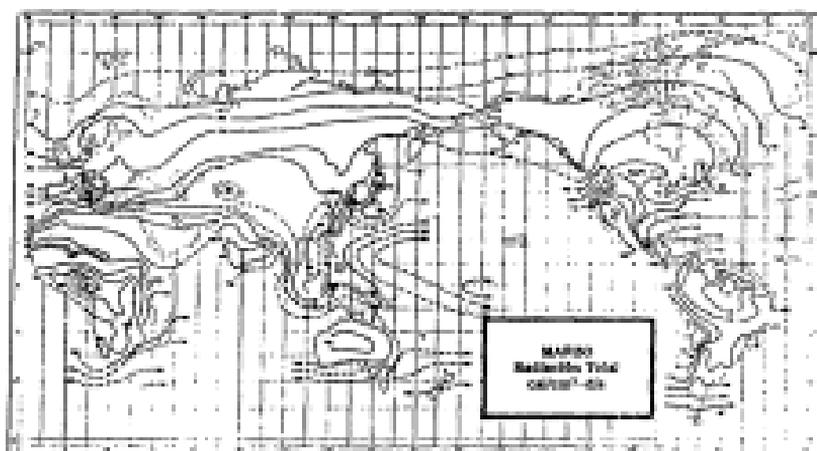


FIGURE 2.3

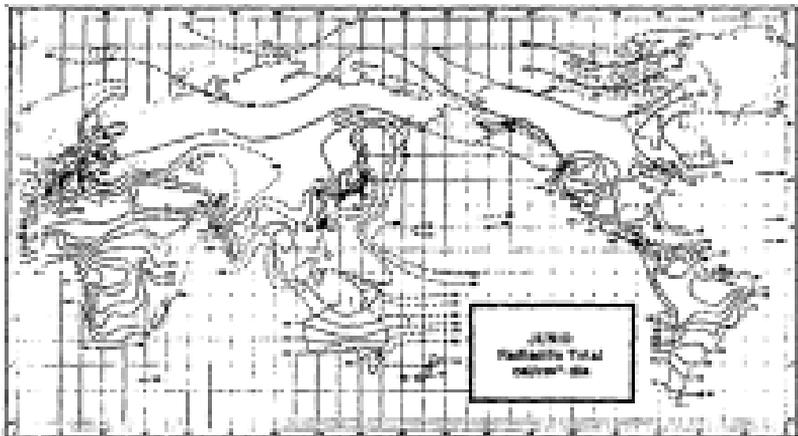


FIGURE 10

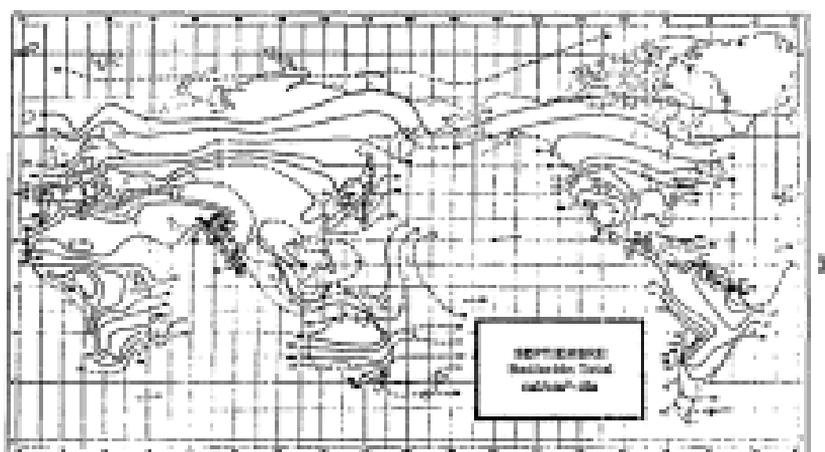


FIGURA 0.7

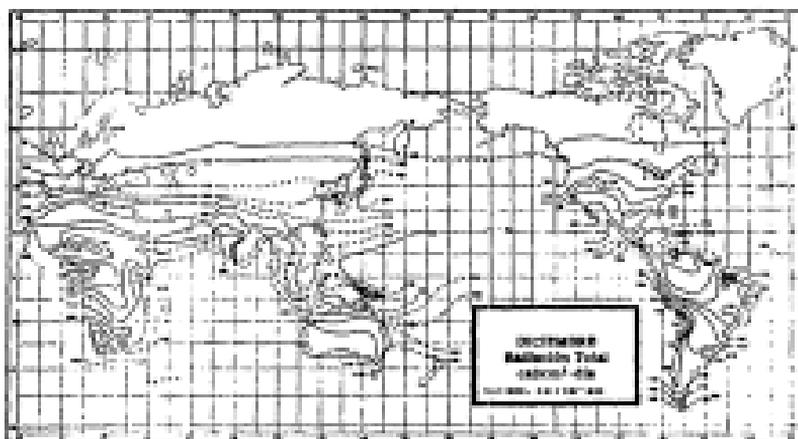


FIGURE 2.8

FIGURA 281 a 1



FIGURA 251 a 3



FIGURA 2. Piel



FIGURA 2.61 a 1



FIGURA 2.9



FIGURE 2.10

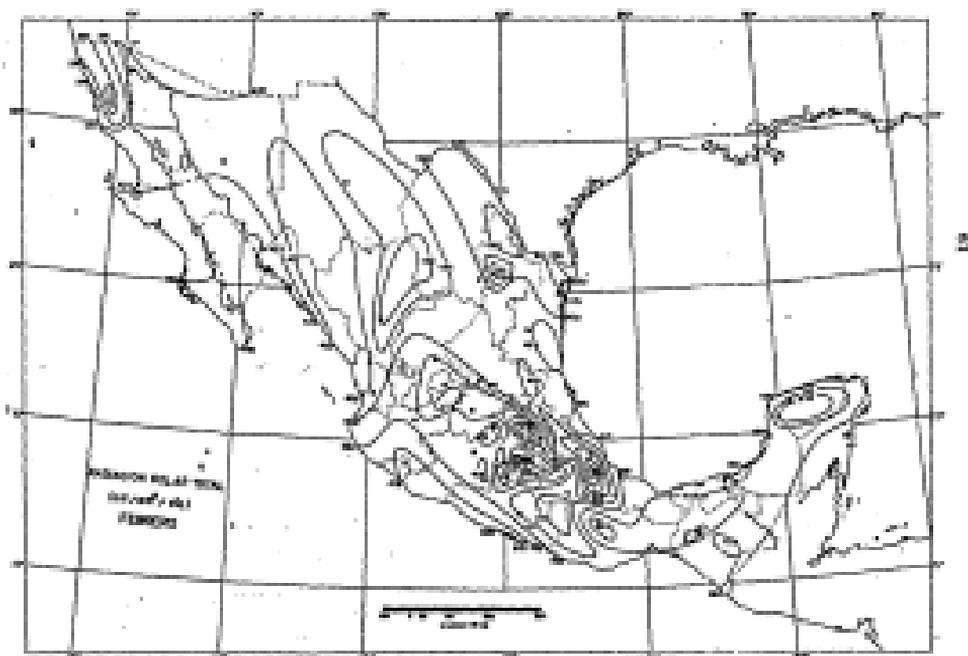


FIGURA 2.11

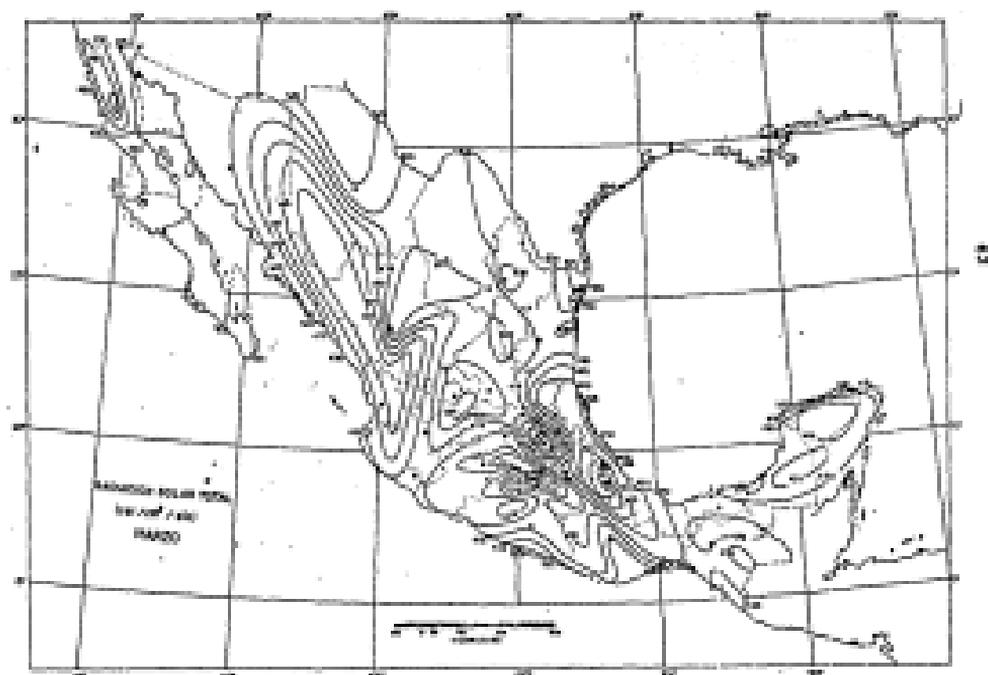


FIGURE 2.12



FIGURA 3.12



FIGURE 2-14

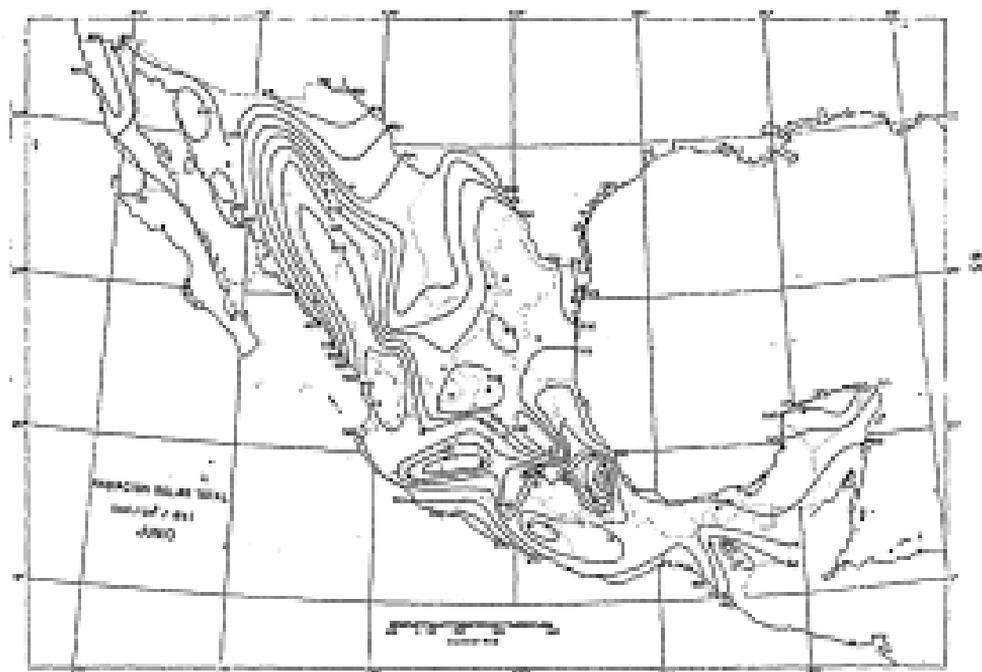


FIGURE 2.15

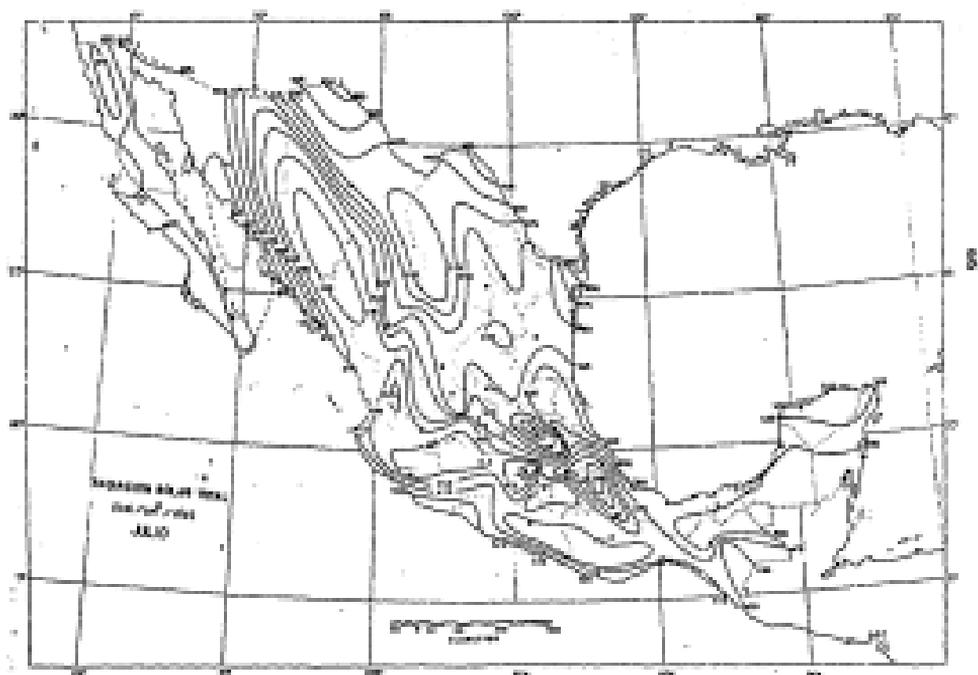


FIGURA 2.15

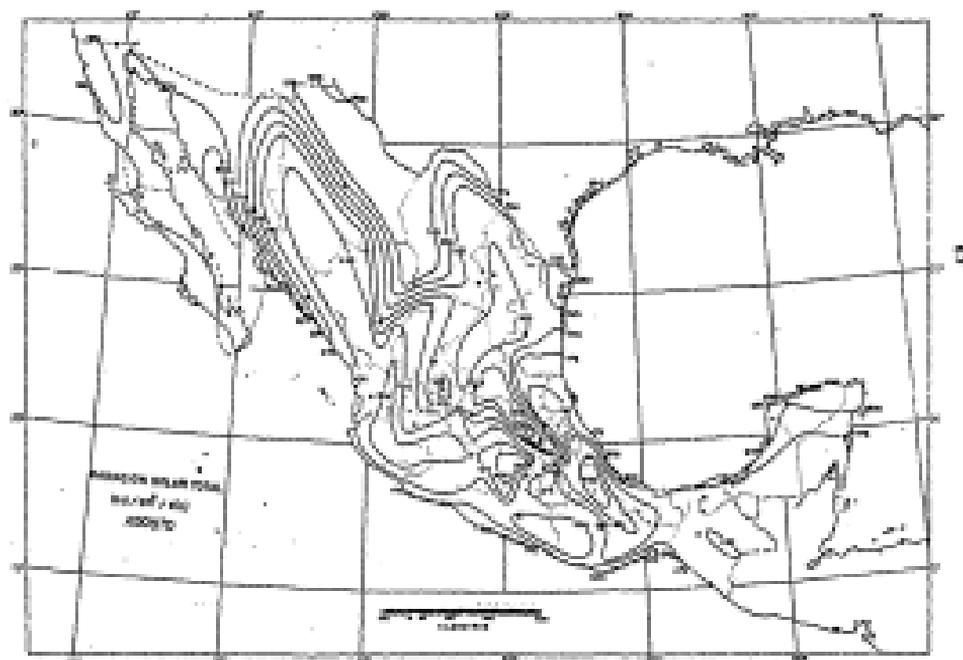


FIGURE 217

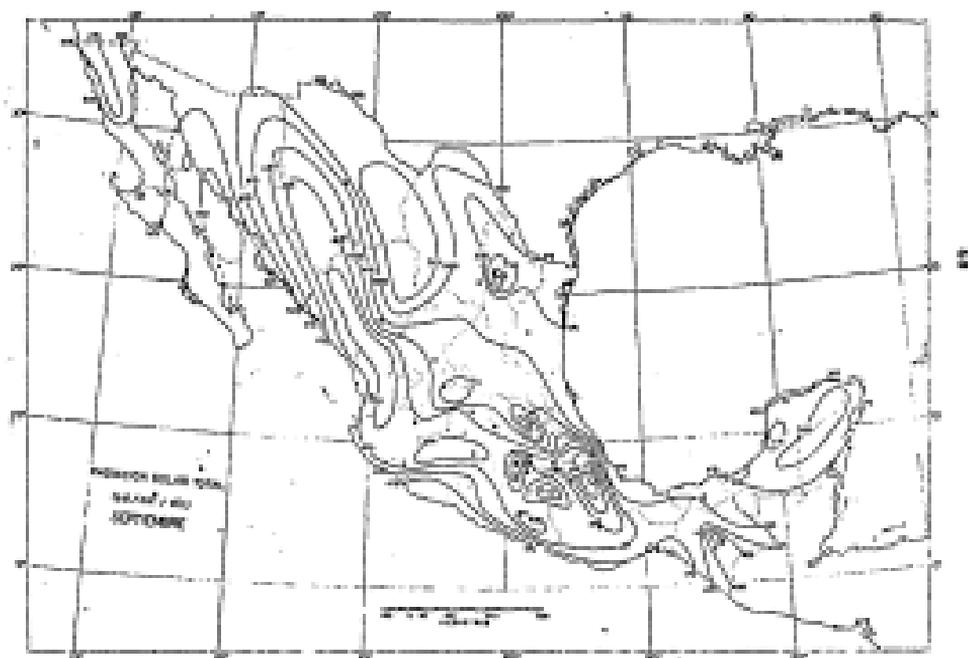


FIGURA 2.18

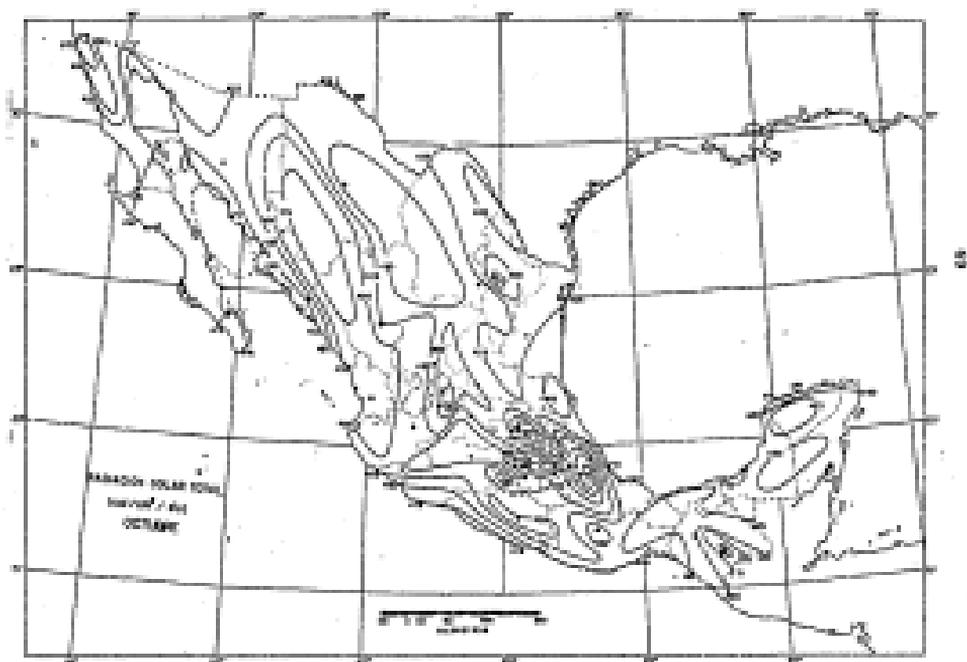


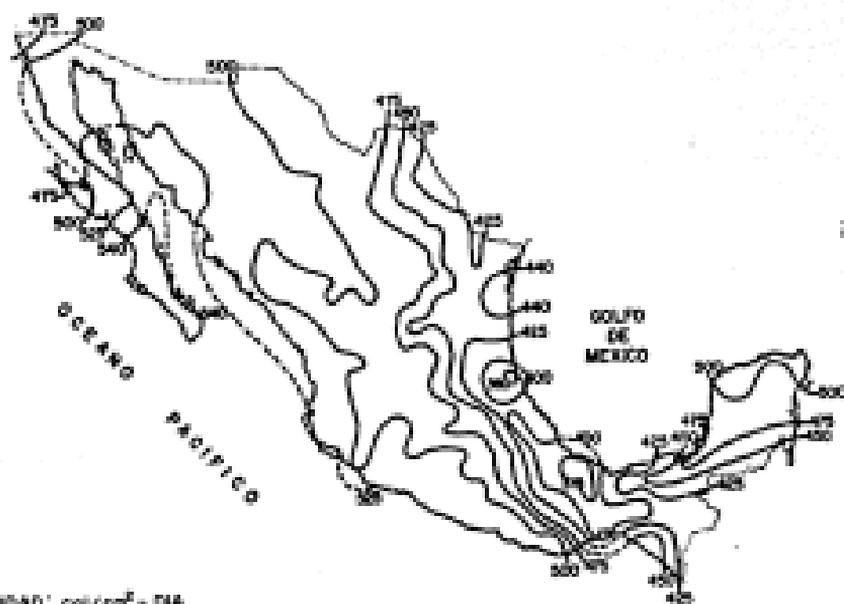
FIGURA 2-19



FIGURA 2.20



FIGURA 2.21: RADIACIÓN SOLAR DIARIA (PROMEDIO ANUAL)



### 2.4 Colectores Solares Generalmente en Uso

Generalmente los tipos de colectores solares en beneficio del calentamiento de una piscina varía considerablemente para aquellos que se usan en el calentamiento de agua de tipo doméstico que son, el colector de placa-plana convencional que consta de una caja y de una o dos láminas de vidrio. Las diferencias crecen para las grandes variaciones de la temperatura del agua, es decir, de los requerimientos deseados para cada aplicación.

Para temperaturas relativamente bajas como son las requeridas para el calentamiento de una piscina, materiales como lo son el plástico y los elastómeros son más apropiados, ya que en los últimos años se han creado nuevos materiales, los cuales han hecho a un lado a los metales, para usos relativos, así en el mercado internacional el uso de este tipo de colectores está dominado sobre los otros que son de metal. Pánoles solares para el calentamiento de agua doméstico, han sido usados en el pasado y todavía ocasionalmente son usados para el calentamiento del agua para una piscina, pero en general los colectores de plástico o de elastómeros tienen un costo-eficiencia mayor. Similarmenete los de cobre/cobre o de cobre/aluminio del tubo/sieta respectivamente, como lo son los pánoles domésticos que han sido usados para el calentamiento, pero sin el cajón, ésto es, no tienen láminas de vidrio y están sin aislante. De nuevo, como quiera que sea, estos generalmen-

te no compitan con el costo con las alternativas modernas del plástico y de los elastómeros.

El uso de los colectores sin vidrio y sin aislante para el calentamiento del agua para una piscina, está ahora muy extendido y principalmente en el campo de las piscinas domésticas. La razón es que con los vidrios y el aislante en colectores convencionales de placa-plano están ahí para reducir las pérdidas de calor del colector. Muchos de los diseños de colectores son de hecho con el fin de reducir las pérdidas de calor, en vez de maximizar el calor ganado, volviendo a las pérdidas, éstas son esencialmente proporcionales a la diferencia en la temperatura entre el fluido o la placa del colector y la temperatura ambiente. Los colectores que se aplican para el calentamiento de agua para una piscina son más fríos que los que se aplican para calentar el agua de tipo doméstico, por lo que las pérdidas de energía son proporcionalmente mucho menores. Esto hace que sea muy discutido el costo adicional del aislante y de los vidrios espesados para reducir las pérdidas de temperatura de la piscina. Ciertamente para piscinas domésticas que solamente operan por la temporada de verano los colectores sin vidrio tienen una relación costo-eficiencia mucho más alta.

Para piscinas públicas y comerciales, la situación no es necesariamente la misma debido a que los requerimientos de temperatura son con frecuencia diferentes y la operación es a lo largo de todo el año. Como dato adicional se

siguen substancialmente usando estos colectores, es decir, los que tienen vidrio y los que no lo tienen en instalaciones de sistemas solares en grandes piscinas públicas y comerciales.

### 2.5 Colectores Sin Vidrio

A continuación se mencionarán los diferentes tipos de colectores solares sin vidrio para el calentamiento de agua de una piscina, es decir, los que se recomiendan para hacer una instalación de un sistema solar; se mencionan algunos sistemas que no son muy profesionales, por lo que no tienen muy buenos resultados, pero funcionan para lo que fueron diseñados.

#### 2.5.1 Pánales de Plástico

Estos son el resultado de un proceso de inyección de plástico sobre un molde, esencialmente consisten de una lámina rígida con tubos muy poco espaciados unidos en la parte superior e inferior con los tubos de descarga y carga o entrada respectivamente, los cuales también se encuentran integrados, es decir, todo es de una sola pieza. Un ejemplo de éste tipo de pánal es ilustrado en la Figura 2.21.

Algunos de los materiales que se están usando para éste tipo de colectores solares pueden ser: Polipropileno, - Polietileno, Policarbonato, Acrílico y Poliolefin. Existen muchas variedades entre los fabricantes de éste tipo de colectores, principalmente en las características como pueden ser la medida del ducto de agua "Tubo", la distancia o separación de dichos ductos de agua, dimensiones del panel, diseño de la sección transversal, etc..

En paneles de plástico, es necesario que se reduzca el espacio entre los ductos, lo cual es una ventaja, ya que se reduce en promedio el espacio de los canales entre los ductos por donde es conducida la energía hacia los ductos o canales. El resultado es que se tiene un colector más eficiente.

### 2.3.2 Colectores en Barra

Esto consiste en una barra extruída o inyectada sobre un molde, variando el ancho de la barra entre 50 y 150 mm con el tubo moldeado junto con la barra. La Figura 2.23 muestra algunos diseños típicos. Muchas de las barras son formadas de extruir el elastómero EPDM, que es un caucho sintético, el cual reemplaza los usos del PVC, es una barra que al extruírse da por resultado un tubo con aletas a los lados y se llaman barras. En todos los casos las barras son conectadas a los tubos principales mediante varios

diseños en la unión. Hay muchas variaciones entre los diferentes productos manufacturados en cuanto a sus características como lo pueden ser el ancho de la barra, número de tubos por unidad de ancho, posición al conectar la aleta con respecto a los tubos y la medida del tubo, pero en general todos los productos se basan en el mismo concepto. Las barras son diseñadas para estar montadas sobre una superficie existente a una base especial, lámina de asbesto cemento o simplemente sobre metal. Una de las ventajas de este tipo de colectores en barra es que se pueden montar sobre superficies caprichosas, es decir, que tengan diferentes ángulos o doblados, curvas, etc.; ya que estas por no estar justas una barra a la otra pueden adquirir la forma de la superficie, pero se debe cuidar que todos estén bien alineados con respecto a los tubos de carga y descarga.

Un arreglo de esta clase de colectores, consiste en unir cada barra una a la otra existiendo una separación insignificante entre los tubos y quedan a una distancia mínima uno del otro. Así hay una aleta insignificante entre los tubos, por lo cual no se alcanza a coleccionar la energía suficiente hacia los tubos y hace que éste diseño tenga una menor eficiencia. Esto se puede arreglar si se coloca con las barras lo más cercano a la superficie en donde se monten, como por ejemplo sobre una lámina acanalada, dejando espacios sin barras, entonces la superficie actuará como una gran aleta absorbidora y coleccionará y transferirá el calor a la barra absorbidora, lo que se va a aumentar la eficiencia de colección.

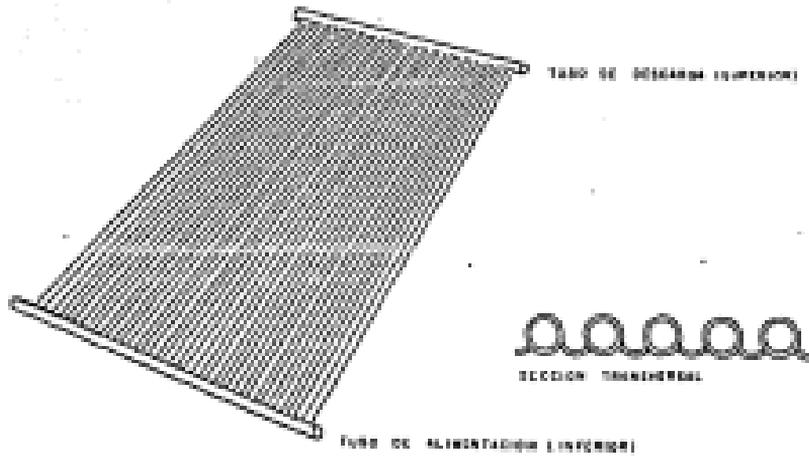


FIGURA 2.22: PANEL COLECTOR DE PLASTICO

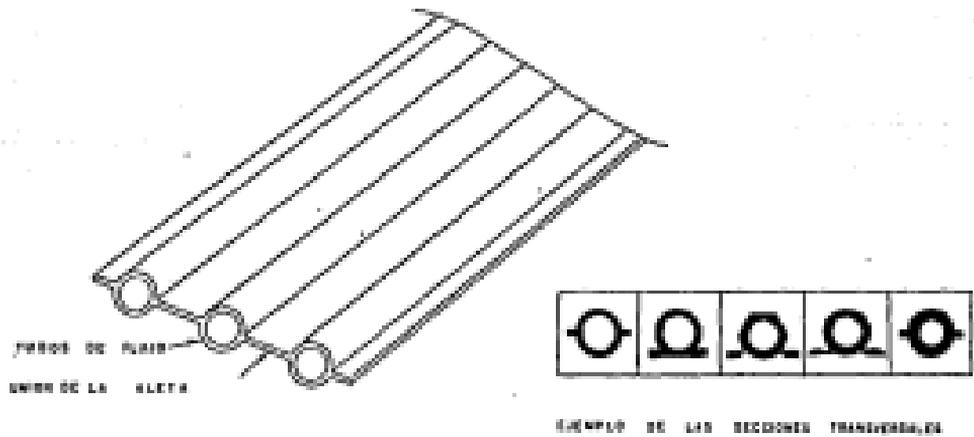


FIGURA 2.23: COLECTOR DE PLASTICO/ELASTOMERO DE TIPO EN BARRA

Hay un gran número de variables que afectan la salida térmica de este tipo de colector solar y el tamaño en función de la superficie actúa como una extensa aleta y éste - - afecta como sigue:

- Diseño de la barra: Ancho, posición de la aleta con respecto a los tubos.
- Material de la superficie: Lámina acanalada u ondulada.
- La presencia o ausencia de aislante en la parte baja del material de la superficie: y
- Cantidad de flujo dentro de las barras.

Aparentemente hay un gran número de combinaciones posibles con respecto a las anteriores variables. Una predicción o un funcionamiento esperado para una instalación dada es y puede ser muy difícil.

### 2.5.3 Colectores de Tubos de Plástico

Estos consisten en tubería o manguera negra de polietileno de uso de irrigación agrícola y pueden estar en un arreglo de una o dos vías. Estos pueden ser enrollados en espiral sencilla o pueden cortarse y hacer un arreglo como el de los colectores en barra, es decir, los tubos en

paralelo y conectados a los tubos principales como se vio en la sección 2.3.2. De nuevo se ocupa una superficie u otra base para soportar el colector, un ejemplo de este tipo de colectores se puede observar en la Figura 2.34.

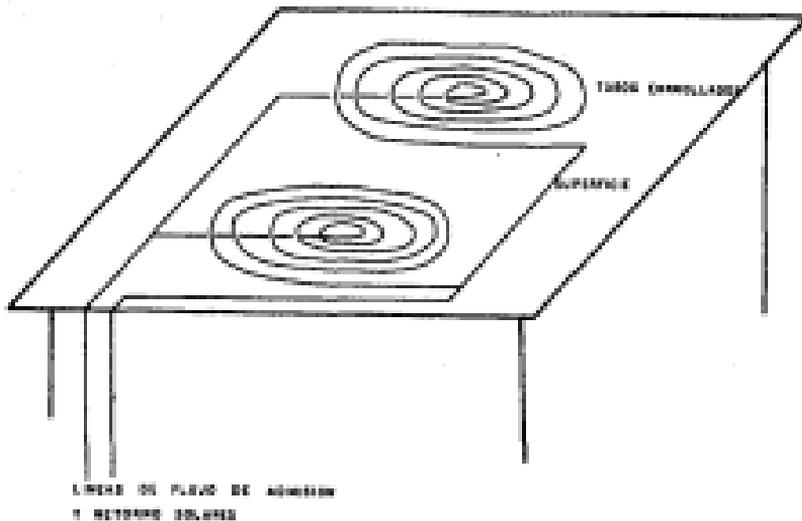


FIGURA 2.34: COLECTOR DE PLASTICO DE MANGUERA NEGRA

### 3.5.4 Colectores en Pavimento

Esta posición es solo para cuando se tenga un área que no se use y consiste en el aprovechamiento de usar una extensión para colocar la tubería para el calentamiento de la piscina y puede ser sobre concreto o áreas con pavimento como lo pueden ser canchas de basquetball, canchas de tenis o simplemente los alrededores de la piscina; la superficie debe de ser de color negro para que actúe como una placa y conduzca el calor a los tubos. Los diseños anteriores se pueden usar para este tipo, es decir, si no se cuenta con una superficie metálica para la instalación, una buena opción es ésta, y es emplear áreas que en algunas temporadas no se usan.

### 3.6 Colectores con Vidrio

A continuación se mencionarán los diferentes tipos de colectores solares con vidrio para el calentamiento de agua para una piscina, son más tradicionales los diseños para piscinas en casa, ya que como se está en continuo uso, es decir las necesidades son otras y se emplean para extender más la temporada de verano y no se usan todo el año, los requerimientos pueden ser otros, como lo puede ser la Temperatura, ya que es más caliente de lo que un colector sin vidrio logra en un corto tiempo.

### 2.6.1 Colectores en Caja

Este tipo de colectores usados en un sistema solar de méstico para el calentamiento de agua, es el más familiar de todos los anteriores. La Figura 2.25 ilustra un diseño típico. Para el calentamiento de una piscina, los colectores como el mostrado en la Figura 2.25, pueden ser usados o pueden ser reemplazados por colectores de plástico en barras. Los colectores convencionales usan tubos de cobre y son colocados y fijados en una placa de cobre o de aluminio. El agua de la piscina puede pasar a través de estos colectores pero cuidando la corrosión o erosión causada por las sustancias químicas que contiene el agua de una piscina. Los costos se le adicionan para su buen estado y mantenimiento. Un balance químico es necesario hacer para mantenerlo de acuerdo a las especificaciones y flujo de agua a través de los colectores. Un flujo de agua aceptable o típico puede ser de  $0.015 \text{ L seg}^{-1} \text{ m}^{-2}$ .

### 2.6.2 Colectores Integrados

Estos colectores están diseñados para aprovechar espacios que no se usan de una superficie o edificio, es decir parte de la construcción en la cual se integran los colectores. Estos pueden tomar una o dos formas, como se puede ver en las Figuras 2.26 y 2.27.

Para éstas nuevas superficies, los platos de colector son montados por debajo de la superficie transparente como lo puede ser una lámina de acrílico corrugado, instalados sobre el metal a usar, teja o asbesto cemento en la superficie montada.

El segundo aprovechamiento es considerado para construcciones o edificaciones existentes, consiste en colocar los colectores en barra a través de una lámina de metal acanalada convencional y luego fijar la cobertura transparente a la lámina. Esta puede ser vidrio, fibra de vidrio, lámina acrílica o algún material similar. La superficie de la lámina acanalada forma el soporte del colector y lo encierra. Las juntas y los filos del vidrio deben ser sellados tan bien como sea posible como en un colector de caja convencional, o pueden ser o dejarse deliberadamente abiertos, es decir, no descubiertos pero que tenga ventilación con el propósito de no elevar mucho la temperatura del agua.

NOTA: Todo el material de PVC o plástico usado para la construcción de los colectores solares, en el momento de ser fabricados se les adiciona un inhibidor solar, con el propósito de que no se degraden y que tengan la eficiencia que deben tener; además de que su vida útil se alarga. El PVC se degrada si se expone a la radiación solar y se vuelve quebradizo y de color negro, es por eso que se le adiciona el inhibidor. En lo referente a la inclinación del

colector, se tomó un caso general, pero para nuestra localidad debe de tomarse únicamente la latitud, ya que de otra manera los rayos solares no incidirían en los paneles colectores. Para ubicaciones muy al norte del Planeta, si son correctos dichos ángulos,

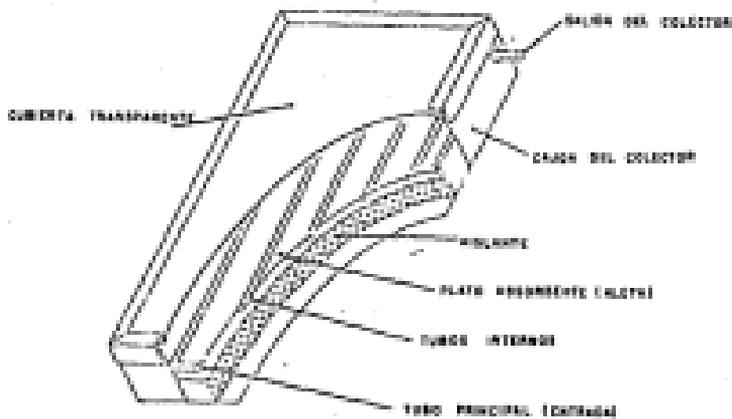


FIGURA 2.25: COLECTOR EN CAJA CON VIDRIO

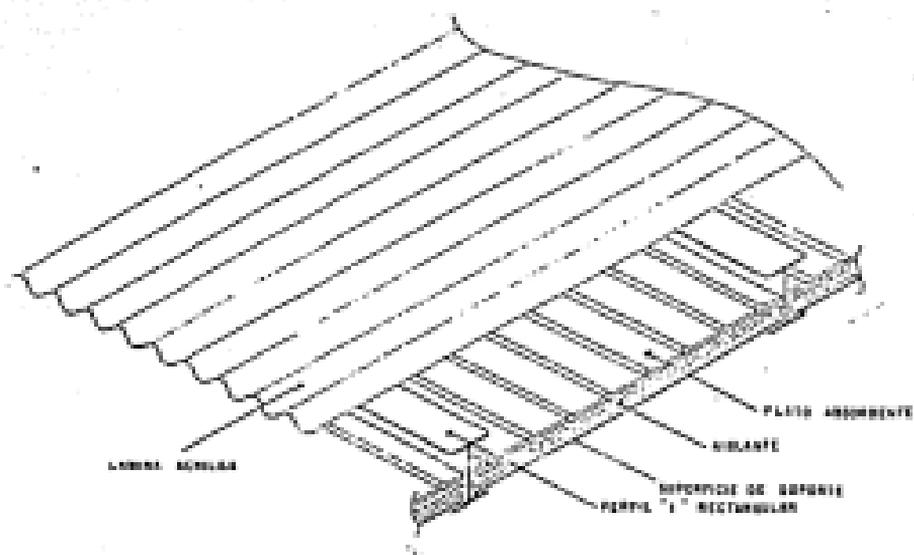


FIGURA 2.29: COLECTOR INTEGRADO

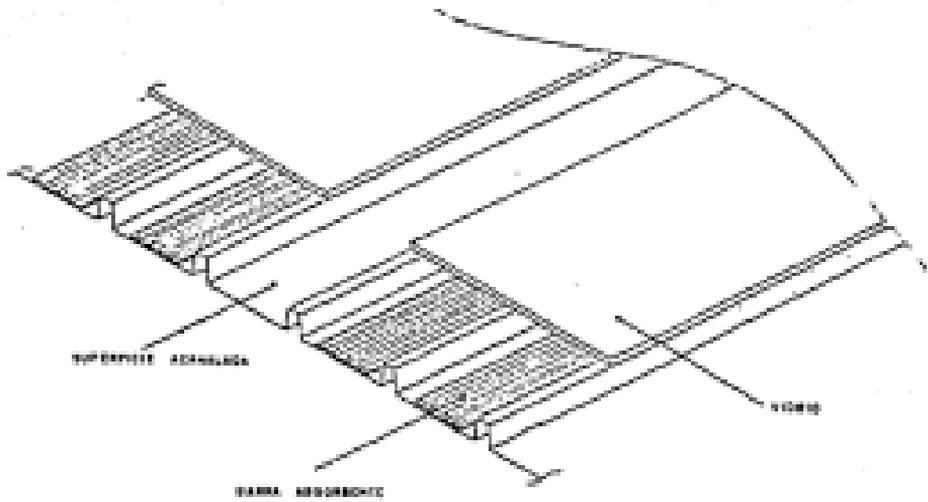


FIGURA 2.27 : COLECTOR INTEGRADO

## C A P I T U L O    I I I

### DISEÑO Y CALCULO DEL COLECTOR SOLAR

El propósito de éste capítulo, es de mencionar las propiedades de los calentadores solares, en cuanto a su funcionamiento, cantidad de energía colectada e ideal, eficiencias, etc.. Se mencionarán arreglos de colectores solares y se analizarán cada uno con el fin de saber cual es el mejor, en cuanto a su conveniencia respecto a la temperatura y a otros aspectos; y en general a todos los aspectos relacionados con la instalación de los colectores solares, como pueden ser: Tubería en general, bomba ( s ), válvulas, control y protección del arreglo solar, una comparación de los colectores solares con cubierta y sin ella en cuanto a sus ventajas y desventajas que brindan cada uno en el funcionamiento en el arreglo solar.

#### 3.1 Propiedades del Calentamiento Solar

La función de un calentamiento solar, es la de coleccionar la Energía Solar incidente sobre un área extendida y el de transferirla ésta al agua de la piscina a un mínimo costo. Esto se puede hacer cubriendo un área especial con tubos pintados de negro para que toda la Luz Solar incidente sobre ellos.

La manera más económica de coleccionar la Energía Solar, es mediante colectores de placa-plana. Estos se han mostrado al público por más de 40 años y se siguen construyendo, experimentando, refinando y analizando por mucha gente con el propósito de mejorarlos más. En general consisten en tubos fijados a intervalos regulares, de preferencia con soldadura a la lámina plana de metal de alta conductividad, como se muestra en la Figura 3.1. Todo éste ensamble es una cubierta que absorberá la Luz Solar. Esta puede ser cubierta con una o más láminas de vidrio o plástico transparente, como lo es el acrílico y puede ser aislado en la parte baja para prevenir las pérdidas de calor. Ambas cosas son necesarias cuando se requiere tener alta temperatura en el agua de la piscina.

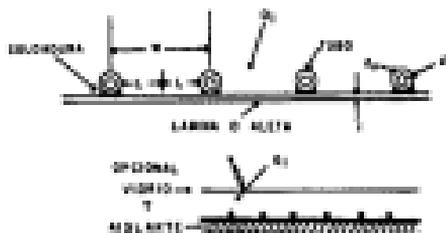


FIGURA 3.1: SECCION TRANSVERSAL DEL COLECTOR

De hecho la operación de un panel es muy sencilla en cuanto a su concepto. La energía Solar calienta la placa o alata y a los tubos. Algo de ésta Energía Solar es perdida, es decir, se regresa a la atmósfera, pero esperando que el resto de ella termine en el agua. La parte [ de la Energía Solar ] incidente en los tubos, es conducida directamente a través de la pared de los tubos y luego es transferida al agua. La parte [ de la Energía Solar ] incidente en la alata calienta la alata misma localmente, por lo que va a estar más caliente que los tubos, con el resultado de que éste flujo de calor vuelve a los tubos y éste proceso se lleva a cabo mediante Conducción a través de la alata y al tubo. Si la alata es muy larga y delgada, entonces se calentará excesivamente y una gran parte de la Energía Solar se perderá en el aire, en vez de depositarse o irse al que. Si la alata es muy larga y gruesa, dos problemas se tendrán:

- 1) El costo será mayor debido a que mucho metal es usado.
- 2) Una gran cantidad de calor es colectada por tubo, por lo que el tubo va a estar más caliente que el agua dentro de los tubos y de nuevo se tienen grandes pérdidas de calor hacia la atmósfera.

Si no pasa a través del panel la cantidad suficiente de agua, entonces el agua y el panel están más calientes, por lo que se incrementarían las pérdidas, es decir, la cantidad de flujo que pasa a través de los tubos, por ser = =

menor que la que se requiere o necesita, calentará de más al agua. El mismo resultado es obtenido cuando el flujo de agua en el pánel es muy caliente.

En complemento de estas pérdidas de calor, el funcionamiento del pánel es afectado por la inclinación (del pánel), latitud del lugar, clima, tiempo del año y por la radiación incidente. Todo ésto puede ser calculado. El único que no puede ser calculado es el clima, ya que éste es el azar y lo más fiable es predecirlo mediante estadísticas.

El calor colectado por un colector de placa-plana, es usualmente descrito por la siguiente ecuación:

$$Q_{col} = F_3 Q_{ideal} A_c \quad (3-1)$$

Donde:

- $F_3$  = Eficiencia global del colector, adimensional
- $Q_{ideal}$  = Flujo de calor ideal colectado,  $W m^{-2}$
- $A_c$  = Area de colector,  $m^2$

En ésta ecuación,  $F_3$  que es la eficiencia global del colector, la cual depende del diseño y construcción del colector, del flujo de agua a través del colector y de la velocidad del viento.  $F_3$  incluye los mayores efectos de las pérdidas de transferencia de calor como se podrá ver después.  $Q_{ideal}$  que es el flujo de calor ideal colectado, el cual depende principalmente de la ubicación, tiempo del

año, hora del día, clima, inclinación del panel, temperatura ambiente, temperatura del agua y por último de la velocidad del viento. Algo que también es importante en el cálculo de  $Q_{ideal}$  basados en el diseño del colector, son las propiedades de la radiación de la Energía Solar absorbida por la superficie y el hecho de si el colector es cubierto con láminas de vidrio o no.

### 3.2 Tasa de Colección Ideal $Q_{ideal}$

Si se considera que el colector está operando en estado estacionario [ Esto significa que nada cambia. Esto quiere decir que el Sol está estacionario, que el clima no cambia y que el flujo de agua y temperatura sean constantes. Estado estacionario se usa solamente para efectos de cálculos ] y que la superficie del colector esté completamente a la temperatura del agua que proviene de la piscina, el calor colectado ideal será entonces descrito por la siguiente ecuación:

$$Q_{ideal} = C_{v} I_c - \sum R - U_L (T_w - T_a) \quad ( 3.2 )$$

+ Si el colector no está cubierto

$$U_L = U_c + U_f \quad ( 3.3 )$$

y

$$I_c = I_T \quad ( 3.4 )$$

- \* Y si el colector tiene láminas de vidrio o de acrílico, es decir, está cubierto

$$U_L = U_T \quad ( 3.5 )$$

Y

$$I_C = \tau I_T \quad ( 3.6 )$$

Donde:

- $Q_{ideal}$  = Es la tasa de colección de calor ideal,  $W_m^{-2}$
- $\alpha_s$  = Es la absorptancia de la radiación solar en la superficie usada en el panel. Esto tiene un valor máximo posible de 1.00. Para una buena superficie éste puede ser igual a 0.9, adimensional.
- $I_C$  = Es la Energía Solar incidente colectada en el panel, contiene las componentes Directa y Difusa, ver ecuación ( 2.13 ),  $W m^{-2}$
- $\epsilon$  = Es la emisividad de la radiación infraroja que radia la superficie del panel. Tiene un valor máximo posible de 1.00. Para la mayoría de las superficies negras adquiere un valor de 0.9 adimensional.
- $E$  = Son las pérdidas de calor hacia el espacio - debido a la radiación infraroja, producida - por el hecho de que la temperatura del espacio o del cielo se encuentra a menor tempera

tura que la ambiente. De acuerdo con Bliss ( Ver referencias )  $E$  es aproximadamente igual a  $75 \text{ W m}^{-2}$  para paneles descubiertos. Para paneles con vidrio  $E$  debe de asumir el valor de cero.

$U_L$  = Es el coeficiente de transferencia de calor en el colector, por Convección y Radiación.-  $\text{W m}^{-2} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$

$T_{w1}$  = Es la temperatura en la que el agua entra al pánel igual a la temperatura del agua de la piscina,  $^\circ\text{C}$ .

$T_a$  = Es la temperatura del aire ambiente,  $^\circ\text{C}$

$U_C$  = Es el coeficiente de transferencia de calor por pérdidas de calor de Convección hacia el aire.  $\text{W m}^{-2} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$

$I_T$  = Es la Energía Solar total incidente sobre una superficie, es la suma de las componentes Directa y Difusa,  $\text{W m}^{-2}$

$\tau_g$  = Es la transmitancia de la cubierta de los paneles.

El término  $\alpha I_C$  representa la Energía Solar incidente El término  $E$  y el término  $U_L ( T_{w1} - T_a )$ , representan las pérdidas de calor del colector. El valor de  $Q_{ideal}$  está en función principal de la ubicación geográfica, hora del día, tiempo o época del año, clima, inclinación del pánel, propiedades de radiación del pánel y de la temperatura del agua de la piscina. Algunos de estos efectos serán discutidos más adelante. Existen una serie de

de efectos que hacen que el valor  $F_1$  sea menor que la unidad, estos efectos son principalmente debidos o relacionados con el diseño del panel y detalles de construcción. Hay tres factores sucesivos,  $F_1$ ,  $F_2$ , y  $F_3$  relacionados con los efectos de la transferencia de calor, con el propósito de tener un límite de funcionamiento.

### 1.3 Eficiencia de la Aleta & Factor de Separación de Tubos $F_1$

El simple efecto que reduce la eficiencia de colección de un panel envuelve a lo que es llamado eficiencia de la aleta. La aleta, que es una lámina de cobre es donde los tubos estan soldados, es supesta para absorber la luz solar y conducirla a los tubos. La aleta está haciendo el medio para que los tubos se calienten más y prevenga el incremento de las pérdidas de la temperatura a los alrededores. Una aleta muy delgada y muy larga tendrá una eficiencia muy baja debido a que el calor será perdido en los alrededores en vez de en los tubos. Un análisis para la aleta es calculado por la siguiente ecuación:

$$F_1 = \frac{tgh}{m} \quad (3.7)$$

Dando:

$$mL = [ U_L / kt ]^{1/2}$$

$F_1$  = Es la eficiencia de la aleta. Es un número adimensional, el significado de  $F_1$ , será explicado después.

$U_L$  = Es el coeficiente de pérdidas de calor del Pínel ver Ecuaciones 3.3 y 3.5.

$k$  = Es la conductividad térmica de la aleta, con un valor igual a  $386 \text{ W m}^{-1} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$  para el cobre.

$t$  = Es el espesor de la aleta, ver la Figura 3.1

$\text{Tgh}$  = Es la tangente hiperbólica, ésta función se puede encontrar en las tablas matemáticas. Una - - aproximación de ésta función está representada - en la Figura 3.2

$$\text{Tgh} ( x ) = \frac{\text{Senh} ( x )}{\text{Cosh} ( x )}$$

$$\text{Senh} ( x ) = \frac{e^x - e^{-x}}{2}$$

$$\text{Cosh} ( x ) = \frac{e^x + e^{-x}}{2}$$

$$\text{Tgh} ( x ) = \frac{e^x - e^{-x}}{e^x + e^{-x}} \quad ( 3.9 )$$

$L$  = Es la longitud de la aleta, es decir la mitad del total entre los tubos, se ver la Figura 3.1

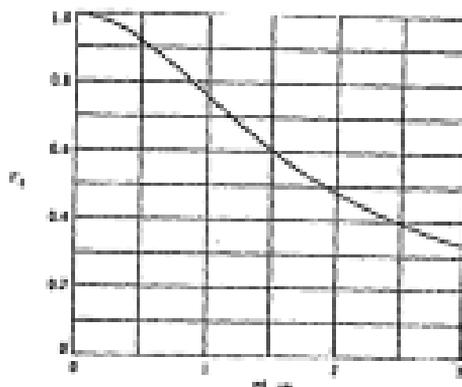


FIGURA 3.2: COMO VARIA LA EFICIENCIA  $F_1$  COMO UNA FUNCION DE  $ml$ .

El significado de  $F_1$  es el siguiente. Supóngase que el área de la aleta es  $A_f$ , la cual se enfría en uno de sus extremos, por ejemplo en tubo por donde pasa el agua y esta soldada a ella y en dicho extremo se tiene  $T_{e1}$ , por lo que no se puede calcular la tasa de calor colectado como  $Q_{ideal} + A_f$  pero sí la tasa  $F_1 + Q_{ideal} + A_f$  si toda la aleta se mantuviera a la temperatura  $T_{e1}$ , la colección podría ser entonces expresada por  $Q_{ideal} + A_f$ .

### 3.4 La Eficiencia de la Sección $F_2$

El flujo de agua a través del tubo es más frío que el tubo sujeto a la aleta. Es decir, el tubo se encuentra relativamente más caliente que el agua, con el fin de que el agua misma se caliente. Similarmenete para el flujo de calor existe un incremento de temperatura en el tubo, debido a que la aleta le conduce calor al tubo a través de soldadura. Esto hace que ambos, el tubo y la aleta operen a una temperatura mayor que la del agua, por lo que más calor será perdido a los alrededores, lo cual ya está incluido en  $Q_{ideal}$ . El segundo factor de eficiencia incluye al factor  $F_1$  y a otros parámetros. Para un pínel que usa tubos de cobre sobre una aleta de cobre, con juntas entre el tubo y la aleta, la eficiencia  $F_2$ , está dada por:

$$F_2 = \frac{1}{\frac{W U_L}{dt D_c} + \frac{1}{\frac{dc}{W} + \frac{1}{\left( \frac{W U_L}{C_a} + \frac{1}{\left( \frac{1}{l} - \frac{dc}{W} \right) F_1} \right)}}$$

Donde:

$F_2$  = La segunda eficiencia, es decir, la eficiencia de la sección, es un número adimensional, el significado de  $F_2$  será explicado después.

$w$  = Es el ancho sobre la superficie del colector correspondiente a un tubo, es decir, igual a la distancia entre centros de los tubos,  $w$  ver Figura 3.1.

$\pi$  =  $3.1415\dots$

$d_i$  = Diámetro interior del tubo,  $m$

$\bar{U}_c$  = Coeficiente de transferencia de calor por Convención media, entre el flujo interno del agua y el tubo, el cual depende de varios factores como son:

$$N_{Re}^{-2} \quad \alpha_C^{-1}$$

a) Si el flujo dentro del tubo es laminar

$$\bar{N}_U = \frac{\bar{U}_c \cdot D}{k_b} = 1.86 (N_{Re} Pr \frac{D}{L})^{1/3} \left( \frac{\mu_b}{\mu_w} \right)^{0.14}$$

$$\text{Para } 10 < N_{Re} Pr \frac{D}{L} < 100 \quad (3.11)$$

Para la Ecuación 3.11

$\bar{N}_U$  = Número de Nusselt promedio

$D$  = Diámetro del tubo,  $m$

$L$  = Longitud del tubo,  $m$

$k_b$  = Conductividad térmica del fluido, tomada a temperatura del agua de la piscina.

$$W \cdot m^{-1} \quad \alpha_C^{-1}$$

$\mu_b$  = Viscosidad del fluido, a la temperatura del agua de la piscina,  $\text{Kg m}^{-1} \text{seg}^{-1}$

$\mu_w$  = Viscosidad del fluido, a la temperatura de la pared del tubo,  $\text{Kg m}^{-1} \text{seg}^{-1}$

$Re$  = Número de Reynolds

$$Re = \frac{\rho \bar{v}}{\mu}$$

$\bar{v}$  = Velocidad promedio del fluido dentro del tubo,  $\text{m seg}^{-1}$

$$\bar{v} = v_{\text{máx}} / 2$$

$\nu$  = Velocidad cinemática del fluido,  $\text{m}^2 \text{seg}^{-1}$

$Pr$  = Número de Prandtl

$$Pr = \frac{c_p \mu_b}{k_b}$$

$c_p$  = Calor específico del fluido,  $\text{J Kg}^{-1} \text{seg}^{-1}$

b) Si el flujo dentro del tubo es Turbulento

$$\overline{Nu} = \frac{0.023 D}{k} = 0.023 ReD^{0.8} Pr^{0.4} \quad (3.12)$$

Para  $0.7 < Pr < 700$  y  $L/D > 60$

$Re > 10^4$

$d_o$  = Diámetro externo del tubo, m

$C_w$  = Conductancia de la soldadura, igual a  $175.5 \text{ W m}^{-1} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$

$U_L$  = Es el coeficiente de transferencia de calor del colector por Convección y Radiación,  $\text{W m}^{-2} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$

La eficiencia de la sección  $F_2$  se puede calcular de otra manera, si el material de que está hecho el colector-solar es diferente al de cobre o simplemente de que no sea metal, como lo puede ser el PVC, acrílico, etc.

$$F_2 = \frac{l}{U_L W \left[ \frac{1}{U_L (d_o + 2 L F_1)} + \frac{1}{U_c (2 d_o + 2 d_i)} \right]}$$

Donde:

$F_2$  = La segunda eficiencia

$W$  = Ancho de la superficie del colector, igual a la distancia entre centros de los tubos, m

$U_L$  = Coeficiente de transferencia de calor en el colector por Convección y Radiación,  $\text{W m}^{-2} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$

$d_o$  = Diámetro interno del Tubo, m

$L$  = Es la mitad de la distancia entre tubos, m

$F_1$  = Primera eficiencia.

$U_c$  = Coeficiente de Transferencia de calor por Convección. Es igual que para el caso anterior

$\text{W m}^{-2} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$

$d_i$  = Diámetro interno del tubo, m

El significado de  $F_2$  es como sigue. Una sección del colector, como se muestra en la Figura 3.1, de área  $A_g$  que es enfriada con agua a temperatura  $T_{wi}$ , ver Ecuación 3.3, no colectará calor a la tasa  $Q_{ideal} * A_g$ , pero sí a la tasa  $F_2 * Q_{ideal} * A_g$ . Si la sección completa del colector estuviera a temperatura  $T_{wi}$ , la colección sería por supuesto dada por  $Q_{ideal} * A_g$ .

### 3.5 La Eficiencia del Flujo, o Eficiencia Global $F_3$

Como se vió en la sección anterior, la eficiencia  $F_2$  se encuentra relacionada con el efecto de la tasa de flujo. Si el flujo de agua que pasa a través del panel es muy bajo, entonces la temperatura del agua se incrementará muy rápido y en una distancia muy corta desde la entrada del agua al panel estará tan caliente que ya no podrá coleccionar más calor. Para un flujo de agua mayor que sea bombeado a través del panel, se tendrá una temperatura más uniforme en el panel. Para flujos de agua muy altos, la temperatura a través del panel será esencialmente la misma, en ese caso la eficiencia del panel será igual a  $F_2$ . Para flujos de agua muy bajos el panel tendrá una eficiencia de cero.

Una Ecuación para la eficiencia global  $F_3$  es como si\_ que:

$$F_3 = \frac{G C_p}{U_L} \left[ 1 - \exp \left( - \frac{F_2 U_L}{G C_p} \right) \right] \quad ( 3.14 )$$

Donde:

- $F_2$  = Es la eficiencia global del colector
- $C_p$  = Calor específico del agua,  $3 \text{ Kg}^{-1} \text{ oc}^{-1}$
- $G$  = Flujo másico de agua
- $\exp$  = Exponencial = e. Es la base del logaritmo natu\_ ral, es un número como Pi,  $e = 2.71828$

Como era de esperarse en la discusión anterior, la Ecuación 3.14 contiene el factor  $F_2$ .

Valores de  $F_3$  pueden ser calculados con la Ecuación 3.14 para cualquier valor de  $F_2$  y del parámetro.

$$\left( G C_p / U_L \right)$$

Esto ya está hecho para un rango de valores y los re\_ sultados se muestran en la Figura 3.3

Debe de hacerse notar que las ecuaciones anteriores para  $F_1$ ,  $F_2$  y  $F_3$  cubren virtualmente todos los factores in\_ voluados en el diseño del colector que son factibles a

cambio. La medida de los tubos, como se verá después, es cambiada en base a la caída de presión y no con consideraciones de Transferencia de Calor. Si la medida del tubo es correcta, entonces los tubos no tendrán influencia en los cálculos de Transferencia de Calor, pero sí la junta o unión del colector, como puede ser la soldadura y el flujo de agua hará un posible cambio en la Transferencia de Calor con una caída en la temperatura. El uso de vidrio o plástico sobre el colector reducirán los valores de  $I_c$  y de  $\bar{W}_L$  y virtualmente eliminarán el término  $R$ .

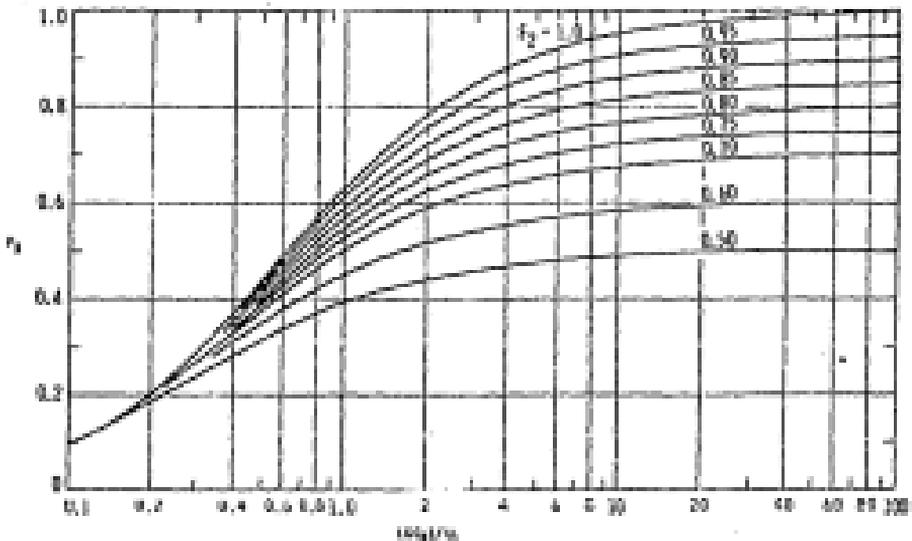


FIGURA 13: VARIACION DE LA EFICIENCIA  $F_2$  COMO UNA FUNCION DE LA EFICIENCIA  $F_1$  Y DE LA TASA DE FLUJO DE AGUA

### 3.6 Eficiencia Total del Colector $\eta_c$

Esta eficiencia es la que está relacionada con un colector total, es decir, para un colector en conjunto y medir su eficiencia con respecto al funcionamiento; la eficiencia del colector de placa-placa operando bajo condiciones de estado estacionario, puede ser escrita bajo la siguiente relación:

$$\eta_c = F_3 \bar{\tau} \alpha - F_3 U_L \frac{(T_{wi} - T_a)}{I_0} \quad (3.15)$$

Donde:

- $\eta_c$  = Eficiencia del colector
- $F_3$  = Eficiencia global del colector
- $\tau$  = Transmitancia, cuando no exista lámina de vidrio se asume un valor de 1.0
- $\bar{\tau}$  = Promedio efectivo anual del producto de transmitancia-absortancia del colector, valor igual a 0.75
- $U_L$  = Coeficiente de Transferencia de Calor por Convección y Radiación,  $W m^{-2} ^\circ C^{-1}$
- $T_{wi}$  = Temperatura a la entrada del colector,  $^\circ C$
- $T_a$  = Temperatura ambiente,  $^\circ C$
- $I_0$  = Energía Solar incidente colectada en el panel, - toma los valores de las Ecuaciones 3.4 y 3.6, según sea el caso,  $W m^{-2}$ .

### 3.7 Área del Colector

Por el área del colector se entiende el área total de colectores necesaria para el calentamiento del agua de una piscina, las dimensiones de cada colector, son las que el diseñador le quiera dar, siempre y cuando el conjunto de todos ellos sean el total requerido.

$$A_c = \hat{\eta}_c I_c / Q_{col} \quad ( 3.16 )$$

Donde:

$A_c$  = Área de colección,  $m^2$

$I_c$  = Energía Solar incidente colectada por el panel, toma los valores de las Ecuaciones 3.4 y 3.6, según sea el caso,  $W m^{-2}$

$\hat{\eta}_c$  = Eficiencia del colector

$Q_{col}$  = Calor colectado por los colectores de placa-plana Ver Ecuación 3.1.

En la Ecuación 3.1, tomar como área de colector la unidad, ya que  $A_c = N A_{colectores}$ , el resultado obtenido en la Ecuación 3.16, será el área de colección ideal por  $m^2$  del área de la piscina. Así la Ecuación 3.16 queda como:

$$A_c = (\hat{\eta}_c I_c / Q_{col}) \times A_{piscina} \quad ( 3.17 )$$

$$N = A_c / A_{colectores} \quad ( 3.18 )$$

Donde:

$N$  = Número de colectores a usar

### 3.8 Medida del Tubo

Resulta que un calentador solar para una piscina el diámetro o medida del tubo es principalmente determinada por el efecto de la caída de presión, esto es debido a:

- a) El agua de la piscina debe de ser recirculada y filtrada regularmente. La tasa de recirculación recomendada equivale un volumen bombeado igual al volumen del agua de la piscina a través del filtro, una vez cada 8 a 12 horas.
- b) Si ésta misma tasa de flujo es pasada a través de un calentador solar, ésta automáticamente dará grandes cantidades o valores de  $U_c$ , por lo que la eficiencia de la sección  $F_2$ , automáticamente será alta ( ver Ecuación 3.10 y 3.13 ).
- c) La eficiencia global  $F_3$  también será alta, a menos que el pénel sea hecho más largo.

Entre [ b ] y [ c ], todos los requerimientos de Transferencia de Calor relacionados con el diámetro de la tubería se encuentran o son satisfactorios. El único parámetro

tró relacionado con el diseño, es el uso del largo necesario de los tubos para que así pase la cantidad de flujo - sin importar unas excesivas pérdidas de presión.

Los calentadores de gas están normalmente diseñados para una caída de presión de aproximadamente 0.14062 a 0.28124 Kg cm<sup>-2</sup> ( 2 a 4 Lb pulg<sup>-2</sup> ). Los mismos valores se pueden usar para los calentadores solares. Así los filtros de agua normalmente operan con una presión a la salida de 0.7031 a 1.05465 Kg cm<sup>-2</sup> ( 10 a 15 Lb pulg<sup>-2</sup> ) por lo que la misma bomba puede ser usada cuando se use el sistema solar o no, pero se recomienda chequear que la capacidad de la bomba esté o se encuentre sobrada, para que así se pueda anexar a nuestro sistema solar. La cantidad de flujo filtrado seguirá siendo el mismo independiente que el sistema solar se encuentre funcionando o no.

La intención en el diseño de un calentador solar es de proveer a un número de tubos la cantidad de flujo que es igual o muy semejante entre sí y que a la salida del proceso se tenga una razonable caída de presión. Esto puede ser hecho usando la Figura 3.4, la cual da la caída de presión por metro de tubería, para diferentes tasas de flujo y medidas de tubos. Hay muchas formas o vías para hacer los cálculos necesario. Una manera conveniente es como sigue:

- a) Calcular el volumen de la piscina en litros ( galones ). Un volumen igual al área de la piscina

(  $m^2$  o  $\text{pie}^2$  ) multiplicada por la profundidad - promedio (  $m$  o  $\text{pie}$  ) multiplicado por 1000 que son los litros que hay en un  $m^3$  (7.481 galones - en un  $\text{pie}^3$  ).

- b) Asumiendo que la circulación a través de la bomba será de un volumen de la piscina de cada 8 horas. La tasa de flujo en litros por segundo - ( LPS o GPM ) y luego se divide el volumen de la piscina entre 28.800 segundos. Esta es probablemente una tasa de flujo más alta de la que se puede esperar, pero los tubos deberán tener un diámetro ligeramente generoso para poder manejar el flujo sin problemas.
- c) El bosquejo del calentador que se está planeando en construir, incluye las medidas de la longitud en la dirección del flujo de agua, así como también el ancho del calentador. Esto dependerá del tamaño de superficie disponible en el calentador deseado y de las posibilidades en el presupuesto. Si todavía no se tiene en mente el tamaño del panel, se pueden hacer los cálculos, basados en un panel con un área de la mitad de la superficie, igual al área de la piscina y doblar el área de la piscina. Asumiendo esto se puede hacer el diagrama del sistema y hacer el resto de los cálculos.

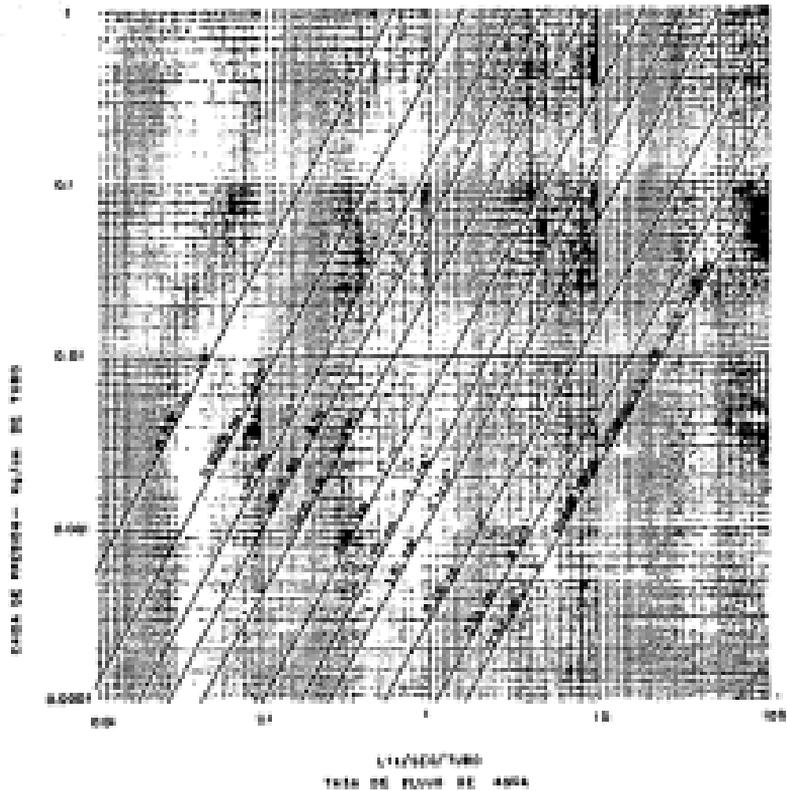


FIGURA 2A: VARIACION EN LA CAIDA DE PRESION POR CENTIMETRO DE TUBO EN FUNCION DE LA TASA DE FLUJO DE AGUA Y DIAMETRO DEL TUBO

- d) Calcular el número de tubos. De ( c ) se tiene el ancho del colector y se puede asumir una separación de los tubos de 20 cm ( 8 pulg ). Luego dividir el ancho entre 20 cm y así tener el número de tubos.
- e) Seleccionar la medida del tubo, digamos de 0.9525 cm ( 3/8 pulg ) como diámetro nominal.
- f) Calcular los LPS ( GPM ) por tubo de las partes ( b ) y ( d ), y así encontrar la caída de presión por metro de Longitud de tubo, de la Figura 3.4.
- g) Para determinar la caída de presión, debe luego multiplicarse la caída de presión por metro ( pie ) de longitud, por la longitud del flujo, determinada anteriormente en ( c ).
- h) Si la caída de presión está entre 0.14062 y 0.28124 kg cm<sup>-2</sup> ( 2 y 4 Lb pulg<sup>-2</sup> ) se tiene entonces un diámetro de tubo aceptable. Si la caída de presión es muy grande, hay que regresar al inciso ( e ) y seleccionar un tubo de mayor diámetro o de lo contrario si la caída de presión es muy chica, tomar un diámetro menor. Hay que repetir los cálculos de los incisos de ( e ) a ( h ) hasta que la caída de presión sea la que se quiera.

- 1) Ahora los tubos principales, es decir, la red de distribución de tubos al sistema, deben tener un diámetro para distribuir el flujo en igual cantidad a los tubos. Esto puede ser hecho asumiendo que la mayor caída de presión ocurre en los tubos del colector más que en los tubos de distribución o principales. Asumiendo que toda la resistencia del flujo debe de satisfacer toda la longitud de los tubos principales, el cálculo para éstos tubos va a ser iguales a los mencionados anteriormente. Comenzando con un tubo de 1.81 cm ( 1 1/2 pulg.) como diámetro nominal. Tratando de lograr una caída de presión final entre 1/4 y 1/3 de la caída de presión de la que se había calculado u obtenido en los tubos del colector.

La caída de presión en el resto de la red de bombeo, puede ser calculada usando la misma técnica. Conexiones como lo son: Codos, Tubo en T, Válvulas, Medidores, etc., producen una caída de presión extra en la línea. Una manera aproximada de agregar éste efecto extra, se le puede agregar una longitud de tubo extra igual a 25 veces el diámetro del tubo para cada conexión o aditamento en el sistema o línea, esto se conoce como la Longitud Equivalente para cada conexión.

### 3.9 Diseño del Sistema

En esta sección se darán a conocer los elementos relacionados con una instalación de un sistema solar para el calentamiento de agua de una piscina; se mencionarán algunos diagramas tanto de arreglos de colectores como de todo un sistema en conjunto, es decir, con todos los elementos de una instalación.

#### 3.9.1 Diseño del Sistema - Usando una bomba para elevar la presión.

La Figura 3.5, es un diagrama esquemático que está ilustrando el diseño del sistema y los componentes normalmente apropiados para el o los Sistemas Solares en piscina muy grandes. Este sistema bombea el agua a través de la instalación ya existente de recirculación del agua de la piscina y se instala después del filtro y antes del calentador convencional ( en el caso en el que exista uno ).

El sistema ilustrado emplea una bomba con el objeto de aumentar la presión para el Sistema Solar. Esta es normalmente requerida para piscinas grandes pero puede o no ser usada para piscinas chicas. En particular, para piscinas domésticas puede hacerse uso de la bomba existente del filtro para la circulación a través del Sistema Solar.

En la sección 3.9.5, se considerará el caso de un sistema donde no es requerida una bomba elevadora de presión o simplemente una bomba auxiliar.

### 3.9.2 Diagramas de Colectores

A continuación se mencionarán los diagramas a usar en una instalación solar para los diferentes tipos de colectores solares.

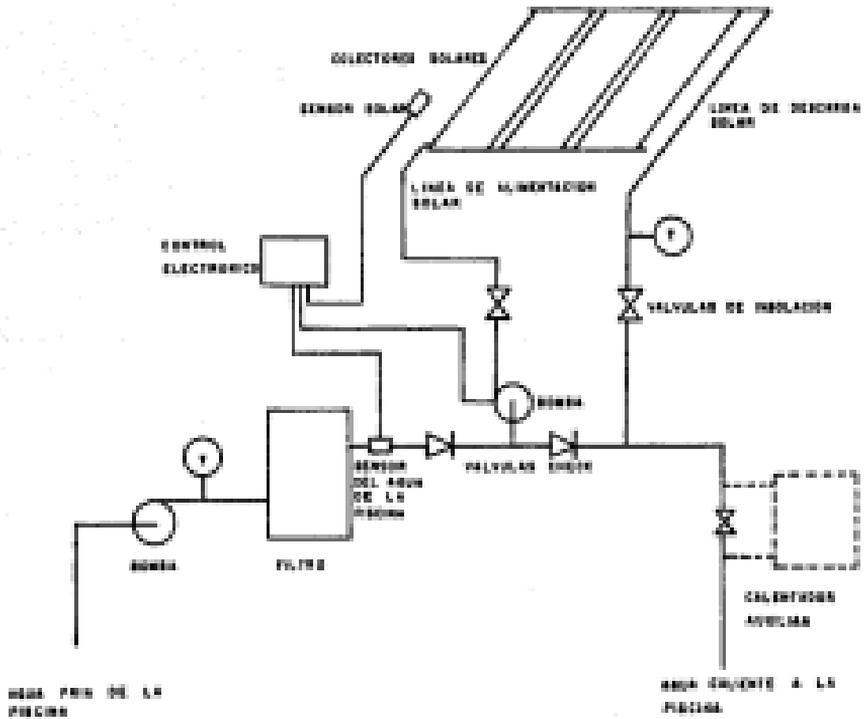


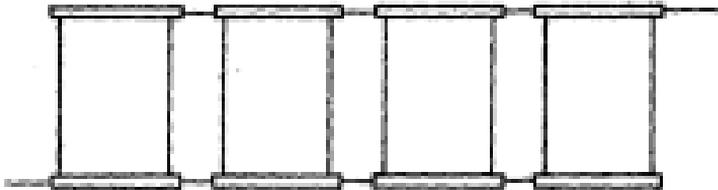
FIGURA 3.5: DIAGRAMA SOLAR PARA PISCINA - USANDO BOMBA AUXILIAR

### 3.9.3.1 Páncales Colectores

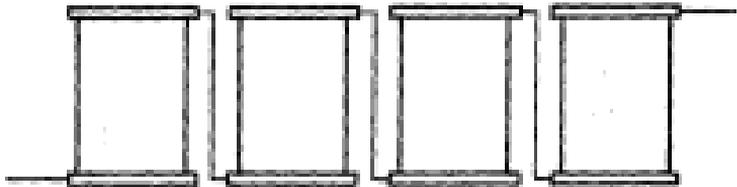
Cuando se estén usando páncales colectores, un número de estos serán requeridos, ya que el agua será bombeada a través de ellos al mismo tiempo. La información que se da a continuación puede usarse igual para páncales colectores con vidrio y sin vidrio.

Primero los páncales deben conectarse en paralelo. Las conexiones en paralelo son mostradas en la Figura 3.6 ( a ), y las conexiones en serie en la Figura 3.6 ( b ). En los arreglos en serie, el agua pasa a través de un panel y luego a través del resto fluyendo el agua a través de uno y luego del siguiente pero de uno en uno, incrementando la potencia de bombeo requerida para mantener el flujo adecuado pero disminuyendo la eficiencia en las temperaturas. Conexiones en paralelo, en donde el agua es recogida directamente a la piscina después de haber pasado a través de un colector, ésta es la mejor opción, debido a que se evitan las dificultades, es decir, las de la potencia de la bomba y las de la eficiencia.

Donde grandes números o cantidades en páncales están involucrados, estos deben de ser divididos en varios grupos, con un número de páncales conectados en paralelo en donde se limita la caída de presión en el tubo de alimentación o el principal que es de un 10% menor de la caída de presión a través del panel o conjunto de paneles en serie en donde estos obviamente están conectados en serie.



( a ) ARREGLO DE FLUJO EN PARALELO



( b ) ARREGLO DE FLUJO EN SERIE

FIGURA 3.6 : PANELES COLECTORES - ARREGLOS DE FLUJO

Para paneles sin vidrio, se recomiendan todas las conexiones en paralelo, como se muestra en el diagrama de la Figura 3.7 ( a ). Para paneles con vidrio pueden ser usadas algunas conexiones en serie, ya que la tasa de reducción en eficiencia con temperatura para paneles con vidrio es mucho menor que con paneles sin vidrio. Un máximo de tres en serie es recomendado. La Figura 3.7 ( b ) ilustra un diagrama paralelo-serie.

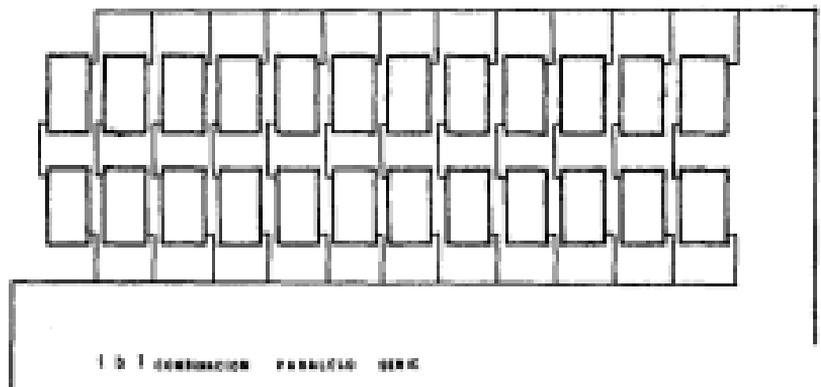
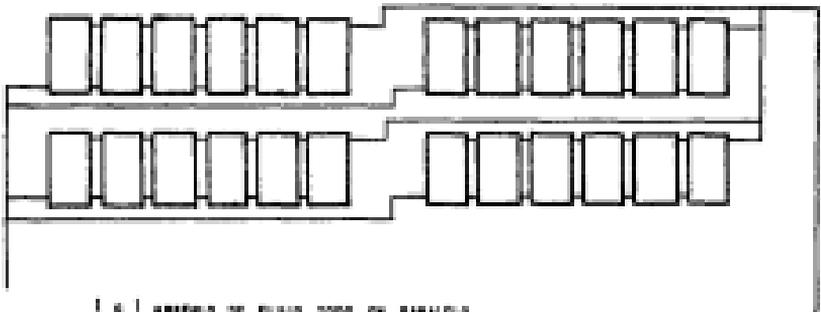
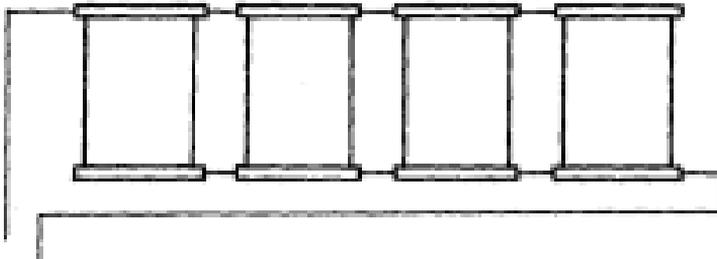


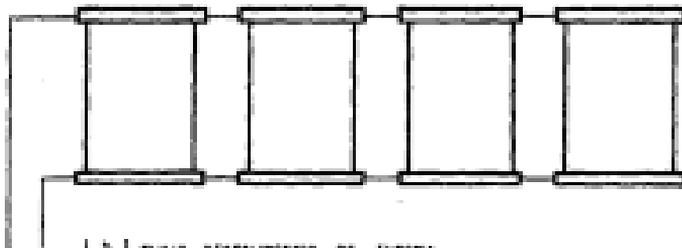
FIGURA 3.7: PANELES COLECTORES. ARREGLOS DE FLUJO

Las líneas principales de alimentación y de retorno de cada colector deben de ser aproximadamente de la misma longitud. La Figura 3.8 ( a ), ilustra el arreglo propuesto y la Figura 3.8 ( b ), muestra uno común, pero menos eficiente, donde las conexiones de flujo tienden a estar cortocircuitadas a través de los primeros colectores y estos al final están sub-alimentados por el flujo (causando una reducción en su funcionamiento). Por supuesto, dado -

que la caída de presión en los tubos de alimentación es muy baja comparada con la de los páncales, un pequeño desajuste ocasionado es causado por el arreglo de los tubos ilustrados en la Figura 3.8 ( b ). En la Figura 3.8 ( a ), la longitud de la trayectoria del agua es la misma para todos los colectores, por lo que el flujo es igualmente distribuido. Este tipo de tubería es llamado "reverso invertido de tubería", el cual requiere tubería extra, pero éste no se compensa al incrementar el funcionamiento por el costo adicional.



( a ) FLUJO BALANCEADO DE TUBERÍA (REVERSO INVERTIDO)



( b ) FLUJO DESBALANCEADO DE TUBERÍA

FIGURA 3.8: ARREGLOS DE FLUJO DE TUBERÍA

Grupos de colectores a diferentes alturas, deben ser idealmente instalados de manera que todos ellos reciban el agua en el punto más bajo del sistema y lo regresen desde el punto más elevado. La Figura 3.9 ilustra una instalación de este tipo. Si la línea de retorno no viene de la descarga común más alta, una precaución debe de ser tomada y es que el flujo a través de los pánzoles será disparado, causando una reducción en el funcionamiento. Al igual con este diagrama de tubería una válvula equilibrante podrá ser requerida para reducir la tasa de flujo en los colectores más bajos.

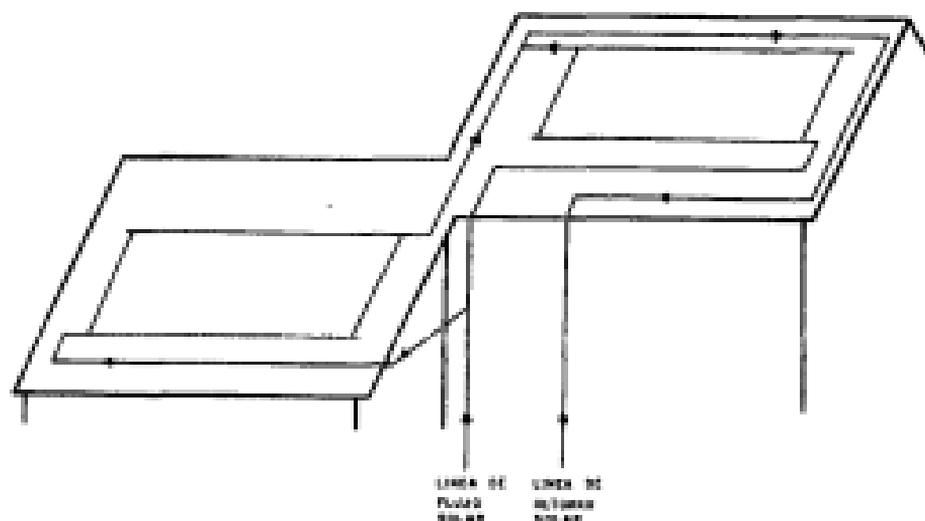


FIGURA 3.9: ARREGLO DE TUBERÍA PARA COLECTORES A DIFERENTES ELEVACIONES

Válvulas equilibrantes o de balance pueden ser usadas para obtener distribuciones de flujo no uniformes para algunas situaciones difíciles, que ocurren cuando algunas instalaciones requieren hacer un balance de flujo impráctico para arreglos de tubería imprácticos y al mismo tiempo sencillos. Válvulas de balance [ y medidores de flujo, si el presupuesto lo permite ] deben de ser instalados en la línea de alimentación para cada grupo de colectores. Comenzando con todas las válvulas abiertas por completo, la válvula apropiada es gradualmente cerrada hasta obtener el flujo deseado para cada grupo. Una alternativa menos exacta pero aceptable y más económica en el uso de los medidores de flujo, es el medir la temperatura a la salida de diferentes grupos de colectores y ajustar las válvulas de balance hasta que las temperaturas sean iguales. Medidores de presión y medidores de caída de presión son algunas veces usados para éste propósito.

Las conexiones entre el panel y la instalación de tubos son comunmente hechos con acoplamientos de hule que se deslizan sobre el tubo principal o de alimentación y conectan el tubo y estos son apretados por abrazaderas de acero inoxidable.

### 3.9.2.2 Colectores en Barra

Estos pueden ser colocados en uno de los dos modelos comunmente usados. El primero es un modelo que muestra una vacita y retorna como puede verse en las Figuras 3.10

y 3.11, los cuales muestran una variación de éste tipo de modelos patentados. La colocación obtiene un contraflujo por conectar los tubos alternados o los tubos principales, produciendo una menor temperatura y así mismo un incremento en la eficiencia de los mismos.

El arreglo alternativo, consiste en un arreglo con unacional de una serie de barras paralelas como se ilustra en la Figura 3.12. En ambos casos un máximo de longitud de barra de 15 metros es recomendado.

### 3.9.2.3 Colectores de Tubos de Plástico

Estos pueden ser del tipo de modelo de barras en paralelo como lo son los colectores en barra, o simplemente enrollados en espiral como se ilustra en la Figura 3.13, con un cierto número de vueltas enrolladas y haciendo la conexión en paralelo. Este tipo de colectores no se pueden arreglar para colocarse en el modelo de vuelta de retorno como es el del lado de las Figuras 3.10 y 3.11, debido a que al dar la vuelta al tubo de plástico éste debe de tener un radio muy grande en la vuelta para evitar estrangulación en el tubo y de hacerse habría una gran separación en los tubos y también a la dificultad de hacer las conexiones con los tubos principales; si se desea hacer éste tipo de conexiones se recomienda como se mencionaron en la sección 3.9.2.2., de no hacerse así, es mejor no conectarlos ya que no tendrá una eficiencia satisfactoria.

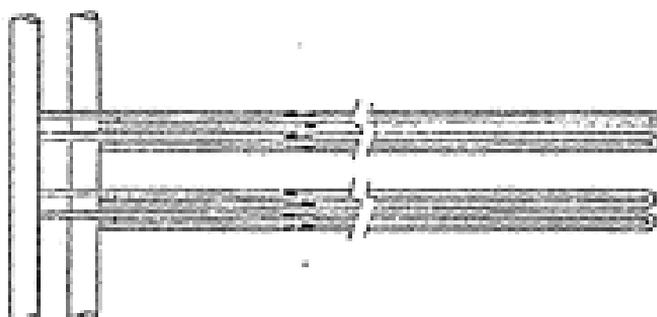


FIGURA 3.16: COLECTOR EN BARRA-DIAGRAMA UTILIZANDO CONTRAFLUJO  
 CON VUELTA DE RETORNO

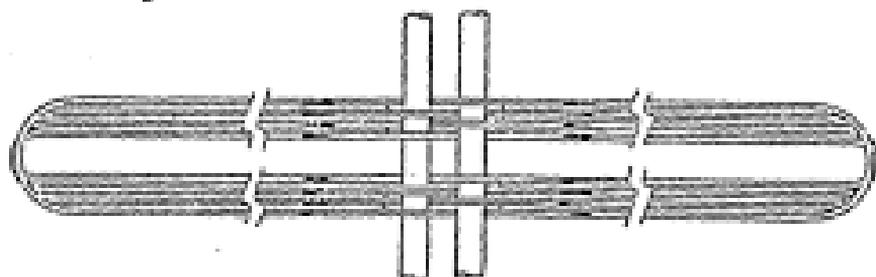


FIGURA 3.17: COLECTOR EN BARRA-DIAGRAMA UTILIZANDO CONTRAFLUJO  
 CON VUELTA DE RETORNO

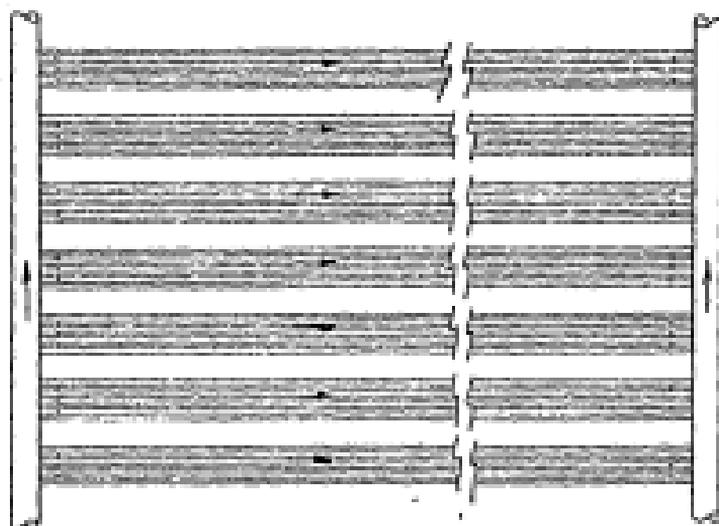


FIGURA 3-12: COLECTORES EN BARRA - DIAGRAMA CONVENCIONAL DE REJILLA

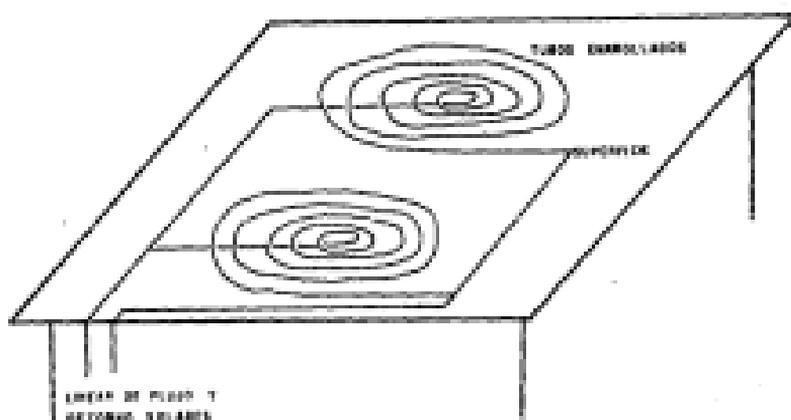


FIGURA 3-13: ARREGLO DE COLECTOR DE TUBERÍA DE PLÁSTICO ENROLLADA

### 3.9.3 Tubería

Las normas de diseños estándares hidráulicos aplica dos a sistemas de tubería y relacionados con Sistemas Solares recomendadas " El Sistema Solar será más efectivo si la línea de carga o tubo de carga proviene de la parte baja de la piscina y así opere con agua fría el colector ", los orificios de los acoplamientos deben de estar limpios de incrustaciones o basura, así como también se recomienda el uso de válvulas des-aeradoras para evitar burbujas de aire en la tubería, con el fin de que funcionen mejor los colectores. Medidores de flujo y temperatura también son recomendados, los de temperaturas se recomiendan uno en el tubo de carga y otro a la salida de los colectores y con respecto al de flujo, lo más cerca posible de los colectores para chequear el flujo de la bomba o en el punto superior de los colectores más altos, esto último es para el caso de que no estén al mismo nivel los colectores.

#### 3.9.3.1 Tubería para Colectores Sin Vidrio

Una de las mayores ventajas de los sistemas sin vidrio, es que toda la tubería involucrada en el sistema puede ser de PVC, la cual es muy barata, fácil de manejar y se hace la instalación muy rápida.

El material de construcción para tubería de Sistemas Solares, es determinado no mucho por las temperaturas normales de operación si por la temperatura extrema que puede ser ganada bajo circunstancias adversas, más por lo que se conoce como la temperatura de estancamiento. Esta es la Temperatura del agua ganada cuando no hay flujo a través de los colectores por alguna razón y es obvio un máximo para los días calurosos de verano. Bajo estas circunstancias las temperaturas de estancamiento para sistemas sin vidrio pueden ser del orden de 60 a 70 °C, que es aproximadamente la temperatura de servicio máxima recomendada para tubería de PVC.

Debe de tenerse cuidado para dejar un rango en las instalaciones para la expansión térmica de tubos de PVC, que es algo mayor a la del Hierro Galvanizado.

### 3.9.3.3 Tubería para Colectores Con Vidrio

Para los colectores de caja y los colectores integrales las temperaturas de estancamiento son del orden de 110 a 150°C las que se pueden obtener. Tubería de PVC usada para este tipo de sistemas no son recomendadas, ya que algunas altas temperaturas, por lo que se recomienda instalar tubería de cobre, tanto para el colector en sus tubos como para toda la instalación de carga y de descarga.

Colectores que tienen vidrio con pequeña ventilación, a los que se les llama semi-cubiertos, tienen temperaturas de estancamiento de alrededor de 75 - 90 °C que como ya se mencionó anteriormente no es la temperatura recomendada de servicio para tuberías de PVC. Por lo que, tubería de cobre es la que debe de usarse en éste tipo de colectores.

La principal desventaja de usar tubería de cobre es - por supuesto el costo tan elevado, pero tanto la instalación de un Sistema Solar con tubería de cobre como de PVC tienen sus propios costos elevados. Una segunda pero menos significativa, es la desventaja de las grandes o elevadas pérdidas de calor que se experimentarán con tubería de cobre. Una consideración que debe de ser tomada, es que cuando se use tubería de cobre debe de aislarse con el fin de no tener elevadas pérdidas de calor.

### 3.9.3.3 Válvulas

Una válvula check debe de ser colocada después del filtro y antes del Sistema Solar. Esto es para prevenir que se regrese el agua hacia el filtro y de éste hacia la piscina cuando la bomba elevadora de presión es desconectada y el Sistema Solar drena. Válvulas de Inyección en las líneas de carga y retorno para el Sistema Solar son también convenientes para grandes o largos arreglos. Válvulas de balance son requeridas como su discusión en la sección 3.9.2.1.

### 3.9.4 Bombas

Donde es requerida una bomba elevadora de presión, es conveniente usar la bomba de tipo normal para la recirculación del agua de la piscina.

Cuando esté operando bajo circunstancias normales, el Sistema Solar opera como un sistema cerrado. Ésto es con todas las componentes completamente llenos de agua y sin que las superficies estén libres de agua. En éste caso la altura estática no es de mucha importancia, ya que la altura estática de las líneas de alimentación y de retorno están en balance. La energía de carga requerida para elevar el agua al tope de la elevación está balanceada por la energía reincrementada por el flujo de agua al circuito de retorno principal. Sólo las pérdidas por fricción necesitan ser tomadas en consideración para la capacidad de la bomba en condiciones de flujo normal.

### 3.9.5 Sistemas de Control y Protección

En ésta sección se verán primero los sistemas de control en cuanto a conectar y desconectar la bomba automáticamente con respecto a las temperaturas existentes en el sistema, es decir, es un control que continuamente está comparando los valores de los termómetros con los que se-

programó en el control con respecto al incremento ganado por el Sistema Solar. En cuanto a la protección del sistema, es con el propósito de evitar que sufra alguna alteración causada por agentes extraños al sistema.

### 3.9.5.1 Sistemas de Control

Todos los sistemas de calentamiento solar para piscinas tanto públicas como comerciales, deben de estar adaptados con un sistema de control que active automáticamente el sistema cuando esté disponible la suficiente radiación solar. Algunas veces se usande en piscinas domésticas un sistema de operación manual y mediante un tiempo previamente establecido, el cual no es muy adecuado, pues se puede desconectar el Sistema Solar aún cuando todavía haya suficiente radiación solar para ser ganada hacia el agua, y de ser así todo eso se desperdicia, es por eso que se recomienda un control automático.

Un sistema de control automático emplea dos sensores de temperatura como se indica en la Figura 3.5. Uno es instalado en la línea principal de recirculación de la piscina en un punto conveniente antes de la línea de carga solar, el otro es colocado en o justo al arreglo de colectores. El control detecta la diferencia de temperaturas y cuando la temperatura de la piscina de un valor previamente establecido, la bomba es energizada.

Cuando el sistema está operando correctamente cualquier diferencia es ajustada automáticamente en el control para las condiciones ambientales, es decir, verificando las variaciones en la temperatura del colector causadas por nublados algunos factores climáticos y la proximidad de la tarde o del fin del día. Cuando la temperatura del colector cae o desciende, el control desenergiza la bomba y el flujo es desviado del colector. Los límites máximos de la temperatura de la piscina pueden ser programados en algunos controles.

El sensor es montado en la superficie del colector y deberá ser colocado en una posición que sea la lectura real y verdadera de la temperatura de salida del colector. Algunos sensores están diseñados para colocarse cerca al colector y están diseñados para registrar la temperatura que se desea que tenga la salida del colector. Otros sensores deben registrar directamente la temperatura de salida del colector y son colocados en el colector mismo para registrar las temperaturas. Estos deben de estar aislados del aire ambiente y protegidos de la radiación solar para asegurar que sea una verdadera y real medición de la temperatura de salida del colector.

Para una operación efectiva del Sistema Solar con un control de temperaturas, es vital que el sensor sea chequeado periódicamente para que las temperaturas tomadas o registradas sean las reales del sistema.

### 3.9.5.2 Sistemas de Protección

Algunos sistemas posiblemente requieran de una válvula de seguridad colocada en o junto de donde comienza el arreglo de colectores, para admitir aire en el sistema cuando la bomba es desconectada y que el sistema drene, para evitar que la temperatura de estancamiento sea muy elevada. Esto incluye a todos los sistemas que usan tuberías de conexiones de PVC y/o sistemas donde exista instalado un calentador auxiliar para la piscina. La válvula de seguridad de vacío no debe admitir aire al sistema cuando la bomba esté en operación. De hacer ésto, el sistema puede ser ruidoso y consumir excesivas cantidades químicas, debido al constante barbojeo; por las cantidades químicas se contaminan las sustancias químicas que se le adicionan al agua de la piscina y que son consumidas o incrustadas en la tubería. Esto puede prevenirse mediante gravedad de balancear el efecto de subir o bajar la carga estática de presión. Para vencer ésto, la válvula debe ser instalada en un punto en donde la presión del sistema esté por arriba de la presión atmosférica. Esto requiere hacer cálculos de sistemas instalados en superficies de varios niveles en la edificación. En ambos casos, el flujo de agua en la tubería de retorno puede causar un vacío a formarse en la tubería, si es más de 10 m la caída vertical. Recientemente un purgador de aire y respiradero deben ser instalados en un punto alto del sistema o una válvula de agua abajo del respirador de freno de vacío (Freno de vacío: es el freno que precede al esfuerzo de frenaje mediante la

presión atmosférica ) para incrementar la presión en el sistema en el lugar del freno de vacío. Esto viene a ocasionar que se incremente la energía para el bombeo requerido.

Sistemas de protección de congelación serán requeridos para muchos colectores, éstos sistemas de protección son para los colectores que se encuentran ubicados en zonas donde sea propicio a nevar exclusivamente. Una excepción para los colectores en barra hechas de EDPH pueden trabajar bajo éstas condiciones o circunstancias. Los colectores de metal deben de tener una protección contra la congelación. Esto puede llevarse a cabo por uno de los dos siguientes métodos:

- 1) Drenado las porciones vulnerables del sistema en el colector y en la tubería; ó
- 2) Circular el agua de la piscina a través del colector dando vueltas durante el tiempo nevado o la nevada.

El primer método es más común. Esto requiere que los colectores y la tubería sean inclinados hasta drenar por completo. Válvulas check deben de ser colocadas para que no interfiera con el proceso de drenado.

Un freno de vacío debe de ser instalado en un sistema de auto-drenado para admitir aire, para desalojar el dren

do completamente de la tubería.

Sistemas que empleen circulación del agua de la piscina para protección de congelación no requiere un aparato especial, solamente de un circuito sensor de congelación para activar la circulación de la bomba. También en este tipo de protección como en el sistema de control se requiere de un mantenimiento del control y de la bomba, así como de una operación correcta del sensor.

Colectores con vidrio que registran temperaturas arriba o en exceso de los 100 °C requerirán protección para altas temperaturas y válvulas de seguridad de presión.

### 3.9.6 Diseño del Sistema - Sin Bomba Elevadora de Presión

Algunos sistemas posiblemente no requieran de una bomba elevadora de presión, especialmente sistemas chocando la bomba existente para el filtro tenga suficiente capacidad para manejar el flujo, a través del Sistema Solar sin problemas. De no ser así, debe de ser cambiada inmediatamente la bomba por una de mayor caudal. La cantidad de volumen requerido para el agua de la piscina debe de ser mantenido y una presión adicional será forzada en el filtro que debe de ser capaz de manejar el incremento de presión para operar.

Donde no es requerida una bomba elevadora de presión el diagrama del sistema tendrá una de las dos formas normales donde son esquemáticamente ilustradas en las Figuras - 3.14 y 3.15.

Una parte o todo el flujo es desviado hacia el Sistema Solar cuando el control detecta una pequeña baja en la temperatura del colector. En éste caso se ejecuta mediante el control automático, cerrar una válvula solenoide o algún dispositivo equivalente en la línea de recirculación principal. Si no es deseado el desviar por completo el flujo hacia los colectores un by-pass ( Desviación ) debe de ser instalado alrededor de la válvula solenoide, usando una válvula que controle el balance de flujo que va y viene al Sistema Solar.

Normalmente la válvula solenoide o su equivalente están abiertos para dejar pasar por completo el flujo y así evitar los colectores. Éste es únicamente cuando se está operando en recirculación y se tiene la temperatura adecuada. En algunos casos en donde el arreglo de colectores están montados con baja elevación, es decir, casi al nivel de la piscina, entonces existe la posibilidad de que alguna parte del flujo continúe pasando a través de los colectores pero con una pérdida de calor consecuenta. Para prevenir éste una segunda válvula solenoide o su equivalente es instalada en la línea de alimentación del colector. Esta válvula automáticamente cierra cuando la válvula de la línea de recirculación principal se abre o viceversa.

Respecto a otros diseños de sistemas, es igual para sistemas con o sin bomba elevadora de presión.

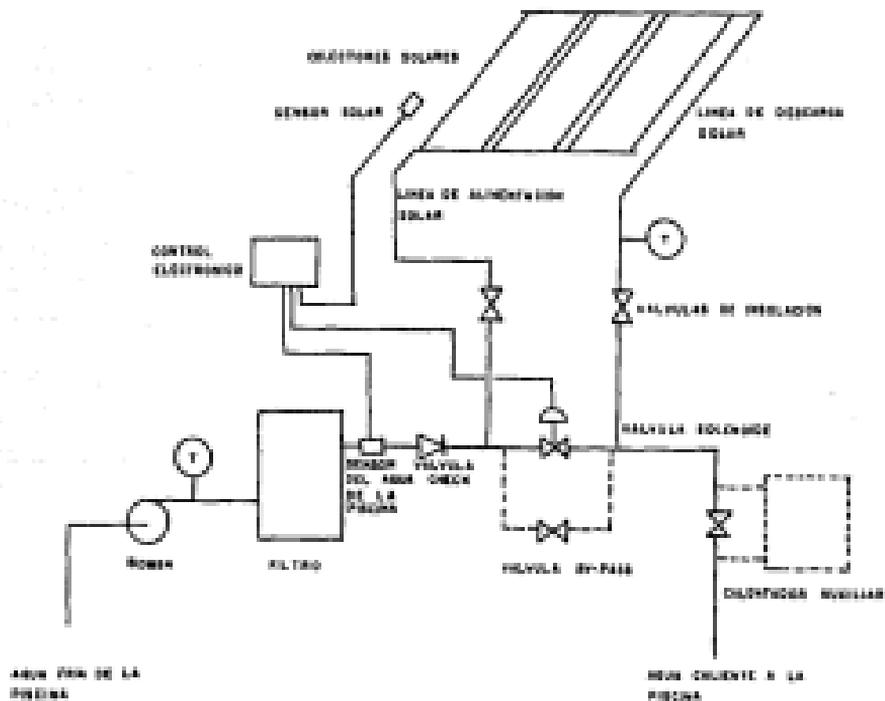


FIGURA 3.14: DIAGRAMA SOLAR PARA PISCINA SIN BOMBA AUXILIAR ARREGLO DE UNA VALVULA

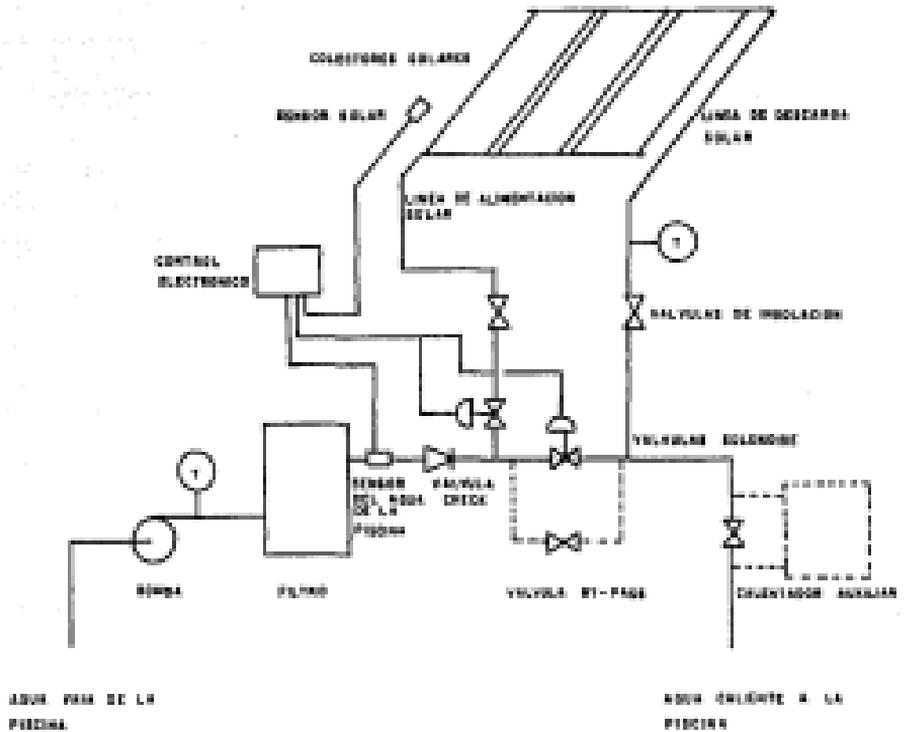


FIGURA 3.10: DIAGRAMA SOLAR PARA PISCINA SIN BOMBA AUXILIAR  
ARREGLO DE DOS VALVULAS

### 3.3.7 Colectores Con Vidrio Vs. Sin Vidrio

Para la mayoría de los propietarios el criterio primordial para cambiar entre sistemas con vidrio y sin vidrio será el retorno obtenido en inversión o costo efectivo del sistema que sea, el costo por unidad de energía entregada a la piscina.

Como quiera que sea hay un número de diferencias considerables que pueden incluir en la decisión entre sistemas con vidrio y sin vidrio:

- \* Fracción Solar: Es la fracción de la carga total ca l estada de la piscina que se usa por el Sistema So lar, ya que el funcionamiento técnico de sistemas con vidrio y sin vidrio son similares en el verano, pero los sistemas con vidrio son en gran parte sup eriores en el invierno. La contribución anual por u nidad de área de un sistema con vidrio y de aquí que la fracción solar provista con un sistema con vidrio sea mayor que la provista por un área equiva lente de un sistema sin vidrio. En algunos casos se rá preferido el instalar un sistema con vidrio pa ra obtener una fracción solar mayor, pero ésta no rá obtenerá ningún atractivo económico.

- \* Área disponible de superficie: Colectores sin vidrio, particularmente para los de tubo y barra, son frecuentemente instalados en una configuración que requiere un área de superficie mucho mayor que el área actual del colector, la cual puede ser más del doble de grande, donde por ejemplo, las barras están puestas a través o sobre la superficie metálica acasado. Muchos diseños de colectores con vidrio pueden estar más cercanos en la superficie que incluso no tienen vidrio. Así habrá casos en los que el área disponible de superficie será limitada, pero de posiblemente se preferirá obtener una elevada fracción solar usando colectores con vidrio, pero así no será o tendrá un atractivo económico para el punto de vista de costo por unidad de energía entregada.
- \* Sobrecalentamiento: El tamaño del sistema y su funcionamiento son usualmente calculados mediante el promedio mensual de salidas del colector que así da el resultado promedio mensual. Como quiera que sea hay mayores variaciones en las condiciones climáticas con respecto a un mes, dado que mayores variaciones en los resultados en el funcionamiento del Sistema Solar para dicho mes. En particular en los meses de verano y días sucesivos de excelente clima puede resultar una elevación en la salida del sistema y un incremento gradual en la temperatura del agua de la piscina. Con colectores con vidrio

la salida del colector se ve reduce grandemente con unos cuantos grados de incremento en la temperatura de entrada mientras que para colectores sin vidrio ocurre el caso opuesto. Así el incremento de la temperatura de la piscina será menor para reemplazar el calor con colectores sin vidrio que colectores con vidrio.

- \* Carga de la superficie: Sistemas sin vidrio experimentan cargas menores adicionales a la superficie a montar el o los colectores. Carga de la superficie es el peso de los colectores montados sobre una superficie dada. La carga en operación experimentada por un colector sin vidrio será típicamente al rededor de 3 a 5  $\text{kg m}^{-2}$  al contrario de las experimentadas por colector de caja con vidrio que andan por el orden de 30 a 40  $\text{kg m}^{-2}$ . Las diferencias en las cargas hacia la superficie pueden ser la diferencia entre una superficie rígida requerida ( claro está con su debido peso por el costo ) y la superficie existente que es satisfactora para lo que fué diseñada, es decir, si dicha superficie es el techo de alguna cochera en su casa, es obvio que dicho techo no resista el peso de una arreglo de colectores que pesan de 30 a 40  $\text{kg m}^{-2}$  en dicha superficie. Esta condición o punto de vista tiene una relación muy directa con los costos, ya que si el dueño de un futuro Sistema Solar no cuenta con una superficie lo suficientemente rígida entonces requerirá de una que si-

lo sea y por supuesto sus costos del Sistema Solar se verán terriblemente influenciados, ya que se incrementarían y pesarán mucho en el costo total.

- **Simplicidad:** Sistemas sin vidrio, particularmente aquellos que son manufacturados de EDPM y algunos plásticos pueden soportar condiciones extremas como lo pueden ser de congelación y no tienen el potencial de producir exceso de elevadas temperaturas (en exceso de 100 °C) Así el costo adicional y la seguridad de un sistema de protección especial es evitado. El posible mantenimiento del sellado de vidrio es también evitado. En particular páncies en caja y con vidrios montados con un mínimo declive son inclinados para vaciar y recibir el agua, dando por resultado una posible corrosión en el plote absorbente y que se humedezca el aislante del conductor.
- **Usted mismo puede hacer la instalación:** El uso de tubería de PVC en sistemas sin vidrio puede hacer uno mismo la instalación pero con una relativa precaución al efectuarla. Sistemas con tubería de cobre da un nivel mayor de precauciones y de riesgos, ya que no todas las personas saben soldar ésta tubería a la perfección.
- **Vandalismo:** El exponer grandes áreas de sistemas con vidrio es algo que concierne a muchos de los

proprietarios ya que son susceptibles al ataque de vandálicos. Mientras que sistemas sin vidrio son menos susceptibles a un posible blanco atractivo para esa clase de personas.

## CAPITULO IV

## ANALISIS ECONOMICO Y COMPARATIVO CON SISTEMAS ALTERNOS

El método a emplear, mediante energía solar o hidrocarburos ( Diesel ), es una decisión que únicamente el propietario de la piscina debe tomar. Algunos solamente la emplearán ( la piscina ) para un período dado, es decir, no la emplearán todo el año, únicamente una corta temporada al contrario de otros que la emplearán o tratarán de emplearla todo el año.

El propósito de éste capítulo, es para presentar la formación de algunas de las variables que pueden ser consideradas en un análisis económico.

Desde un sistema solar para piscina es instalado en el mismo sistema de un calentador de combustible hidrocarburos, el cual se convertirá en uno auxiliar al momento de hacer la instalación del sistema solar; como ya se mencionó al principio de ésta TESIS, en éste caso, el sistema solar simplemente ayuda a ahorrar combustible durante la temporada de uso del calentador auxiliar.

#### 4.1 Factores que Afectan al Retorno Económico

Hay un número de variables que contribuyen al retorno global o invertido (económicamente hablando) que están relacionadas con un sistema de calentamiento solar para la piscina.

- \* Costos de capital y operación del sistema
- \* Costo del combustible (hidrocarburos) en el futuro

Por retorno económico se entiende recobrar la inversión hecha al adquirir el sistema en el futuro.

##### 4.1.1 Costos de Capital

Estos costos son los que provienen de la cotización de un sistema solar o auxiliar. Estos son variables para los diferentes tipos de colectores solares que existen, desde el más económico que son los de barra de plástico y sin vidrio hasta los más caros que son de cajón con vidrio, claro está éstos son los colectores que cuentan con la mejor eficiencia; no se puede hacer mención a los colectores en pavimento, los cuales consisten en manguera negra para uso agrícola enrollada sobre una superficie dura que en éste caso es el pavimento, ya que éstos son "sistemas

sistemas \* implementados y sin alguna eficiencia probable, ya que son de lo más elemental visto, por lo que estos costos de capital son variables de acuerdo a las necesidades del propietario y también al hecho de que es sí los precios son variables ya que la materia prima y mano de obra son algo impredecibles.

#### 4.1.2 Costos de Operación

Mantenimiento y otras labores son costos que se le atribuyen a un sistema solar, los cuales se pueden asumir que son insignificantes comparados con otros costos de sistemas similares. El principal costo de operación de un sistema solar es el costo de bombear el agua o simplemente energía circular a través de los colectores solares.

Para arreglos grandes de colectores de tipo convencional de placa-placa en cajas la energía requerida para el bombeo llamada energía parásita, se asume usualmente que es mucho menor del 5% de la energía producida por el arreglo.

Para sistemas sin vidrio empleando placas colectores de barra de plástico, la energía parásita será mayor debido a que la tasa de flujo por metro cuadrado de colector requerida es usualmente mayor y un área menor de colector es requerida para poder dar una determinada energía a la salida del sistema.

El efecto del sistema solar es para reducir el valor del costo, es decir, ahorrando energía parásita, dato es la energía eléctrica consumida por la ( s ) bomba ( s ) expresada como un porcentaje ( X%, por decir algo ) de la energía calorífica producida por el sistema solar, en \_  
 tunces el porcentaje de reducción en el ahorro anual será \_  
 mayor de X%, debido a que el precio unitario de la electricidad es mayor que el del combustible para el sistema al \_  
 ternio. Específicamente el porcentaje de reducción en el \_  
 ahorro será X% multiplicado por la relación del precio unitario de la electricidad y combustible del sistema alterno.

Es poco probable que la información necesaria sea disponible al registrar para hacer los cálculos exactos de la energía bombeada que será empleada. En particular, el número de horas de funcionamiento será muy difícil de predecir. Dado esto no es disponible y donde el sistema proveedor no da la información para el consumo de energía parásita entonces la siguiente proposición es recomendada.

- \* Para sistemas con vidrio: El consumo de energía parásita es igual al 3% de la salida térmica del sistema solar.
- \* Para sistemas sin vidrio y semi-cubiertos, el consumo de energía parásita es igual al 4% de la salida-térmica del sistema solar.

#### 4.1.3 Costo Futuro del Combustible Sustituto

Es obvio que el costo ahorrado registrado empleando un sistema solar sobre vida útil dependerá principalmente de los movimientos o variaciones en el precio del combustible ( hidrocarburo - Diesel, Gas Natural ) sustituto.

Tanto para el gas natural como para el diesel, la tasa real de incremento en sus tarifas para el futuro son sin predicción alguna, ya que como sucedió en meses anteriores, el aumento en las tarifas de ambos combustibles fué de un 100% y no se puede saber cuando subirá de nuevo y tampoco la tarifa que se tendrá. No se puede asegurar un precio fijo en los hidrocarburos, ya que éstos están en continuo cambio debido a los problemas económicos que se están teniendo en el país en estos momentos.

#### 4.2 La Economía de un Sistema Solar - Solo

Como se mencionó al principio de ésta TESIS, los méritos relativos de un sistema solar-solo y de un sistema solar-gas o solamente que no pueden ser comparados directamente, ya que ellos no producen los mismos resultados en términos de mantener la temperatura del agua de la piscina en un rango específico.

Lo que puede hacerse es el comparar los costos de operación y capital para cada alternativa, y así ver los beneficios económicos de cada uno, lo cual se muestra en la tabla a continuación. El análisis presentado aquí es y ha sido simplificado y no han sido tomados los incrementos reales en los precios del combustible y otras piezas para el futuro.

		Sistema Caldera	Sistema Solar
Inversión Inicial	*	\$ 30'310,000.00	\$39'000,000.00
Costo de operación		14'939,000.00	37,000.00
Costo de mantenimiento		150,000.00	7,000.00
Equipos accesorios	(1)	14'950,000.00	(2)5'000,000.00
Tratamiento de agua	**	2'500,000.00	0.00
Vida Util	(3)	15 AÑOS	30 AÑOS
Piezas de desgaste	***	12'000,000.00	0.00
Costo Mensual		\$ 18'289,000.00	44,000.00

\* Precio a la fecha de febrero de 1988

\*\* Precio mensual

\*\*\* Precio anual

( 1 ) Tanque de condensados, suavizadores, equipos de control.

( 2 ) Instalación, tuberías, válvulas y conexiones

( 3 ) Con tratamiento de agua

### 4.3 Ejemplo Ilustrativo

A continuación se menciona un ejemplo que tiene como propósito condensar la mayor información contenida en ésta TESIS para un mejor entendimiento.

Se tiene una piscina al descubierto con una temperatura promedio del aire ambiente de 20°C en la cual se requiere que se tenga una temperatura de 28 °C en la piscina, el volumen de la piscina es de 250 m<sup>3</sup> y tiene una profundidad promedio de 1.0 m. hacer los cálculos para las 11 a.m. horas del 1 de marzo, para el cálculo de área de colectores necesaria, se emplearán colectores de tipo caja de vidrio y lámina de cobre.

Datos:

$$h_g = + 15^\circ$$

$$C = - 8.3401^\circ$$

$$L = 20^\circ \text{ de } 40'$$

$$C_s = 49.7568^\circ$$

$$z = 20.2432^\circ$$

$$n_0 = 1.0668$$

$$m = 0.8854$$

$$I_{ext} = 1.38 \text{ k W m}^{-2}$$

$$v = 0.7 \text{ cm Precipitación anual}$$

$$I_n = 1.2756 \text{ k W m}^{-2}$$

$$C_T = 0.9$$

$W = 0.30$  mts Distancia entre tubos del colector

$d_1 = 0.0127$  mts

$d_0 = 0.0158$  mts

$L = 0.0920$  mts Distancia media entre tubos del colector

$V = 4.1667$  m  $\text{seg}^{-1}$  Velocidad del viento

$\epsilon = 0.95$

$\tau_s = 9 \text{ } ^\circ \text{C}$

$\rho = 0.15$  Parámetro de reflectancia

$\epsilon = 385$  W  $\text{m}^{-1} \text{ } ^\circ \text{C}^{-1}$  Para el cobre

$l = 5 \text{ E } -4$  Espesor de la placa. E = Notación científica

$\mu_a = 87.3 \text{ E } -5$  Kg  $\text{m}^{-1} \text{ seg}^{-1}$

$\mu_b = 83.4 \text{ E } -5$  Kg  $\text{m}^{-1} \text{ seg}^{-1}$

$C_p = 4.1818 \text{ E } 3$  J  $\text{Kg}^{-1} \text{ } ^\circ \text{C}^{-1}$

$\gamma = 1.0038 \text{ E } -6$   $\text{m}^{-2} \text{ seg}^{-1}$

$K_b = 0.597$  W  $\text{m}^{-1} \text{ } ^\circ \text{C}^{-1}$  Para el agua

$Pr = 7.02$  Número de Prandtl

$Q = 1.7361 \text{ E } -3$  m<sup>3</sup>  $\text{seg}^{-1}$  Caudal por tubo del colector

$G = 4.34$  Kg  $\text{m}^{-2} \text{ seg}^{-1}$  Flujo másico por unidad de área colectora.

$\tau_{\alpha} = 0.81$

$\sigma_c = 1500$  W  $\text{m}^{-2} \text{ } ^\circ \text{C}^{-1}$

$C_a = 175.4545$

$A_{\text{colectores}} = 2$  m<sup>2</sup>

$A_{\text{piscina}} = 138.89$  m<sup>2</sup>

Sustituyendo datos en las fórmulas siguientes, obtenemos:

\* Intensidad de la Radiación Solar Directa

$$I_D = I_{ext} \text{ Exp } \left[ -0.1457 \left( \frac{p \text{ m}}{1000} \right) - 0.1617 \left( H \text{ m}_x \right)^{1/4} \right] \quad ( 2.7 )$$

$$I_D = 1.0431 \text{ KW m}^{-2}$$

\* Intensidad de la Radiación Solar Difusa

$$I_D = I_H - I_D \quad ( 2.10 )$$

$$I_D = 5.2325 \text{ KW m}^{-2}$$

\* Componente Directa de la Radiación Solar para una Superficie Inclinada

$$I_{DT} = I_D \cos ( i ) \quad ( 2.11 )$$

$$I_{DT} = 1.0014 \text{ KW m}^{-2}$$

\* Angulo de Incidencia

$$\cos ( i ) = \cos ( \alpha ) \cos ( \beta ) \sin ( \phi ) + \sin ( \alpha ) \sin ( \phi ) \cos ( \beta ) \quad ( 2.8 )$$

$$\cos ( i ) = 0.96$$

\* Componente Difusa de la Radiación Solar para una superficie Inclinada

$$I_{DT} = 1/2 ( 1 + \cos \beta ) I_D + 1/2 ( 1 - \cos \beta ) I_{DT} / \cos \beta \quad ( 2.12 )$$

$$I_{DT} = 5.0593 \text{ KW m}^{-2}$$

\* Radiación Solar Total para una Superficie Inclinada

$$I_T = I_{DT} + I_{DT} \quad ( 2.13 )$$

$$I_T = 6.0706 \text{ KW m}^{-2}$$

\* Radiación Solar Incidente sobre el Colector

$$I_G = \overline{I_T} \quad (3.6)$$

$$I_G = 5.4638 \text{ Kw m}^{-2}$$

\* Parámetro Adimensional, relacionado con la Aleta del Colector

$$m = (U_L / K_L)^{1/2} \quad (3.8)$$

$$m = 11.3929 \text{ m}$$

\* Eficiencia de la Aleta del Colector

$$F_1 = \tanh (m L) / mL \quad (3.7)$$

$$F_1 = 0.745$$

\* Eficiencia de la Sección Transversal del Colector

$$F_2 = \frac{1}{\frac{W U_L}{d_1 C_p} + \frac{1}{\frac{d_0}{W} + \frac{1}{\frac{W U_L}{C_p} + \frac{1}{(1 - d_0 / W) F_1}}}} \quad (3.10)$$

$$F_2 = 0.7075$$

\* Eficiencia Global del Colector

$$F_3 = \frac{d C_p}{U_L} \left[ 1 - \exp \left( - F_2 U_L / d C_p \right) \right] \quad (3.14)$$

$$F_3 = 0.7071$$

\* Eficiencia total del Colector

$$\eta_c = F_3 \tau \alpha - F_3 U_L \left( \frac{T_{wi} - T_a}{I_c} \right) \quad ( 3.15 )$$

$$\eta_c = 0.5469$$

\* Tasa de Flujo de Colección de Color Ideal

$$Q_{ideal} = \alpha I_c - \epsilon_r F - U_L (T_{wi} - T_a) \quad ( 3.2 )$$

$$Q_{ideal} = 4.6457 \text{ KW m}^{-2}$$

\* Tasa de Color Colectado

$$Q_{cul} = F_3 Q_{ideal} A_{colector} \quad ( 3.1 )$$

$$Q_{cul} = 6.5205 \text{ KW m}^{-2}$$

\* Area Total de Colectores

$$A_c = \left( \frac{Q_{cul}}{\eta_c I_c} \right) A_{piscina} \quad ( 3.17 )$$

$$A_c = 126.33 \text{ m}^2$$

\* Número de Colectores a Instalar

$$N = A_c / A_{colectores} \quad ( 3.18 )$$

Redondeando al número superior

$$N = 64 \text{ Colectores}$$

T A B L A 1

Conductividad Térmica  $k$  y Difusividad Térmica  $\alpha$  de varias tipos de suelos.

Tipo de Suelo	$k$ $\text{W m}^{-1} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$	$\alpha$ $\text{m}^2 \text{ seg}^{-1}$
Tierra Calcárea, 41% Humedad	0.71	0.19 E - 06
Arena de Cuarzo, seca	0.26	0.20 E - 06
Arena de Cuarzo, 61% Humedad	0.59	0.31 E - 06
Árcilla arenosa, 19% Humedad	0.92	0.37 E - 06
Terrazo de cultivo, muy seco	0.17 - 0.34	0.2 - 0.3 E - 06
Terrazo de cultivo, Húmedo	1.25 - 3.35	0.4 - 1.0 E - 06
Tierra Suelta, Húmeda	0.84	0.12 E - 06

Nota: E = Notación Científica.

**T A B L A 3**

Intensidad de la Radiación Solar Extraterrestre en el CDA El de cada mes ( en  $\text{m}^{-2}$  )

Fecha	En 21	Feb 23	Mar 21	Abr 21	May 21	Jun 23	Jul 21	Ago 21	Sep 21	Oct 21	Nov 21	Dic 21
Intensidad	1.41	1.40	1.36	1.30	1.24	1.20	1.23	1.24	1.30	1.36	1.40	1.41

## CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Es el propósito de ésta TESIS el de mostrar una alternativa más para el calentamiento del agua para una piscina. Muy poco se ha hecho al respecto de buscar una nueva alternativa con el fin de depender menos de los hidrocarburos; los hidrocarburos son necesarios para muchos procesos y se puede decir que son elementales, pero hay casos en los que se puede tratar de eliminar o de disminuir su uso, ya que ahora gozamos de ellos por que existen en abundancia, pero todos sabemos que los hidrocarburos día con día se están agotando pues son recursos irrenovables y además de eso, día con día son más caros; tenemos que tomar conciencia nosotros mismos de que algo se tiene que hacer para no agotarlos tan rápido, es decir, ya sabemos que se van a acabar pero no sabemos cuando, lo que está de nuestro lado es buscar algo que sustituya el empleo de ellos [ Los hidrocarburos ] y una alternativa excelente es el empleo de Energía Solar; estamos en muy buen tiempo para empezar a hacer un cambio con el propósito de poco a poco llegar a no depender tanto de los hidrocarburos; pues cuando comencemos a escasear todos vamos a querer tener una solución a ello, pero para entonces será demasiado tarde.

La Energía Solar no nos cuesta nada, ya que gozamos de ella todo el tiempo, se todo el día pero sí durante sus horas restringidas de uso o de servicio. La energía solar se

puede almacenar y transformar a muchas aplicaciones, como por ejemplo: Se puede usar en el calentamiento, enfriamiento, transformarla en Corriente Eléctrica, etc.. El propósito de ésta TESIS, es el de emplear una de éstas formas y es la del calentamiento. El calentamiento del agua para una piscina por medio de hidrocarburos es muy costoso, habiendo de costos del combustible, dichos combustibles cada vez son más caros, por el contrario si se emplea un calentamiento del agua por medio de Energía Solar.

La inversión inicial para ambos equipos, es decir, por medio de una Caldera o por medio de Colectores Solares son caras, pero al mismo tiempo el de los colectores solares es menos caro comparado con la otra alternativa, ya que el equipo que cuenta con una caldera día a día nos está costando más su mantenimiento tanto de combustible como de piezas de desgaste, es una inversión que no se recupera ya que día a día se está incrementando; ahora si vemos un equipo que cuenta con un sistema de calentamiento por medio de Energía Solar ( colectores Solares ) es una inversión que en menos de 5 años hemos recuperado su costo, es decir, al estarnos ahorrando al depender de un combustible estamos pagando la inversión pues como no se paga a nadie el combustible, sí nos pagamos a nosotros mismos la inversión hecha de los colectores solares.

Para estas alternativas u opciones para el calentamiento del agua para una piscina existen pérdidas de calor por muchas formas como ya se trataron, pero dichas pérdidas

se pueden disminuir empleando una cubierta de plástico, pvc, Poliolefin, etc. sobre la superficie de la piscina, ya que es ahí donde se originan las principales pérdidas de calor hacia el medio ambiente. El uso de ésta cubierta durante la noche es lo más recomendado, pues cuando la temperatura ambiente baja, y si la piscina no se encontrara en uso durante el día se recomienda tenerla puesta constantemente ya que tiene un triple efecto: ayuda a disminuir las pérdidas de calor de la piscina hacia el medio ambiente, gana energía calorífica por radiación, obviamente del medio ambiente y por último, ayuda a mantener limpia la piscina.

Este tema del calentamiento de agua para una piscina por medio de Energía Solar es muy amplio, por lo que me enfocé principalmente en su contenido de fórmulas y explicaciones en lo particular a dos aspectos: Primero a piscinas al descubierto y Segundo a Colectores Solares de placa plana de cobre de tipo cajón. Sería muy extenso el tratar éste tema para cada caso en especial, pero sí, toda la información contenida en ésta TESIS se puede emplear para todas las formas diversas de Colectores Solares y para todos los tipos de Piscinas, lo que pasa es que para poder tratar un tema como éste que es muy extenso, se auxilié de un caso en especial.

Para el calentamiento de agua para una piscina no recomiendo el emplear Colectores Solares de placa-placa de tipo cajón, ya que las temperaturas que se obtienen con élg

te sistema son muy elevados y las temperaturas para el acondicionamiento del agua para una piscina son relativamente bajas, es decir, son del orden de 20-32°C; además de que los costos de capital son muy elevados comparados con otros tipos de Colectores Solares, como lo son los de Berra, ya que son de un material que no es tan duro y no cuentan con un aislante ni de vidrios en la parte superior del colector y la finalidad es la misma, que es la de calentar el agua en un rango bajo de Temperatura.

Para piscinas grandes tanto como lo pueden ser las de uso público en clubes como las olímpicas para competencia, es recomendable contar con un control automático de Temperatura, con el propósito de ganar la mayor cantidad de Energía Solar y no perderla al no saber de que se cuenta todavía con ganancia solar y desconectar el sistema de bombeo de circulación del agua a través de los Colectores Solares, que es en sí la función del control automático para la Temperatura de un Sistema de Calentamiento para una Piscina Solar.

## BIBLIOGRAFIA

1. Miles E. W. : ' Atmospheric Radiation Near the Surface of the Ground: A summary for Engineers ' ; Solar Energy, pp 103-120, 1961
2. Czarniecki J.T. : ' A method of heating Swimming Pools by Solar Energy ' ; Solar Energy 7.1, pp 3-7, 1963
3. Czarniecki J.T. : ' Solar absorbers for Swimming Pool heating ' ; Australian Refri- geration, Air Conditioning and Heating; pp 24-32; 1964
4. Holman J.P. : ' Heat Transfer ', cuarta edición, Mc Graw Hill; McGrawHill Tokyo, Japón, 1976
5. Farlekar B.V. y Desmond E.M. : ' Transferencia de Calor ' segunda edición; Ed. Intg Americana, México, D.F.; 1965
6. Kreider Jan F. y Kreish Frank: ' Solar Energy Handbook ' ; Mc Graw-Hill, Nueva York, 1979

7. Henrique José A.: ' Energía Solar ' ; Ed. Haria, México 1984
8. Henrique José A y Cárdenas Rafael S.: ' Termos dinámicos ' ; primera edición; Ed. Haria; México, D.F. 1976
9. Ozisik Mehmet H.: ' Heat Transfer ' ; Primera edición, Mc Gray-Hill, Nueva York, 1979
10. Slayigh M.A.A.: ' Solar Energy Engineering ' ; Academic Press, Inc, Londres Inglaterra, 1982
11. Schneider P.J.: ' Conduction Heat Transfer ' ; Addison Wesley Publishing Company Inc, Australia, 1987
12. Welty James E.: ' Transferencia de Calor aplicada a la Ingeniería ' ; primera edición; Ed. Limusa; México, D.F. 1976
13. Winter Francis de: ' How to Design and Build a Solar Swimming Pool Heater ' ; Technical Paper, Copper Development Association, Inc; Nueva York, 1975

ESTA TESIS SE IMPRIMIO  
EN



1990

GUNDAJAJARA

**BAHAY**  
CARPUZERFIC SUR SA  
TEL. 06-01-01 00 00-00 14 00 00

**BERENJA**  
AV. VALLARTA 1094  
TEL. 16-00 00

**COMERCIO**  
AV. DEL SEPTIEMBRE POR CAMERON SA  
TEL. 16-00 00

**GRUPO**  
AV. GONZALEZ 10 4 00  
TEL. 16-00 00

**PERFUM**  
CALLE 11 ZONA 9

**YOLAN**  
AV. TOLSA 010  
TEL. 06-00 00

**GRUPO**  
CALLE FIDELIDAD 007  
TEL. 4-10-00

**PLAZA DEL SOL**  
CALLE 11 ZONA 9  
TEL. 16-00 00

**PLAZA DEL ANGEL**  
CALLE 11 ZONA 9

**PLAZA DEL SOL**  
CALLE 11 ZONA 9

**PLAZA SAN PEDRO**  
TEL. 16-00 00

**PLAZA PATRIA**  
CALLE FIDELIDAD  
TEL. 16-00 00

**AGROTOS**  
CALLE LACANDON DIVISION DE TRAJE

**PARROQUIA**  
AV. JUANES BARRA  
TEL. 16-00 00

**GRUPO PEREZ**  
AV. GONZALEZ TERCERA AVENIDA  
TEL. 06-00 00

**PLAZA CENTRAL**  
AV. TOLSA TER. NOROCCIDENTAL Y ALVARO

**GRUPO**  
TERRELLA 0000 ALVARO 000  
TEL. 16-00 00

**PRENSA GRUPO**  
CALLE FIDELIDAD 000  
TEL. 4-10-00