

**Manual  
Energía Solar Térmica  
e Instalaciones Asociadas  
2009**

**ORT**  
UNIVERSIDAD ORT  
Uruguay  
Facultad de Arquitectura



CONSEJO DE EDUCACION TECNICO PROFESIONAL  
Universidad del Trabajo del Uruguay



EFICIENCIA ENERGETICA  
URUGUAY



MIEM DNETN



Banco Mundial



GEF



UTE

# Manual Energía Solar Térmica e Instalaciones Asociadas



Arg. Andrés Eliseo CABRERA / Ing. Pablo FRANCO / Ing. Carlos Felipe DA CUNHA FARIA



**ORT**  
UNIVERSIDAD ORT  
Uruguay  
Facultad de Arquitectura

# Manual de energía solar térmica e instalaciones asociadas

Facultad de Arquitectura  
Universidad ORT

Decano: Arq. Gastón Boero  
Secretaría Docente: Arq. Graziella Blengio

ISBN: **978-9974-8130-5-2**

Impreso en **Imprenta Grafinel**

Diseño gráfico: **D+B Producciones**

Deposito legal: **346860**

Esta publicación es entregada en forma gratuita, como material didáctico de apoyo a carreras y cursos dictados por la Universidad ORT Uruguay.

Toda referencia a marcas registradas es propiedad de las compañías respectivas.

Junio 2009.

# Capítulo 1

## SOL “El astro Rey”

Evaluación del recurso solar.

Radiación Solar.

Asoleamiento, principios fundamentales.

El norte magnético y el norte geográfico



# EVALUACIÓN DEL RECURSO SOLAR

El cálculo de la energía solar incidente en cada lugar y en las condiciones específicas de la obra que recibirá el calentador solar es imprescindible en el análisis de viabilidad técnica y económica de su implantación.

Tal análisis de disponibilidad es similar para cualquier fuente de energía, renovable o no. Por ejemplo: si una industria decide sustituir la vieja caldera eléctrica por un modelo más reciente a gas natural, parece obvio que la primera preocupación será con la garantía de suministro de gas en su planta industrial. Si no existen gasoductos o expectativa de extensión de la red para la región, esa propuesta será inmediatamente descartada.

Felizmente en el territorio de la República Oriental del Uruguay el Sol es bastante generoso y brilla durante todo el año, nuestra latitud cercana a la del trópico de Capricornio nos favorece tanto en la distribución de las horas de asoleo durante el año, como en el ángulo de incidencia del sol.

Sin embargo, la garantía de su disponibilidad es un punto crítico para esa fuente energética intermitente, que alterna días y noches, períodos soleados y lluviosos o nublados. Aún cuando sea bastante perceptivo que un proyecto solar en lugares poco soleados exigirá un área de colectores superior o la especificación de modelos más eficientes que un proyecto similar por instalarse en un lugar más soleado, hace falta la herramienta práctica que haga posible cuantificar aquella percepción.

En este contexto, este capítulo se divide en varias partes. Se presentan los fundamentos de la radiación solar y su característica espectral, que es definitiva en la selección de los mejores materiales por utilizar en la fabricación de colectores solares. Luego, se trata la geometría solar ya que el movimiento relativo Sol - Tierra influye sobremanera en la decisión referida a la mejor posición de los colectores en la obra, caracterizada por los ángulos de inclinación y

orientación de la instalación solar. En el anexo correspondiente se trata los modelos de estimación de la radiación solar para los ángulos de la instalación estudiados en la segunda parte.

Esos modelos son importantes siempre que los datos de radiación solar, disponibles en los Atlas Solarimétricos, se refieren solamente al número medio de horas de insolación en cada mes del

año o de la radiación solar incidente en el plano horizontal, también en promedio mensual. Sin embargo, conforme será visto en ese capítulo, los colectores deben estar siempre inclinados en relación a la horizontal y, en el dimensionado de sistemas de calentamiento solar para finalidad de baño y piscina, muchas veces son necesarias informaciones sobre la radiación solar en promedios horarios, por ejemplo.

## PARTE 1.1. UNA VISIÓN MÁS DETALLADA DE LA RADIACIÓN SOLAR

Todos los cuerpos emiten radiación electromagnética como consecuencia de su energía interna que, en condiciones de equilibrio, es proporcional a la temperatura del cuerpo. Esa energía emitida ocurre en un amplio intervalo de longitudes de onda que va desde  $10^{-1}$  hasta  $10^4$   $\mu\text{m}$ , así como es mostrado en la figura 1.1. Las longitudes más cortas

están asociadas con los rayos gama, rayos X y la radiación ultravioleta, mientras las microondas tienen longitudes de onda larga. Valores intermedios de longitud de onda (entre 0,1 y 100  $\mu\text{m}$ ) corresponden a la radiación térmica que puede detectarse como calor o luz. Este pequeño rango contiene las radiaciones de interés en este libro.

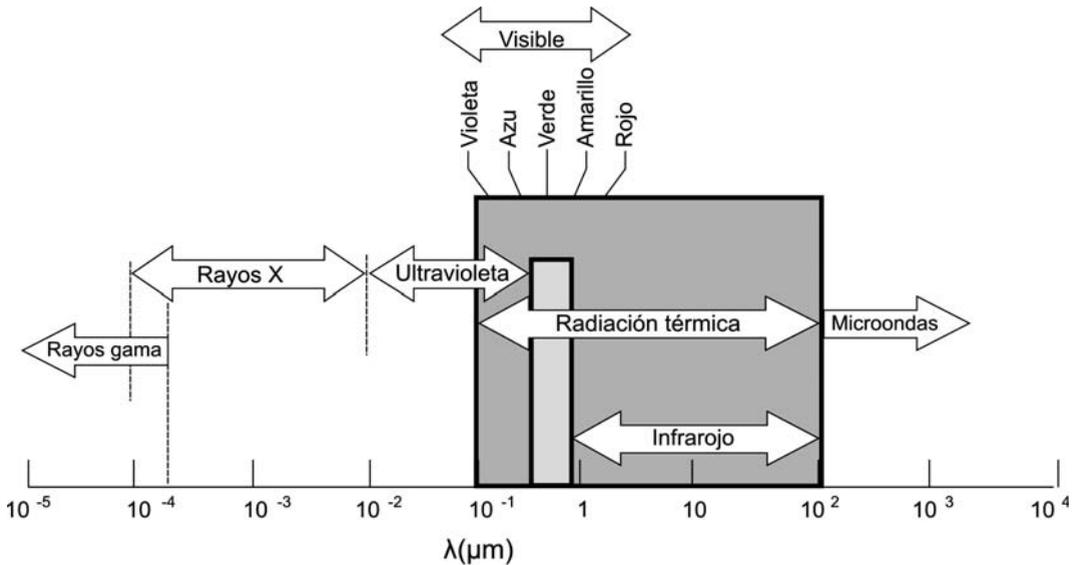


Figura 1.1 – El espectro electromagnético Adaptado de Incropera – De Witt

La radiación emitida por el Sol, una forma de radiación térmica, está en el intervalo de longitudes de onda entre 0,1 y 3,0  $\mu\text{m}$ , conocida como *banda solar*. Del total de la energía contenida en esas longitudes de onda, el 7% está en la región del ultravioleta, el 46,8% en la visible y el resto en la banda del infrarrojo cercano, conforme es mostrado en la figura 1.2. La radiación emitida por cuerpos a 100°C ó más, 1000°C por ejemplo, ocurre en la región del infrarrojo, entre 0.7 y 100 $\mu\text{m}$ . La región de longitudes de onda superiores a 3,0  $\mu\text{m}$  se conoce como *banda de emisión*.

La descripción de la radiación solar tiene como base su naturaleza espectral y direccional, y puede

*[Las radiaciones de calor que provienen del sol son de “onda corta” o banda solar, las radiaciones de calor de los cuerpos a “baja temperatura” son radiaciones de onda larga o banda de emisión este hecho es muy importante para la comprensión de la forma de captación del calor del sol en un panel colector solar cerrado]*

entenderse como una distribución continua y no-uniforme de varios componentes monocromáticos, que explica la variación de la intensidad de radiación en función de la longitud de onda. Su naturaleza

direccional puede simplificarse admitiendo que la radiación es emitida de modo uniforme en todas las direcciones, es decir, la distribución y la superficie emisora son perfectamente difusas.

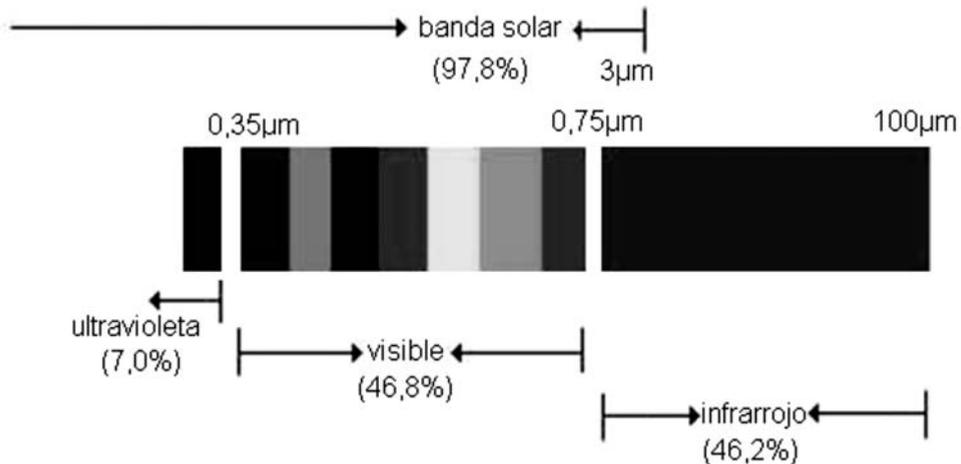


Figura 1.2 – Parte del espectro electromagnético que corresponde a la banda solar

## 1.1.1. El Cuerpo Negro

El cuerpo negro es una superficie ideal, utilizada como referencia para evaluación de las propiedades radiantes de superficies reales. Un cuerpo negro presenta las siguientes características:

- Absorbe toda la radiación incidente sobre él
- Ninguna superficie puede emitir más energía que un cuerpo negro
- Es un emisor difuso

Para entender tales características, el cuerpo negro puede ser representado por una esfera hueca y que presenta una pequeña abertura por donde pasa un rayo con determinada longitud de onda. Se verifica fácilmente que ese rayo sufrirá múltiples reflexiones en el interior de la esfera, pero la probabilidad de que encuentre el pequeño agujero para salida es prácticamente nula. Por lo tanto, el

cuerpo negro es un *absorbedor ideal*, pues absorbe toda la radiación incidente sobre él, independientemente de la longitud de onda y del ángulo de incidencia de la radiación.

En consecuencia, el cuerpo negro siempre tendrá la máxima temperatura de equilibrio en

## Poder Emisivo del Cuerpo negro

El poder emisivo espectral ( $E_\lambda$ ) de un cuerpo negro se define como la tasa por la cual la radiación de longitud de onda  $\lambda$  se emite en todas las direcciones en el espacio hemisférico de una superficie, por unidad de área de esa superficie y por unidad de intervalo de longitud de onda ( $d\lambda$ ) alrededor de  $\lambda$ .

La distribución espectral del poder emisivo de un cuerpo negro ( $E_\lambda, n$ ) se expresa a través de la Ley de Planck, la figura 1.3 representa gráficamente la distribución de Planck, demostrando que la distribución espectral del poder emisivo del cuerpo negro presenta un punto máximo para una determinada longitud de onda, que es dependiente de su temperatura.

Esta relación se conoce como *Ley del Desplazamiento de Wien* y muestra que, en la medida que la temperatura del cuerpo negro aumenta, el poder emisivo espectral

comparación con los cuerpos reales.

Y, así, es posible afirmar que ninguna superficie emitirá más energía que un cuerpo negro, siendo, por lo tanto, denominado *emisor ideal*. Como esa emisión ocurre uniformemente en todas las direcciones, el cuerpo negro también se conoce como *emisor difuso*

máximo se desplaza hacia la izquierda, es decir, para valores correspondientes a menores longitudes de onda.

Cabe destacar que el orden de magnitud del poder emisivo máximo del cuerpo negro a 5777K, es aproximadamente  $10^5$  superior al del cuerpo negro a  $150^\circ\text{C}$ .

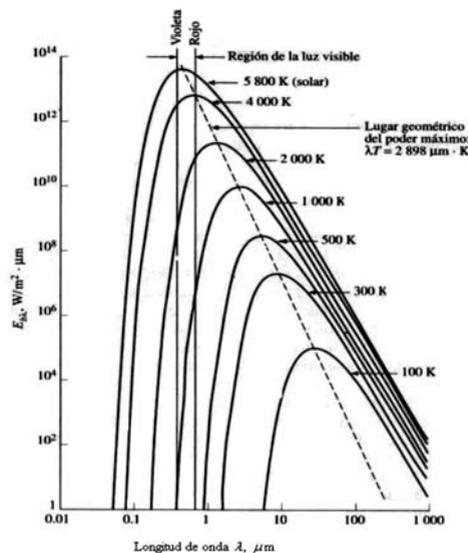


Figura 1.3. Poder emisivo espectral de un cuerpo negro en función de la longitud de onda.

## 1.1.2. Temperatura Efectiva del Sol - $T_{\text{sol}}$

El Sol es una esfera de 695.000 Km. de radio y masa de  $1,989 \times 10^{30}$  Kg., cuya distancia media de la Tierra es  $1,5 \times 10^{11}$  metros. Su composición química es básicamente de hidrógeno y helio, en las proporciones de 92,1 y 7,8%, respectivamente.

La energía solar se genera en el núcleo del Sol, a través de reacciones de fusión nuclear cuando

cuatro protones de hidrógeno se transforman en un átomo de helio, liberando gran cantidad de energía, en esta región, la temperatura del Sol llega a 15 millones de grados Celsius. La figura 1.4 ilustra las principales características del sol.

Para cálculos simplificados de ingeniería, es común adoptar para la temperatura del Sol el valor aproximado de 6000K.

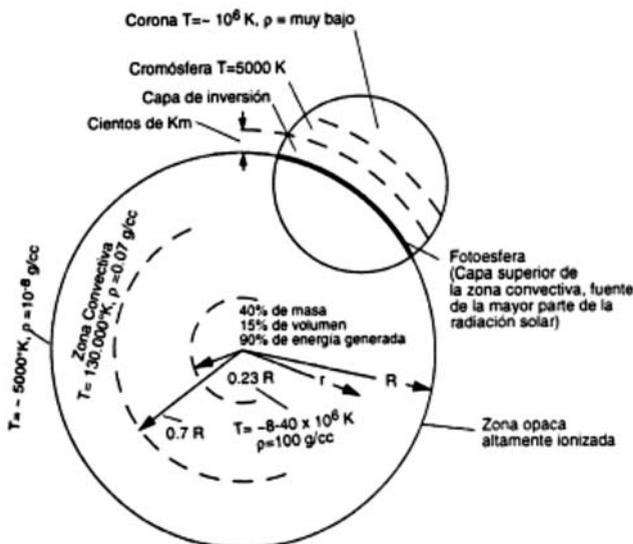


Figura 1.4. Estructura esquemática del Sol

### Constante solar

“Para una distancia media entre la Tierra y el Sol, su valor más actual, recomendado por Duffie y Beckmann [1991], es  $1367 \text{ W/m}^2$ .”

## 1.1.3. Radiación Solar

La irradiación espectral ( $G_\lambda$ ) se define de modo análogo al poder emisor espectral, considerando la energía incidente sobre una superficie, es decir, es la tasa por la cual la radiación de determinada longitud de onda  $\lambda$  incide sobre una superficie, por unidad de área de la superficie y por unidad de intervalo  $d\lambda$  de longitud de onda alrededor de  $\lambda$ . Si este valor se integra para todas las longitudes de onda y todas las direcciones, se obtiene la irradiación total hemisférica ( $G$ ).

Al aplicar ese concepto a la radiación solar, se define como la energía incidente por unidad de tiempo y área, en una superficie instalada fuera de la atmósfera de la Tierra, para recibir los rayos solares con incidencia normal. Para una distancia media entre la Tierra y el Sol, su valor más actual, recomendado por Duffie y Beckmann [1991], es  $1367 \text{ W/m}^2$ .

Esa constante corresponde a un valor máximo de la irradiación solar, pues se mide antes que ocurra cualquier tipo de atenuación por nubes, aerosoles, polución o

absorción por los propios elementos que forman parte de la atmósfera terrestre. Sin embargo, al atravesar la atmósfera terrestre, condiciones climáticas y locales introducen modificaciones en la intensidad y espectro de la radiación, además de modificar su dirección original, conforme muestra la figura 1.5. en la siguiente página.

## BALANCE DE ENERGÍA



Figura 1.5 – Radiación solar global y sus componentes

De esa forma, la irradiación solar incidente sobre los colectores solares se descompone en dos fracciones, así como se muestra en la figura 1.6

Radiación solar directa ( $G_b$ ) definida como la fracción de la irradiación solar que atraviesa la atmósfera terrestre sin sufrir ninguna modificación en su dirección original.

Radiación difusa ( $G_d$ ) se refiere a la componente de la irradiación solar que, al atravesar la atmósfera, se esparce por aerosoles, polvo o se refleja por los elementos de esa atmósfera. La parte de la radiación que llega al colector proveniente de la emisión y reflexión de su alrededor, caracterizada por la vegetación y construcciones civiles, también se incluye en su componente difusa, denominada comúnmente *albedo*

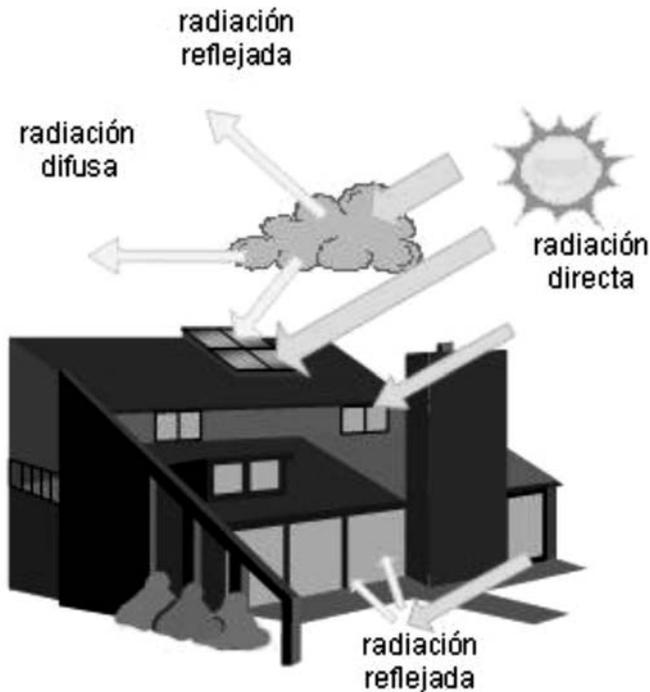


Figura 1.6 representación de la descomposición de la radiación solar global en sus componentes directa y difusa

De esa forma, se define la irradiación solar instantánea  $G$  incidente sobre el plano de interés y expresa en  $W/m^2$ , como la suma de sus componentes en la forma

$$G = G_B + G_D \quad (1.4)$$

La irradiación solar instantánea que incide sobre la superficie terrestre varía durante el día desde cero  $W/m^2$  a la salida del sol, un valor máximo hacia el medio día y otra vez cero cuando el sol se pone. La irradiancia solar máxima que se produce hacia el medio día, puede ser igual o mayor que  $1\,000\ W/m^2$

cuando la componente difusa es mínima y el lugar geográfico propicio.

Por ejemplo, si observamos los gráficos 1.7 y 1.7b la trayectoria de la curva que indica la radiación directa del sol recibida por un plano horizontal en Montevideo durante el mes de diciembre, podemos observar que la irradiancia máxima fue cercana a  $1\,050\ W/m^2$ . Para el mismo día y en una superficie captadora inclinada  $35^\circ$  el valor es de  $995\ W/m^2$ . En el mes de Junio se puede leer en el plano inclinado una irradiación de  $750\ W/m^2$ .

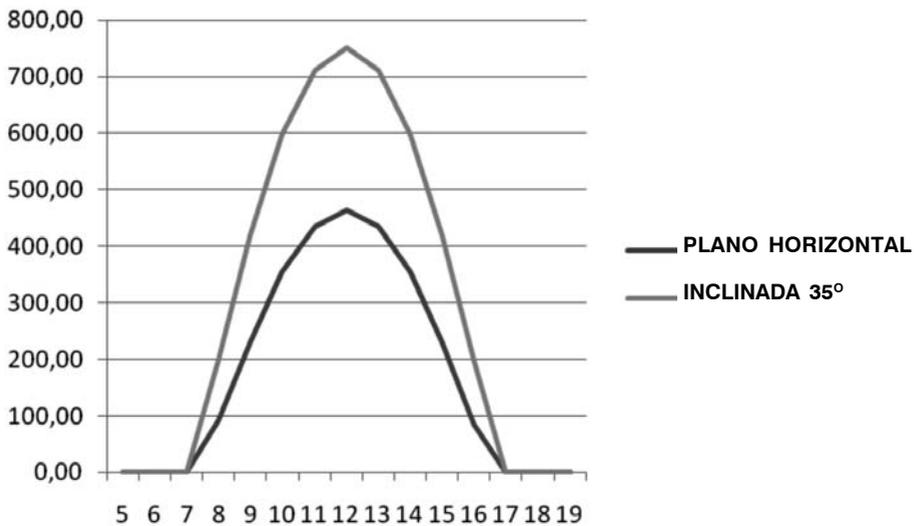


Figura 1.7 Irradiancia media horaria para Montevideo mes de Junio (w/m2)

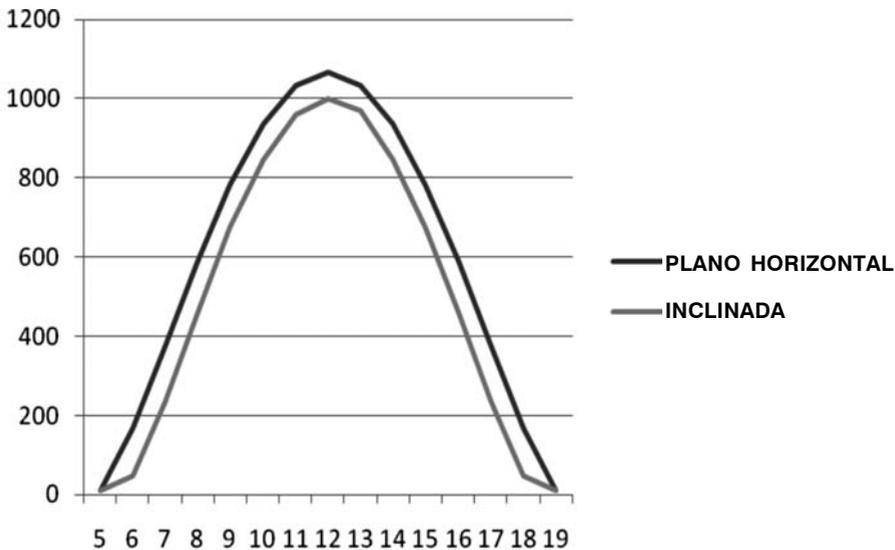


Figura 1.7b Irradiancia media horaria para Montevideo mes de Diciembre (w/m2)

(Nota, la irradiación presentada es calculada según modelo analítico, considerando un cielo limpio uniforme)

[Los paneles solares son capaces de absorber tanto la energía directa como la radiación difusa con lo que en un día nublado pero luminoso se obtiene un aporte de energía que si bien no es suficiente para lograr un aumento de temperatura importante permite sumar energía al sistema.]

## PARTE 1. 2

# ASOLEAMIENTO DE PRINCIPIOS FUNDAMENTALES

El mejor aprovechamiento del recurso solar es uno de los requisitos para garantizar el buen funcionamiento de la instalación y menor inversión en la implantación del sistema, además de un mayor ahorro al final del mes. La instalación correcta y optimizada de una batería de colectores solares exige una definición previa de las inclinaciones y orientaciones más adecuadas, que varían en función de la posición geográfica de la localidad en estudio y del perfil de consumo de agua caliente.

Como será discutido a continuación, la posición correcta de

los colectores solares tiene como objetivo ofrecer:

- Mayor período diario de insolación sobre la batería de colectores;
- Mayor captación de la radiación solar en determinadas épocas del año o en promedios anuales, dependiendo del tipo de aplicación requerida o de particularidades del uso final del agua caliente

En este estudio, se incluirá una breve revisión sobre coordenadas geográficas, movimiento relativo entre la Tierra y el Sol y estaciones del año.

### 1.2.1. Coordenadas Geográficas: Latitud, Longitud y Altitud

Las coordenadas terrestres permiten la ubicación de un punto sobre la superficie terrestre o su alrededor, permitiendo calcular los valores involucrados en el estudio de la geometría solar para la ciudad o región específica de interés.

**Latitud Geográfica** ( $\phi$ ) corresponde a la posición angular en relación a la línea del Ecuador, considerada latitud cero. Cada paralelo trazado en relación al plano del Ecuador corresponde a una latitud constante: positiva, si se traza

al Norte y negativa, si está al sur del Ecuador, mostrado en la Figura 1.8. Los Trópicos de Cáncer y de Capricornio corresponden a las lati-

tudes de  $23^{\circ} 27'$  al Norte y al Sur, respectivamente, abarcando la *región tropical*.

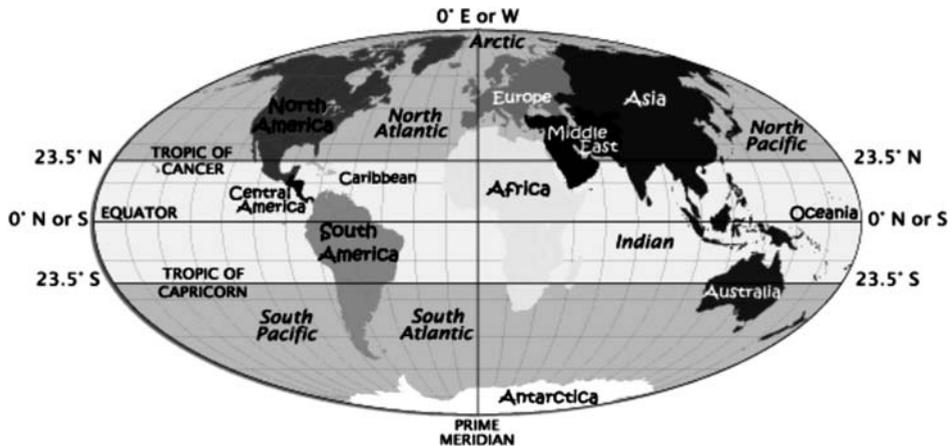


Figura 1.8 - Ubicación de Sudamérica en relación a los paralelos y meridianos

**Longitud geográfica (L)** es el ángulo medido a lo largo del Ecuador de la Tierra, teniendo su origen en el meridiano de Greenwich (referencia) y extremidad en el meridiano local, como mostrado en la Figura 1.9. En la Conferencia Internacional Meridiana se definió su variación de  $0^{\circ}$  a  $180^{\circ}$  (oeste de Greenwich) y de  $0^{\circ}$  a  $-180^{\circ}$  (este de Greenwich). La Longitud es muy importante en la determinación de los husos horarios y de la hora solar, el Uruguay se encuentra mas cercano al meridiano  $60^{\circ}$  sin embargo nuestra hora legal está referida al meridiano  $45^{\circ}$  para tener un mejor aprovechamiento de la luz solar, eso significa 3horas al Oeste de Greenwich.

**Altitud (Z)** equivale a la distancia vertical medida entre el punto de interés y el nivel medio del mar. Por ejemplo, las estaciones climatológicas de Belo Horizonte y Salvador están a 850 y 4 metros sobre el nivel del mar, respectivamente.

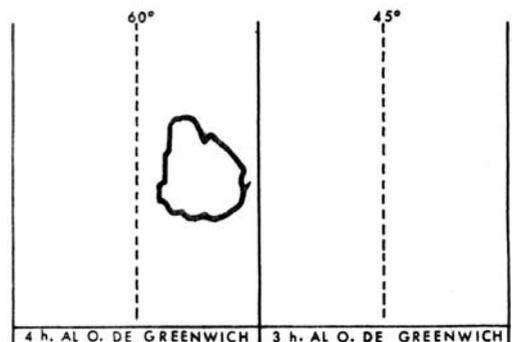


Figura 1.9 - Ubicación de Uruguay en relación al meridiano de Greenwich.



## 2.2.2. Los Movimientos de la Tierra y las Estaciones del Año

Los movimientos de la Tierra alrededor de su propio eje con período de aproximadamente 24 hs, mostrados en las figuras 1.11 y 1.12, pueden ser sucintamente descritos como:

- Movimiento de rotación 24 horas
- Movimiento de translación alrededor del Sol, en una órbita elíptica cuyo período orbital es de 365,256 días

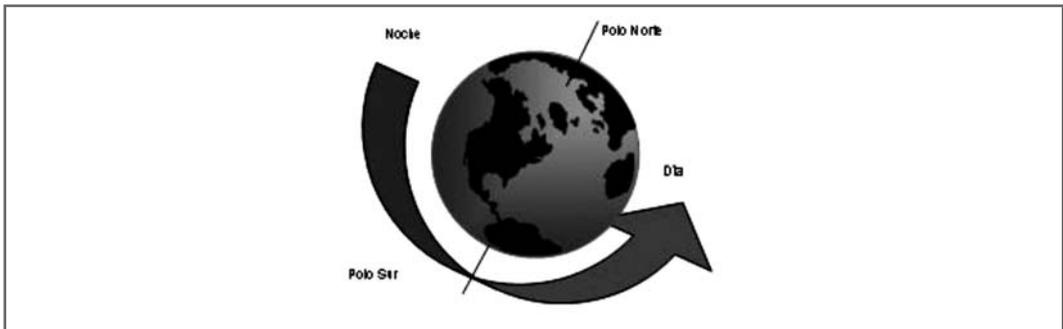


Figura 1.11 Movimientos de la tierra, rotación de la Tierra.

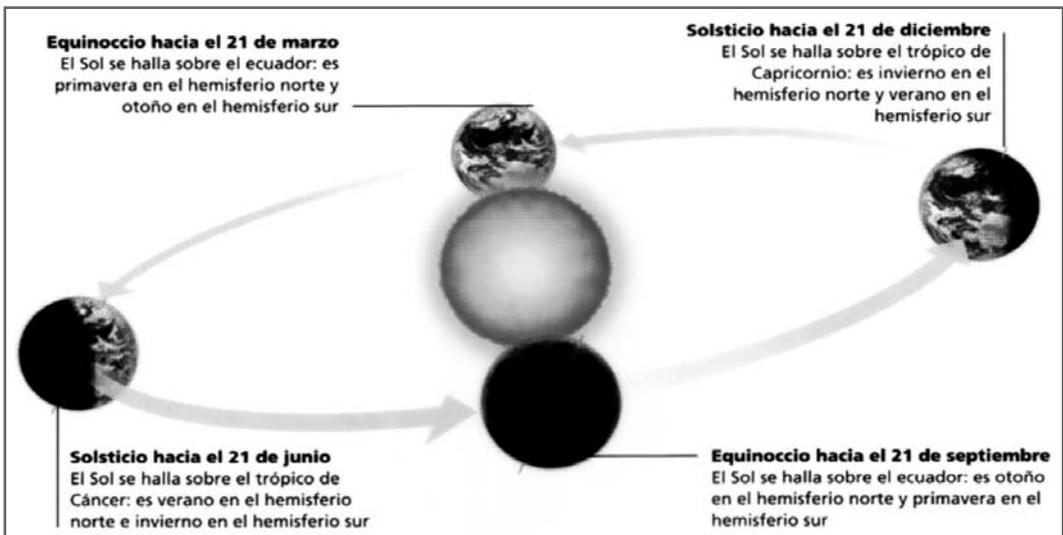
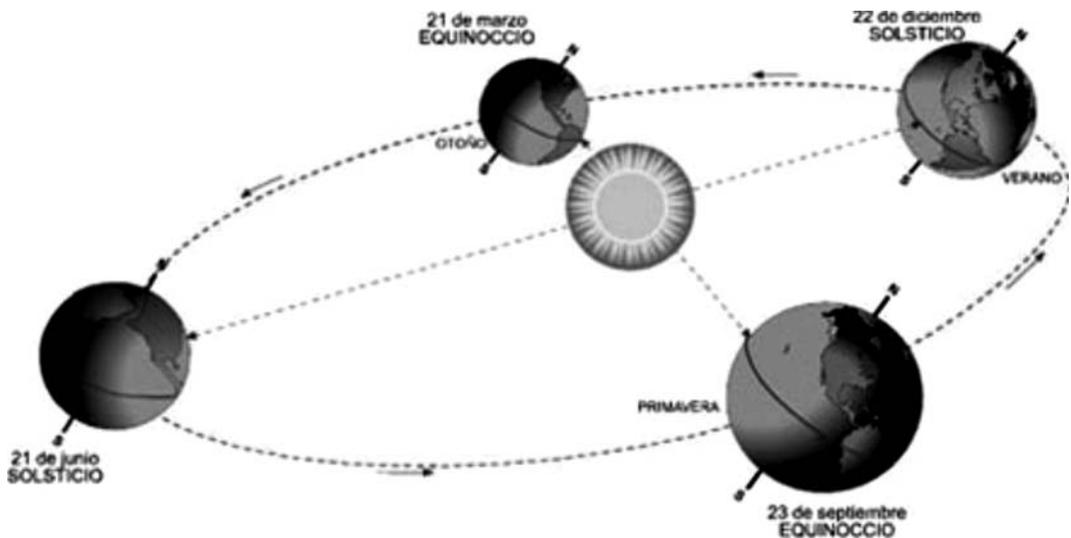


Figura 1.12 Movimientos de la tierra, translación de la Tierra.

El ángulo formado entre la vertical al plano de la órbita y el eje Norte – Sur, mostrado en la figura 1.12 es 23 grados con 27 minutos, es decir,  $23,45^\circ$ . Se definen así regiones y épocas del año con mayor nivel de incidencia de la radiación solar. En el caso específico del Hemisferio Sur, los solsticios y equinoccios son aproximadamente:

- Solsticio de Verano: 22 de diciembre
- Equinoccio de Otoño: 21 de marzo
- Solsticio de Invierno: 21 de junio
- Equinoccio de Primavera: 23 de septiembre



Más adelante se explica la manera de obtener por métodos gráficos la posición relativa del sol (acimut y altura) para cualquier día del año, sin embargo en los

puntos que siguen podemos comprender la importancia de la orientación correcta de los equipos solares.

### 1.2.3. Ángulos de la Instalación Solar

Los ángulos de la instalación solar están asociados a la inclinación y orientación de los colectores

solares. Este último se conoce como *ángulo azimutal de superficie*.

**Ángulo de inclinación del colector (  $\beta$  ):** es el ángulo formado por el plano inclinado del colector solar y el plano horizontal, como mostrado en la Figura 1.14.

Profesionales de las áreas de Ingeniería Civil y Arquitectura comúnmente expresan la inclinación de los tejados en porcentaje, conocida como pendiente. Como los cálculos involucrados en la Geometría Solar exigen que la inclinación esté expresa en grado o radián, es necesario cuidado especial para evitar errores en la comunicación de esa información. A estos efectos se presenta una tabla para conversión de pendientes en % a inclinación en grados

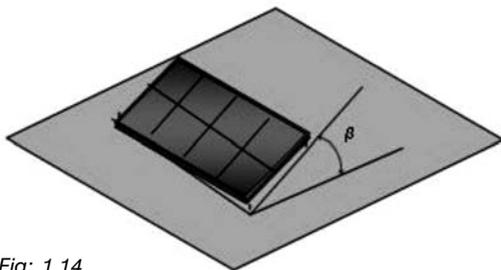


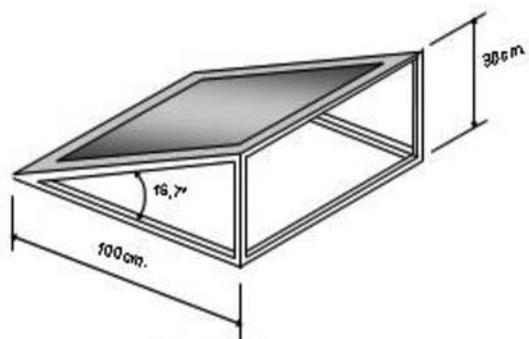
Fig: 1.14

**También se pueden usar cálculos por trigonometría para mayor exactitud. Analizemos el siguiente ejemplo.**

La pendiente del techo informada en el proyecto es del 30%, esto significa que, para un desplazamiento de 100 cm en la

Tabla para determinación de pendientes a grados	
pendiente en %	inclinación en grados
5	2,9
10	5,7
15	8,5
20	11,3
25	14,0
30	16,7
35	19,3
40	21,8
45	24,2
50	26,6
55	28,8
60	31,0
65	33,0
70	35,0
75	36,9
80	38,7
85	40,4
90	42,0
95	43,5
100	45,0

horizontal, el punto de contacto con el tejado sube lo correspondiente a 30 cm. De acuerdo con los conceptos de la Trigonometría, se verifica que la altura de 30 cm.



corresponde al cateto opuesto al ángulo de inclinación del tejado ( $\beta$ ) y el desplazamiento horizontal de 100 cm. al cateto adyacente.

Por lo tanto, es posible escribir que la pendiente del 30% es equivalente a un ángulo de  $16,7^\circ$ .

$$\tan \beta = \text{cateto opuesto} / \text{cateto adyacente}$$

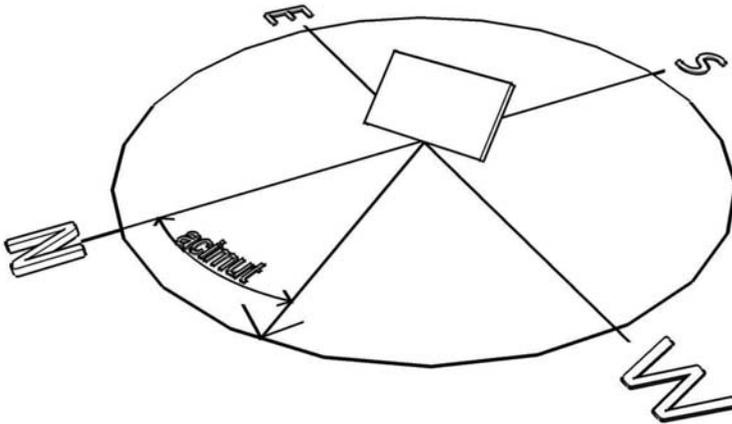
$$\tan \beta = 30/100$$

$$\beta = 16,7^\circ$$

### Ángulo azimutal de superficie

( $\gamma_s$ ): corresponde al ángulo formado entre la dirección norte-sur y la proyección en el plano horizontal de la recta normal a la superficie del colector solar y utilizando el vocabulario para energía solar

según norma UNIT-ISO 9488:1999 tomaremos la medida angular para el hemisferio sur a contar desde el norte con valores negativos durante la mañana (dirección al este) y positivos para las horas de la tarde (dirección al oeste).



En el caso de un tejado libre de obstrucciones se intentará siempre ubicar el captador solar "mirando al norte" es decir con un ángulo acimutal de  $0^\circ$

La importancia de ese ángulo se verifica en todos los cálculos del Proyecto Solar.

## 1.2.4. Norte Magnético y Norte Geográfico

En este punto, es necesario enfatizar el concepto de desviación magnética. Para determinación del Norte Geográfico es necesario aplicar una corrección que varía localmente cerca de 9' por año.

A los efectos prácticos de la ubicación fehaciente del polo norte geográfico o "solar" se brindan a continuación cuatro formas simplificadas para su obtención.

### Cartografía del lugar

En general, todos los mapas geográficos tienen indicado en las propias láminas la orientación geográfica marcando mediante un símbolo hacia donde apunta el

norte, el mismo es válido para la orientación de los paneles. Es importante destacar que el método no tiene una precisión absoluta y que los márgenes de error dependerán de la adecuada lectura de los gráficos y de las referencias del lugar que se puedan tomar, así por ejemplo en una ciudad será más fácil reconocer "líneas" de referencia que me permitan ubicar el norte, por ejemplo la alineación de una fachada, o la alineación de una calle.

En internet existen también programas disponibles que muestran imágenes satelitales de todo el planeta y se indica la orientación correspondiente.



### Método de la sombra más corta

El método de la sombra más corta consiste en clavar una varilla de metal, madera, aluminio o el material que sea, en forma vertical en el terreno, es muy importante verificar la verticalidad de la varilla, si la misma estuviera inclinada no será fiable la medición. Luego de realizada la operación es necesario marcar en el suelo la sombra arrojada por el sol. La posición de la sombra más corta indicará en el sentido opuesto la orientación del norte geográfico. Indudablemente el grado de error de este método puede llegar a ser grande si no se hace con cuidado ya que basta una pequeña inclinación de la varilla como para inducir a un error, además en el verano cuando el sol describe un recorrido relativamente alto la sombra arrojada por la varilla puede llegar a ser muy corta lo que

dificultaría aún más la determinación de cuál es la sombra que efectivamente es más corta.

Sin embargo este método puede dar una idea muy cercana en la ubicación del norte geográfico aún sin contar con ningún tipo de instrumental

### Lectura con brújula y corrección magnética

La orientación de un edificio o de un sistema de paneles colectores solares se puede determinar también por medio de una brújula. Debe recordarse que este instrumento señala la dirección del Norte magnético mientras que los diagramas están referidos al norte geográfico la diferencia entre ambas direcciones, para nuestro país, es pequeña pero no despreciable. A los efectos de poder calcular dicha corrección se brinda la siguiente tabla:

VALORES DE CORRECCIÓN PARA LA DESVIACIÓN MAGNÉTICA DE LA BRÚJULA

CIUDAD	ubicación geográfica	año 2009	incrementos hacia el oeste al año
PAYSANDU	32° lat sur / 58° long W	9°17'	9'W
RIVERA	31° lat sur / 56° long W	11°27'	9'W
RIO BRANCO	32°30' lat sur / 53°30' long W	12°43'	8'W
MONTEVIDEO	34°50' lat sur / 56° long W	9°40'	8'W

El norte magnético se ubica al oeste del norte geográfico el ángulo indicado en Año 2009

Debido a que estos valores son variables a lo largo de los años en la bibliografía del manual se pueden encontrar direcciones de

páginas web que permiten en forma sencilla el cálculo adecuado de dicha corrección

## Método de la hora legal-solar

El método de la hora legal-solar se utiliza para ubicar el norte geográfico de un lugar como complemento del método ya visto como método de la varilla. La hora legal se establece de acuerdo a una convención internacional de acuerdo a la ubicación geográfica del lugar y tomando como referencia el meridiano de Greenwich. Nuestro país se encuentra con respecto a la hora legal GMT -3 es decir, nuestros relojes marcan tres horas menos que el famoso Big Ben de la ciudad

de Londres. La hora local corresponde en realidad con la ubicación relativa del sol para un lugar determinado así todas las ubicaciones geográficas que se encuentren en el mismo meridiano tendrán la misma hora local.

De esta manera el método consiste en obtener la sombra de una varilla vertical a la hora local 12, en ese momento la dirección opuesta a la sombra de la varilla estará indicando el punto cardinal Norte. En el anexo uno de este manual se explica la metodología utilizada para el cálculo de la hora solar u hora legal.

[la orientación del colector solar es siempre referenciada al Norte Geográfico y no al Norte Magnético, indicado por las brújulas]

## 1.2.5. Ángulos Solares

Los ángulos solares son fundamentales para el cálculo de la estimación de la radiación solar que llega al plano del colector, además de permitir la evaluación previa de eventuales problemas de sombra que pueden ocurrir en la obra en estudio.

Esos ángulos son: ángulo horario, cenital, de altitud solar, ángulo azimutal del Sol y el ángulo de incidencia de la radiación directa.

**Ángulo horario** ( $\omega$ ): corresponde al desplazamiento angular del Sol en relación al meridiano local, como resultado de movimiento de rotación de la Tierra, mostrado en la Figura 1.16. Ese desplazamiento es de  $15^\circ$ /hora, pues la Tierra completa  $360^\circ$  en 24 horas. Al mediodía solar el ángulo horario es nulo, los signos positivo y negativo se refieren a los períodos de la tarde y de la mañana, respectivamente.

**Ángulo cenital** ( $\theta_z$ ): es el ángulo formado entre la vertical a un observador local y el rayo de la componente directa de la radiación

solar, mostrado en la Figura 1.17. Cuando el Sol está en el meridiano del lugar, es decir, exactamente sobre el observador.



Figura 1.16 - Angulo horario

El ángulo cenital varía entre  $0^\circ$  y  $90^\circ$ , en el Uruguay debido a nuestra latitud el ángulo cenital nunca llega a ser  $0^\circ$  o sea a estar en el cenit

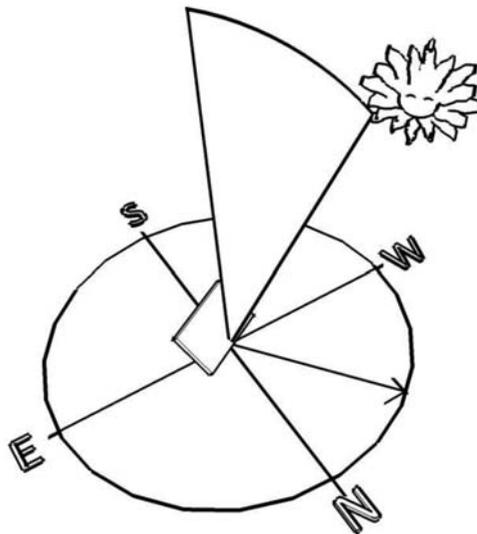


Figura 1.17

**Ángulo de altitud solar ( $\alpha_s$ ):** es el ángulo formado entre la horizontal y la dirección del Sol, es decir, el ángulo de altitud solar corresponde al complemento del ángulo cenital, como muestra la Figura 1.18.

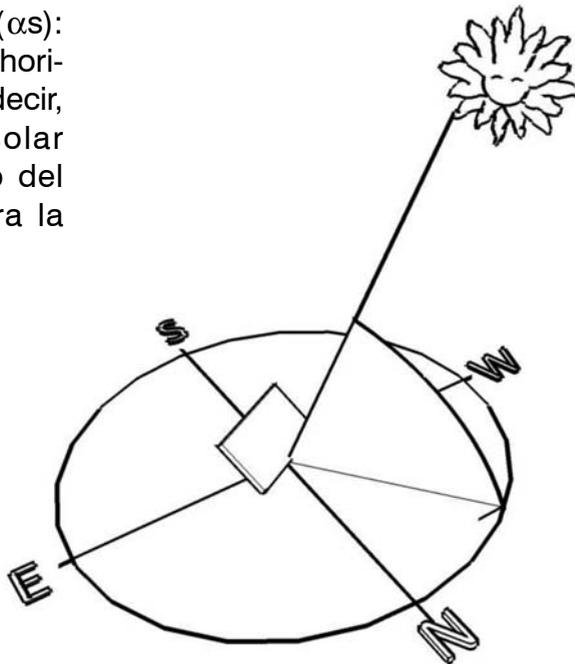


Figura 1.18

**Ángulo de incidencia de la radiación directa ( $\theta$ ):** es el ángulo formado entre la normal a la superficie y la recta determinada por

la dirección de la radiación solar directa, como muestra la figura 1.19. Su variación es:  $0^\circ = \theta = 90^\circ$ .

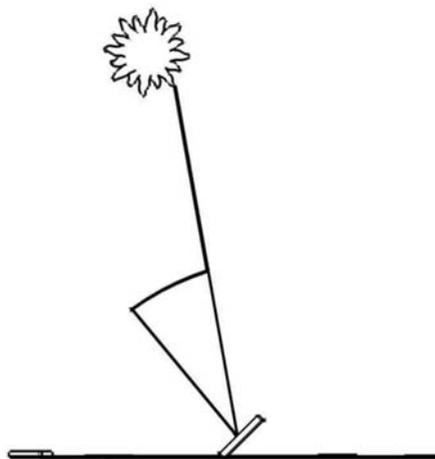
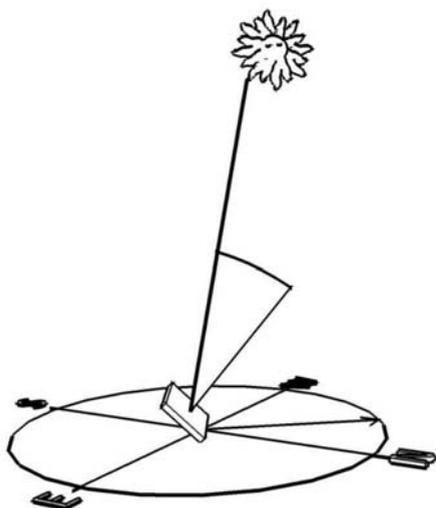


Figura 1.19

El ángulo de incidencia de la radiación directa sobre una superficie con determinada orientación e inclinación se calcula por la ecuación:

$$\cos\theta = \text{sen}\sigma \cdot \text{sen}\varphi \cdot \cos\beta - \text{sen}\sigma \cdot \cos\varphi \cdot \text{sen}\beta \cdot \cos\gamma + \cos\sigma \cdot \cos\varphi \cdot \cos\beta \cdot \cos w + \cos\sigma \cdot \text{sen}\varphi \cdot \text{sen}\beta \cdot \cos\gamma \cdot \cos w + \cos\sigma \cdot \text{sen}\beta \cdot \text{sen}\gamma \cdot \text{sen}w$$

## 1.2.6. Proyección estereográfica de recorridos del Sol.

Las proyecciones estereográficas son uno de los métodos gráficos utilizados para el estudio del asoleamiento en edificios, mediante el uso de las mismas se pueden representar los recorridos aparentes del sol y a partir de la lectura de las cartas solares realizadas con este método se puede obtener con mucha facilidad y un buen grado de precisión los ángulos solares que son fundamentales en la orientación adecuada de los paneles colectores y de las instalaciones de aprovechamiento de la energía solar. Utilizando los mismos trazados es posible determinar la influencia de las obstrucciones que se pueden presentar, permitiendo

establecer qué días y qué horas reciben asoleamiento los colectores. Estos gráficos son además muy útiles cuando se necesita una

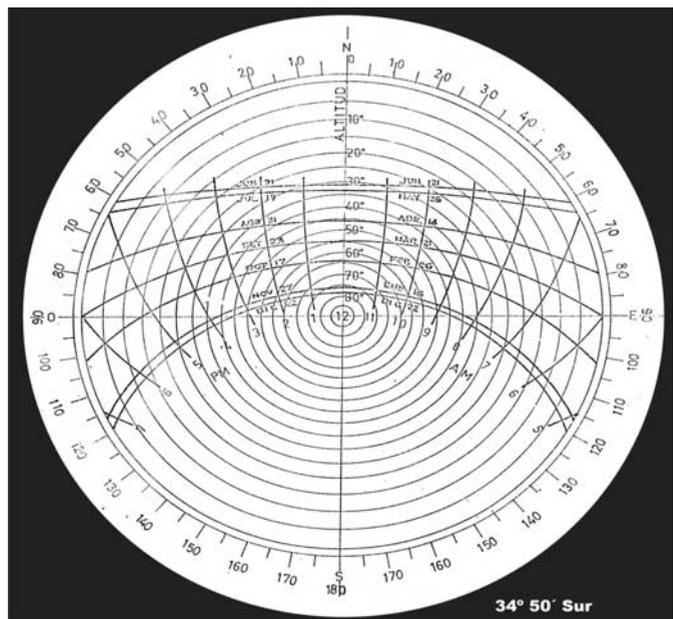


Figura 1.20

herramienta rápida de evaluación de asoleamiento en fachadas o en

techos inclinados transformándose en una ayuda muy importante para el diseño e instalación de proyectos especiales.

La utilización es muy sencilla y consiste en ubicar en el gráfico la posición del sol en el gráfico, a estos efectos se grafican recorridos de algunas fechas que cubren todo el año, 22 de dic, 21 de enero, 21 de febrero, 21 de marzo, 21 de abril, 21 de mayo, 21 de junio, y así sucesivamente. Luego de ubicado el día se busca sobre esa curva la posición relativa del sol buscando la hora correspondiente en las líneas “perpendiculares” a los recorridos. Una vez ubicado el punto que simboliza la ubicación relativa del sol con respecto al observador se lee la altura angular en los

círculos concéntricos y se une dicha ubicación con el centro del gráfico (punto P) y se lee en forma gráfica el acimut de la posición del sol para la fecha determinada. En el ejemplo de la figura 1.21 el acimut y la altura del sol será de  $-30^\circ$  y  $25^\circ$  respectivamente para el día 21 de junio a las 10hs

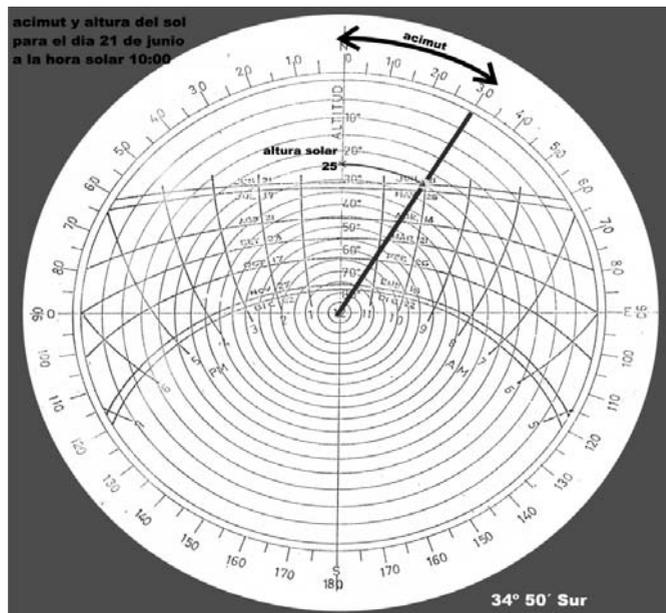


Figura 1.21

## 1.2.7. Criterios de inclinación de los paneles según cada proyecto.

Es evidente que la mejor inclinación para una batería de colectores solares sería aquella que permitiera “llevar” esos mismos colectores hacia donde está el Sol en cada día del año. De esa forma, se compensarían la latitud local y la declinación solar.

Sin embargo, en las instalaciones de calentamiento solar de agua sería muy complejo alterar la inclinación de una batería de colectores en el transcurso del año. Habría innumerables problemas con relación a las tuberías de alimentación y retorno de agua caliente que conectan los colectores al tanque térmico donde debe evitarse la formación de sifones, la inclusión de partes móviles en el sistema, que aumentarían los de gastos con mantenimiento y la propia ubicación arquitectónica de los colectores en los tejados y fachadas.

Por ello, se recomienda la definición de una inclinación fija ( $\beta_{fija}$ ). En la mayoría de las aplicaciones residenciales, ese

valor coincidirá con la propia inclinación del tejado.

Cuando exista la posibilidad de definición previa de esa inclinación, como soporte al proyecto arquitectónico, el proyectista podrá utilizar diferentes criterios para la selección del mejor ángulo de inclinación de los colectores solares, que pueden ser:

### **Criterio 1 – Promedio anual:**

En este caso, la media aritmética calculada a partir de las inclinaciones óptimas en los respectivos solsticios de verano e invierno, coincide con la propia latitud de la localidad de interés, es decir:

$$\beta_{fija} = |\varphi|$$

### **Criterio 2 – Facilidad del**

**Invierno:** Este criterio muchas veces se aplica debido a la mayor demanda de agua caliente en el período de invierno. En este caso, se recomienda:

$$\beta_{fija} = |\varphi| + 10^\circ$$

Donde  $\varphi$  es la latitud local.

**Criterio 3 – Períodos críticos de insolación:** Cuando sea necesario minimizar la **contribución del calentamiento** auxiliar para mantener la fracción solar o incrementarla, debe inclinarse los colectores solares para maximizar la captación de energía en ese período.

**Criterio 4 – Períodos de punta de demanda de agua caliente:** Como, por ejemplo, el agua caliente requerida por establecimientos de hospedaje en periodos de temporada alta

coincidentes con climas fríos o cálidos, el proyecto solar deberá considerar esa especificidad.

Más adelante en este manual se tratarán los conceptos teóricos que permiten calcular la energía solar incidente en determinada ciudad y bajo las condiciones particulares de cada obra.

A continuación se presentan algunas obras de calentamiento solar con comentarios generales sobre la calidad del posicionamiento de colectores.

Obra 1

Instalación de los Colectores en Plano Inclinado

Evaluaciones generales



Fuente GREEN

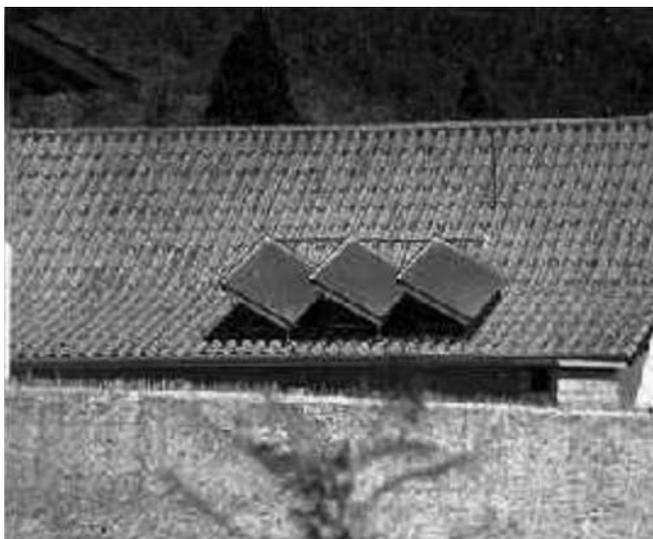
La instalación de los colectores solares en un plano inclinado permite optimizar el ángulo de inclinación y orientación para cada ciudad.

En este caso, el arquitecto tiene que participar desde el primer momento de la decisión por la utilización de calentadores solares en la edificación.

## Obra 2

## Instalación Solar Residencial

## Evaluaciones generales



Fuente: Agencia Energía

En este caso, probablemente la decisión por utilizar calentadores solares sea posterior al proyecto o construcción de la casa. Por ello, la inserción del calentamiento solar en la vivienda presentó gran impacto visual, muchas veces indeseable para propietarios y arquitectos.

Sin embargo, en el caso de la Obra 2, es necesario subrayar otro factor: la gran proximidad entre los colectores a pesar de la gran área de tejado disponible.



## Capítulo 2

# COLECTORES SOLARES Y LOS PRINCIPIOS DE LA TRANSFERENCIA DE CALOR

Mecanismo de la transferencia de Calor  
Propiedades ópticas  
El colector solar plano  
Eficiencia. Balance térmico  
Colectores de tubo de vacío



## 2.1 MECANISMOS DE TRANSFERENCIA DE CALOR

Calor es la forma de energía que fluye debido a una diferencia de temperatura desde un punto de mayor a un punto de menor temperatura. El calor, o energía

térmica, puede transmitirse de tres formas distintas. Estos tres mecanismos son la conducción, la convección y la radiación.

### CONDUCCIÓN

La conducción es el mecanismo por el cual el calor se transmite dentro de un medio sólido, dentro de un fluido en reposo o entre dos cuerpos que están en contacto físico.

La rapidez con que el calor se transmite a través de un cuerpo es directamente proporcional a la diferencia de temperatura y al área de la superficie que atraviesa. Para el caso de conducción de calor en estado estacionario a través de una pared plana perpendicular a un eje  $x$  se tiene la siguiente expresión:

$$q_x = k.A \frac{T_2 - T_1}{L}$$

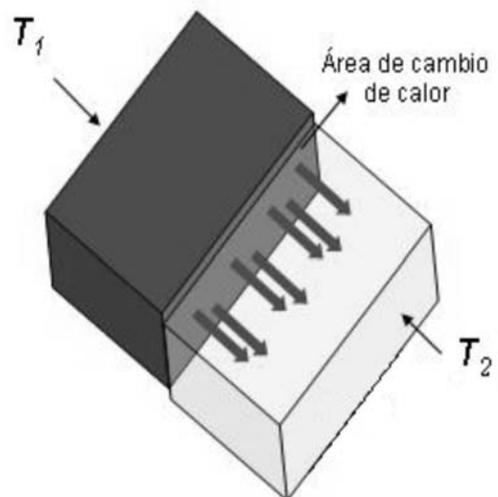
donde

$q_x$  es la rapidez de conducción de calor en el sentido del eje  $x$

$k$  es la conductividad térmica del material

$A$  es el área

$T_2 - T_1$  es la diferencia de temperatura entre dos puntos separados por una distancia  $L$ .



# CONVECCIÓN

La convección es la forma de propagación de calor de un lugar a otro por el movimiento de una sustancia. Es un mecanismo característico de transferencia entre un sólido y un fluido que está en contacto. Si el fluido es obligado a moverse por un ventilador o una bomba el proceso se llama de *convección forzada*. Pero si la sustancia se mueve a causa de diferencias de densidad, se habla de un fenómeno de *convección natural*.

La rapidez de la transferencia de calor por convección sigue la siguiente ecuación:

$$q = h_c \cdot A \cdot (T_s - T_\infty)$$

donde:

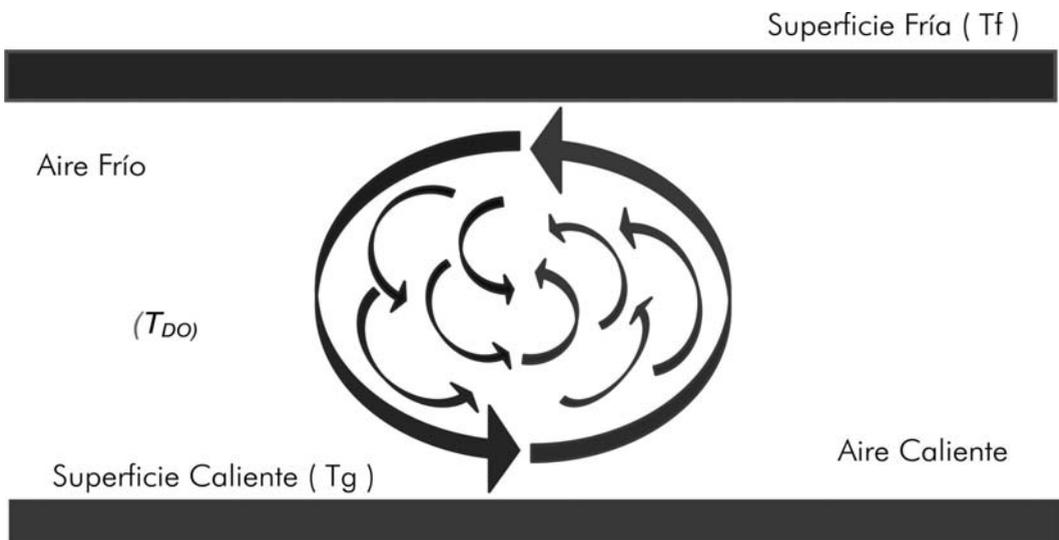
$h_c$  es el coeficiente de transferencia de calor por convección

$A$  es el área normal a la dirección de transferencia de calor

$T_s$  es la temperatura de la superficie

$T_\infty$  es la temperatura del fluido

Entre dos placas paralelas separadas por aire se produce una situación como la que se muestra en la siguiente figura



# RADIACIÓN

Es el mecanismo de transferencia de calor basado en la absorción y emisión de ondas electromagnéticas. Cuando estas inciden sobre un cuerpo que no es transparente a ellas, son absorbidas y su energía transformada en calor. Por otra parte, todo cuerpo cuya temperatura es superior a 0 K (-273.15°C) emite ondas electromagnéticas, perdiendo calor.

El flujo de energía (E) emitida por este mecanismo depende de la temperatura del cuerpo y sigue la expresión

$$E = \varepsilon \sigma . T^4$$

donde:

**E** es la cantidad de energía emitida por unidad de tiempo y superficie

**$\varepsilon$**  es la emisividad de la superficie

**$\sigma$**  es la constante de Stefan Boltzman

**T** es la temperatura absoluta del cuerpo

La radiación es el único mecanismo de transferencia de calor que no requiere de un medio material, ya que las ondas electromagnéticas se propagan en el vacío. Es la forma por la cual la energía térmica llega desde el Sol a la Tierra.

## 2.2 PROPIEDADES ÓPTICAS

El comportamiento térmico de un colector solar está asociado a las propiedades ópticas del vidrio y de la placa absorbedora a saber: transmitancia ( $\tau$ ), reflectancia ( $\rho$ ) y absortancia ( $\alpha$ ) que pueden definirse para cada longitud de onda (espectral), para cada ángulo de

incidencia (direccional) o integradas a todas las  $\lambda$  (total) o todos los ángulos (hemisférica).

La irradiación incidente sobre una superficie puede absorberse, reflejarse y/o transmitirse, según la ilustración de la Figura 2.3.

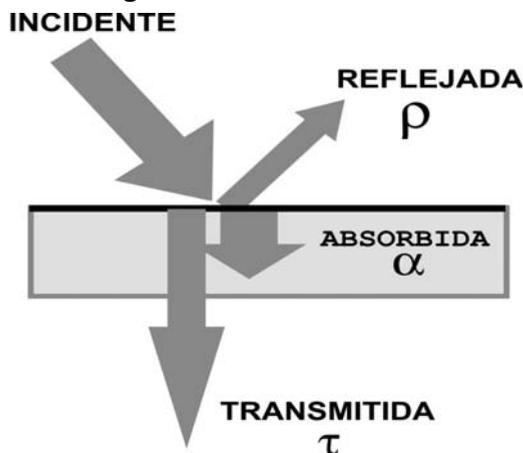


Figura 2.3

En palabras, se tiene:

$$\text{Energía Incidente} = \left\{ \text{Energía Absorbida} \right\} + \left\{ \text{Energía Transmitida} \right\} + \left\{ \text{Energía Reflejada} \right\}$$

Así, se define la *absortancia espectral* ( $\alpha_\lambda$ ) como la fracción de la energía irradiada que es absorbida por la superficie de interés para una determinada longitud de onda, expresada como:

$$\alpha_\lambda = \frac{G_{\lambda,abs}(\lambda)}{G_\lambda(\lambda)} \quad (2.2a)$$

La *reflectancia espectral* ( $\rho_\lambda$ ) es dada por la porción de energía irradiada que es reflejada por la superficie para una determinada longitud de onda, es decir:

$$\rho_\lambda = \frac{G_{\lambda,ref}(\lambda)}{G_\lambda(\lambda)} \quad (2.2b)$$

Y, por fin, de modo análogo, la *transmitancia espectral* ( $\tau_\lambda$ ) está definida como la porción de energía irradiada que es transmitida a través de un medio semitransparente, en una determinada longitud de onda, en la forma:

$$\tau_\lambda = \frac{G_{\lambda, tr}(\lambda)}{G_\lambda(\lambda)} \quad (2.2c)$$

Esas magnitudes pueden integrarse para todas las longitudes de onda, obteniéndose así, las propiedades totales y hemisféricas correspondientes. Por simplicidad de nomenclatura, en estos casos serán omitidos los términos total y hemisférico, es decir:

La *absortancia* ( $\alpha$ ) está definida como la fracción de irradiación total absorbida por una superficie, es decir:

$$\alpha = \frac{G_{abs}}{G} \quad (2.3a)$$

De modo análogo, se define la *reflectancia* ( $\rho$ ) y la *transmitancia* ( $\tau$ ) en la forma:

$$\rho = \frac{G_{ref}}{G} \quad (2.3b)$$

$$\tau = \frac{G_{tr}}{G} \quad (2.3c)$$

*Nota: También es usual nombrar a  $\alpha$  como absortividad,  $\rho$  como reflectividad y  $\tau$  como transmisividad*

Volviendo a la Figura 2.3, el balance de energía para la radiación incidente sobre la superficie en cuestión es dado por las siguientes expresiones:

Para las propiedades espectrales:

$$\rho_\lambda + a_\lambda + t_\lambda = 1 \quad (2.4a)$$

Para las propiedades totales:

$$\rho + a + t = 1 \quad (2.4b)$$

## 2.3 EL COLECTOR SOLAR PLANO

El colector solar, que tiene por función la captación de la energía solar, está considerado el “corazón” de los sistemas. El tipo más tradicional es el colector solar plano con cubierta transparente, cuyo esquema se muestra a continuación:

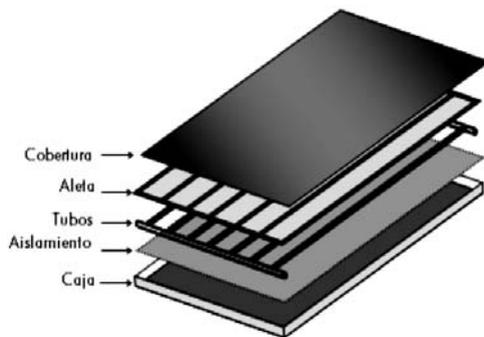


Figura 2.1 Imagen del colector plano desmontado

Básicamente, el colector solar plano está constituido por:

- Caja externa: generalmente fabricada en perfiles de aluminio, chapa plegada o material plástico que sirve de soporte a todo el conjunto.
- Aislamiento térmico: minimiza las pérdidas de calor al ambiente. Está en contacto con la caja externa, revistiéndola. Los materiales aislantes más usados son la lana de vidrio y la espuma de poliuretano.
- Parrilla de tubos: formada por un haz de tubos verticales interconectados a través de dos tubos colectores. Normalmente son hechos en cobre, debido a su alta conductividad térmica y resistencia a la corrosión.
- Placa absorbedora (aletas): parte responsable de la absorción y transferencia de energía solar hacia el fluido de trabajo. Las aletas metálicas, en aluminio o cobre, son pintadas de negro mate o reciben tratamiento especial para mejorar la absorción de la energía solar.
- Cobertura transparente: generalmente de vidrio o policarbonato, que permite el pasaje de radiación solar y minimiza las pérdidas de calor por convección y radiación al ambiente.
- Junta: colocada entre la caja externa y la cobertura transparente para evitar que ingrese agua de lluvia al sistema o que escape aire caliente.

## 2.4 EFICIENCIA. BALANCE TÉRMICO

En un colector solar es de gran importancia maximizar la energía incidente a transferirse al agua y

minimizar todas las pérdidas térmicas. La Figura 2.2 evidencia tales flujos de energía

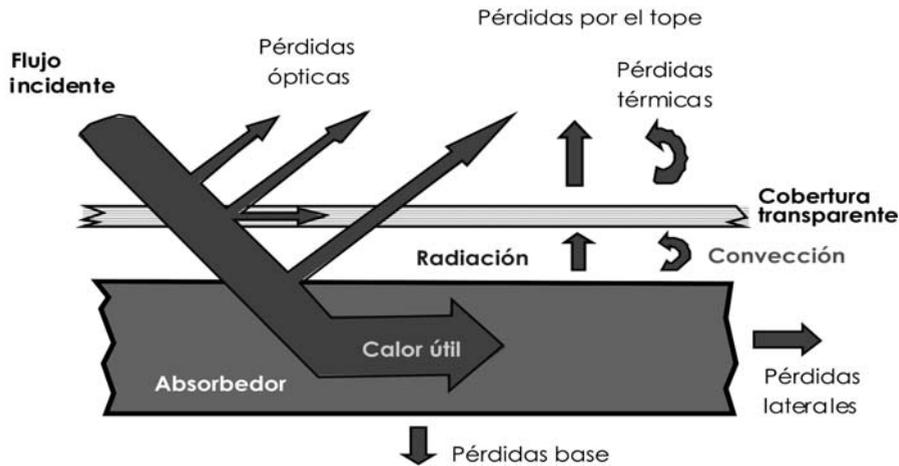


Figura 2.2 – Diagrama esquemático de los flujos de energía en un colector solar.  
Fuente : Adaptado de ADEME

En otras palabras, se desea maximizar la eficiencia térmica ( $\eta$ ) de los colectores solares, que está definida como la razón entre la tasa de transferencia de calor hacia el agua denominado *calor útil*, y la tasa de energía solar incidente en el plan del colector, es decir:

$$\eta = \frac{Q_{\text{útil}}}{G \cdot A_{\text{ext}}} \quad (2.5)$$

Donde:

$G$ : irradiación solar global instantánea incidente en el plano del colector expresada en  $\text{W}/\text{m}^2$ ;

$A_{\text{ext}}$ : área externa del colector, en  $\text{m}^2$ ;

$Q_{\text{útil}}$ : Calor útil absorbido por el agua, en  $\text{W}$ .

Cuando el sistema está en régimen

$$Q_{\text{útil}} = Q_{\text{absorbido}} - Q_{\text{perdido}} \quad (2.6)$$

El calor absorbido es

$$Q_{\text{absorbido}} = \tau_c \alpha_p GA \quad (2.7)$$

donde

A: área de la placa colectora (m<sup>2</sup>)

G: radiación global incidente en el plano del colector (W/ m<sup>2</sup>)

$\tau_c$ : transmitancia de la cobertura transparente

$\alpha_p$ : absorptancia de la placa colectora

El calor perdido es la suma de las pérdidas por la base, los laterales y principalmente por la parte superior del colector. Así,

$$Q_{\text{perdido}} = Q_{\text{superior}} + Q_{\text{base}} + Q_{\text{lateral}} \quad (2.8)$$

El calor perdido por la parte superior lo hace por mecanismos de convección y radiación. En cambio por la base y las partes laterales el paso limitante de la pérdida de calor es la conducción a través de la aislación térmica.

Admitiendo que la fuerza motriz responsable de las pérdidas de calor es la diferencia de temperatura entre la placa ( $T_p$ ) y el ambiente ( $T_{\text{amb}}$ ) se puede escribir

$$Q_{\text{perdido}} = U_L A (T_p - T_{\text{amb}}) \quad (2.9)$$

siendo  $U_L$  el coeficiente global de pérdidas de calor, que incluye las pérdidas por la parte superior, base y laterales.

Sustituyendo las expresiones (2.7) y (2.9) en la (2.6) se obtiene la siguiente expresión para el calor útil

$$Q_{\text{útil}} = A \left[ \tau_c \alpha_p G - U_L (T_p - T_{\text{amb}}) \right] \quad (2.10)$$

Sustituyendo en (2.5) y reordenando términos se obtiene la siguiente expresión para la eficiencia térmica del colector

$$\eta = \frac{A}{A_{\text{ext}}} \left[ \tau_c \alpha_p - U_L \frac{(T_p - T_a)}{G} \right] \quad (2.11)$$

Como la temperatura de la placa es difícil de calcular o medir, se prefiere usar una expresión que tenga como variable la temperatura media ( $T_m$ ) o de entrada ( $T_i$ ) del fluido que circula por el colector. Para lograr una ecuación de eficiencia más útil, es necesario incluir un **Factor de Remoción** (o de eficacia)  $F_R$ . Este factor sería igual a 1 si el transporte de calor desde la placa al fluido no tuviera ninguna resistencia y la temperatura de placa y fluido fueran iguales.

La expresión de eficiencia queda entonces de la siguiente forma

$$\eta = \frac{A}{A_{ext}} \left[ F_R \tau_c \alpha_p - F_R U_L \frac{(T_m - T_a)}{G} \right] \quad (2.12)$$

## 2.4.1 FACTORES QUE INCIDEN EN LA EFICIENCIA DE UN COLECTOR

### LA CUBIERTA TRANSPARENTE

En la selección de cubiertas transparentes se trata de buscar las de mayor transmitancia, que corresponden a las de menores absorptancia y reflectancia para las longitudes de onda de la radiación solar.

### LA PLACA ABSORBEDORA

El tratamiento de la superficie de la placa absorbedora tiene mucha importancia en la reducción de las pérdidas ópticas

Como el objetivo es incrementar la energía absorbida por la placa en la banda solar, se emplean pinturas con alta absorptividad en esa región del espectro. Como se pretende también minimizar la energía emitida por la misma placa, ahora en la llamada *banda de emisión*, se deben buscar pinturas que emitan menos energía en ese rango de longitudes de onda ( $\lambda > 3\mu\text{m}$ )

### Efecto de la Emisividad. Superficies selectivas

La radiación espectral emitida por una superficie real no obedece a la distribución espectral de un cuerpo negro. Así, la emisividad espectral de una superficie real ( $\lambda$ ) es definida como la razón entre su poder emisor espectral y el poder emisor de un cuerpo negro, ambos a la misma temperatura y longitud de onda, en la forma:

$$\varepsilon_{\lambda}(\lambda T) = \frac{E_{\lambda}(\lambda T)}{E_{\lambda_n}(\lambda T)} \quad (2.13)$$

De modo similar la emisividad total hemisférica de la superficie real ( $\varepsilon$ ) puede definirse por la razón entre los poderes emisivos integrados para todos las longitudes de onda y direcciones tomados a la misma temperatura, es decir:

$$\varepsilon(T) = \frac{E(T)}{E_n(T)} \quad (2.14)$$

Se puede considerar que la absorptividad y emisividad de un material para determinada longitud de onda sean iguales (Ley de Kirchhoff). Así, un material de alta absorptividad en determinada longitud de onda, presentará también alta emisividad.

Pero para las longitudes de onda del espectro solar lo importante es el valor de absorptividad y para la banda de emisión es la emisividad. Una pintura negra común presenta el valor de ambas propiedades elevadas y constantes para todas las longitudes de onda. Una pintura selectiva, en cambio, tendrá absorptividad y emisividad elevada para longitudes de onda menores a  $3\mu\text{m}$  y bajas para  $\lambda$  mayores. La selectividad de una pintura, recubrimiento o tratamiento químico se determina por la razón:

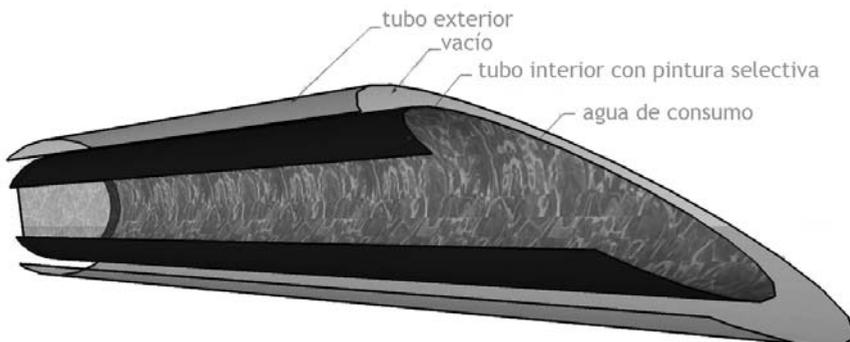
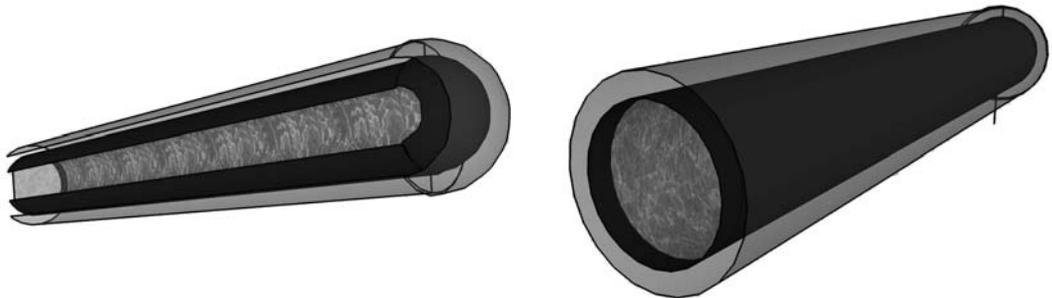
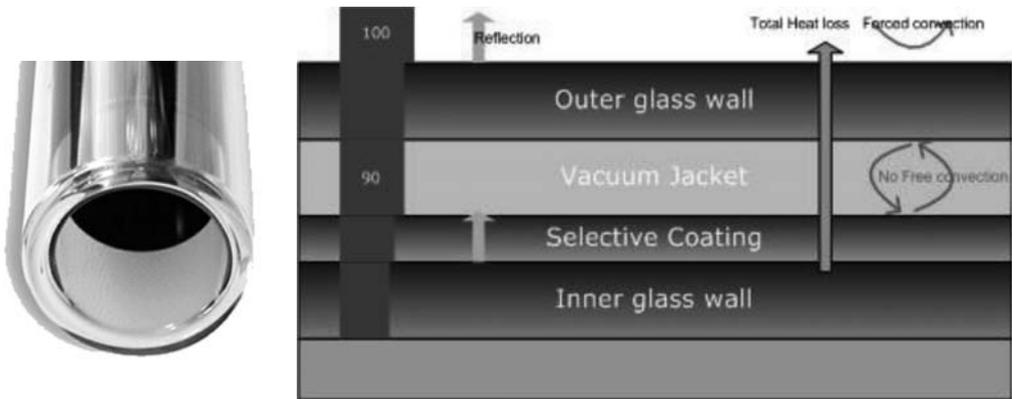
$$\text{Selectividad} = \frac{\alpha_{\lambda}(\text{banda\_solar})}{\varepsilon_{\lambda}(\text{banda\_de\_emision})} \quad (2.15)$$

# Tipos de tubos de vacío

## a) Simple (all glass).

Formados por dos tubos de vidrio concéntricos separados por una cámara al vacío (presión del orden de 0,001 atmósferas). Sobre

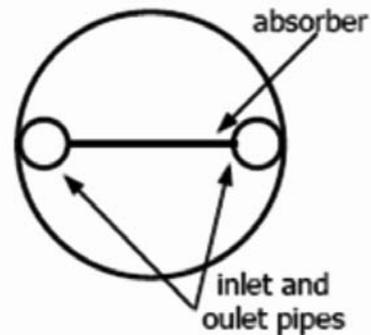
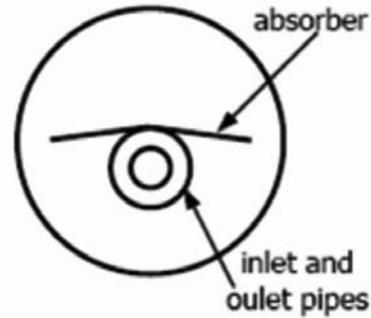
la parte exterior del tubo interno se deposita un recubrimiento selectivo. el agua está en contacto con la parte interna del tubo interno.



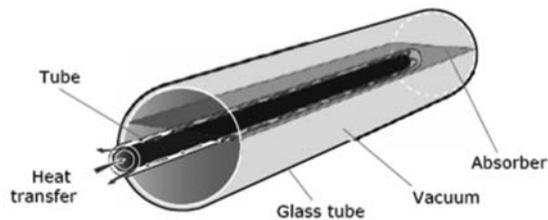
## b) De flujo directo por tubos de cobre.

El líquido del circuito primario circula por dentro de tubos de cobre en contacto con un absorbedor aislado del ambiente por un tubo al vacío.

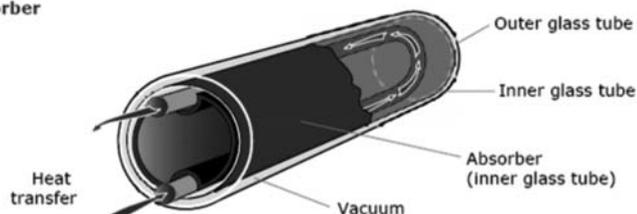
Los tubos pueden disponerse de forma concéntrica o en «U».

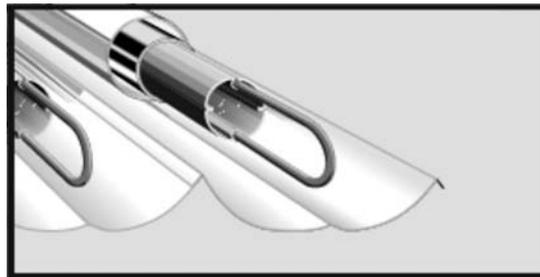


With band absorber



With cylindrical absorber

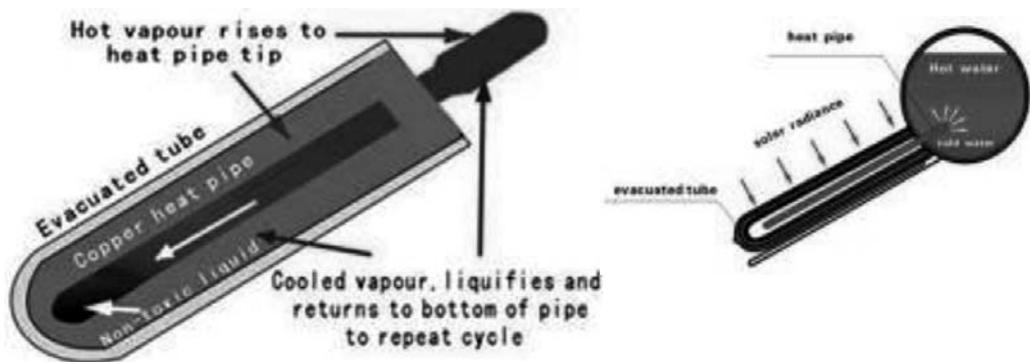


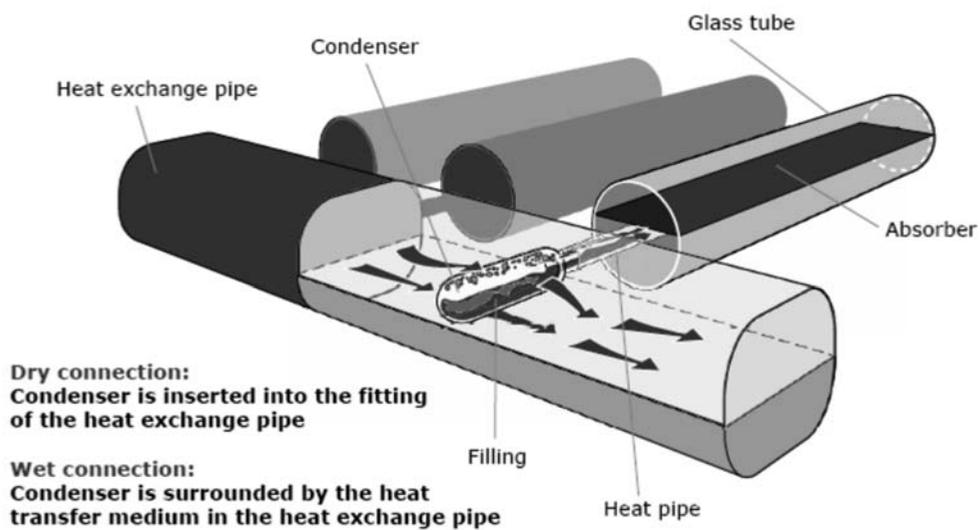


**c) Tubo con bulbo de cobre (heat pipe)**

Están formados por un tubo de cobre cerrado que contiene un líquido y su vapor. Este tubo de cobre se coloca dentro de un tubo de vidrio con cámara de vacío.

Cuando recibe calor donde se encuentra el líquido, éste se evapora. El vapor alcanza la parte superior en contacto con el líquido del circuito primario (frío) y condensa entregando calor latente.







## Capítulo 3

# TANQUES TERMICOS Y LOS PRINCIPIOS DE LA TRANSFERENCIA DE CALOR

Características Constructivas  
Geometría y Forma de operación  
Balance de Energía



# INTRODUCCIÓN

En los Capítulos anteriores fueron estudiados los fenómenos relativos a la radiación solar y los colectores que componen el subsistema *CAPTACIÓN* de una instalación de calentamiento solar.

El presente capítulo trata del subsistema *ACUMULACIÓN*, cuyo principal componente es el tanque térmico, también conocido por *tanque acumulador*.

Debido al carácter intrínsecamente intermitente de la radiación solar que intercala días y noches, períodos soleados y nublados, en toda instalación solar se debe prever una fuente complementaria de energía, como electricidad y gas, que garantizará el calentamiento auxiliar en los períodos sin la insolación mínima requerida o aún cuando ocurra un incremento eventual del consumo de agua caliente.

## 3.1. Tanques Térmicos

La legionella es una bacteria que prolifera en el agua caliente, se debe evitar tener en el tanque temperaturas de entre 20° y 50°

Los tanques térmicos de acumulación del agua caliente en instalaciones de calentamiento solar son dimensionados para garantizar la demanda diaria de

agua caliente del consumidor final a la temperatura requerida por la aplicación. De esa forma, como será visto más adelante, el dimensionado de la instalación solar exigirá la definición de una relación entre volumen de agua almacenada, área de colectores y fuente complementaria de energía.

Estudios recientes realizados en Inglaterra y disponibles en ([http://www.bsee.co.uk/news/fullstory.php/aid/3618/Managing\\_the\\_risk\\_from\\_Legionnaires\\_disease\\_.html](http://www.bsee.co.uk/news/fullstory.php/aid/3618/Managing_the_risk_from_Legionnaires_disease_.html)) establecen los cuidados básicos en el almacenamiento de agua (caliente y fría). Tales criterios, que tienen en vista evitar la proliferación de bacterias como la Legionella, son enumerados a continuación:

1 El volumen almacenado de agua caliente y fría debe reducirse a lo mínimo necesario. Los tanques deben cerrarse para prevenir la entrada de material orgánico.

2 Aislamiento de los componentes para que las temperaturas permanezcan fuera del rango crítico

de crecimiento de las bacterias, entre 20 y 50°C.

3 Para la *Legionella*, el rango excelente de crecimiento está entre 35 y 46°C, siendo destruida instantáneamente en temperaturas mayores que 70°C. Para valores mayores que 55°C, esa bacteria sobrevive como máximo entre 5 y 6 horas, según Jaye et al [2001] en un estudio nacional realizado en Nueva Zelanda.

4 Empleo de materiales metálicos e inorgánicos en las conexiones y accesorios de las tuberías

5 Limpieza regular de las partes vulnerables del sistema

La *legionella* es una bacteria que prolifera en el agua caliente, se debe evitar tener en el tanque temperaturas de entre 20° y 50°

## 3.1.2. Características Constructivas de los Tanques Térmicos

Como se muestra en la Figura 3.1, los tanques térmicos están constituidos por un cuerpo interno

aislado térmicamente, recubierto por una protección externa contra la intemperie.

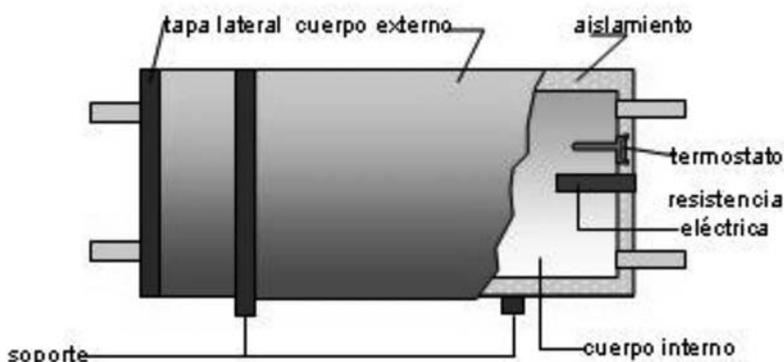


Figura 3.1 Tanque térmico y sus componentes principales

El cuerpo interno por estar en contacto directo con el agua, generalmente es fabricado con materiales resistentes a la corrosión, como cobre, acero inoxidable y acero con tratamiento vitrificado o esmaltado. También están disponibles en el mercado brasileño tanques hechos en fibra de vidrio y polipropileno. En todos los casos deberá tenerse en cuenta las regulaciones nacionales en cuanto a los depósitos de agua sanitaria.

Además de ello, su cuerpo interno debe soportar las

variaciones de presión que ocurran debido a las fluctuaciones en la red de abastecimiento. Cuanto mayor sea la presión de trabajo prevista, mayor será el espesor de la pared del cuerpo interno.

La correcta aislación térmica de un tanque acumulador de agua caliente es muy importante en el desempeño del sistema, los recorridos de cañerías a la intemperie sin la debida aislación térmica también producen pérdidas importantes al sistema por ello deben ser aisladas adecuadamente. Siempre que sea posible es

preferible que la red de agua caliente además de aislada circule por el interior de las construcciones.

La función del aislamiento térmico es minimizar la transferencia de calor del agua al ambiente. De esta forma, de manera semejante a la que ocurre en las placas colectoras, el aislamiento debe ofrecer alta resistencia al paso del calor. Generalmente los materiales más usados son el poliuretano expandido, la lana de vidrio y la lana de roca.

En este punto, se debe destacar que, cuanto menor es el volumen de agua almacenada en el tanque menor será su constante de tiempo térmica. Tal fenómeno crea el siguiente criterio técnico:

*Una relación mayor superficie-volumen (S/V) implica mayores pérdidas térmicas por unidad de volumen a través de las paredes del tanque térmico, por lo tanto, debe aislarse mejor.*

Por lo tanto los tanques con menor volumen de agua deberán contar con mayor espesor de aislante térmico en relación a tanques de mayor porte.

El uso del poliuretano está largamente difundido en los países

La correcta aislación térmica de un tanque acumulador de agua caliente es muy importante en el desempeño del sistema, los recorridos de cañerías a la intemperie sin la debida aislación térmica también producen pérdidas importantes al sistema por ello deben ser aisladas adecuadamente. Siempre que sea posible es preferible que la red de agua caliente además de aislada circule por el interior de las construcciones.

de la región en los que la fabricación y comercialización de calentadores solares de agua ha alcanzado niveles relativamente importantes, como es el caso del Brasil, en donde el espesor normalmente utilizado es de aproximadamente 50 mm para un tanque de 100 litros y 20 mm para

un tanque de 1000 litros. El poliuretano expandido confiere aún mayor resistencia mecánica al tanque justificando así su uso intensivo.

El cuerpo externo tiene la finalidad de proteger el aislante de daños provenientes de la intemperie, transporte, instalación, etc. En los tanques con cuerpo interno metálico, esa protección normalmente es hecha de chapas de aluminio, acero galvanizado o acero al carbono pintado.

En el sistema de calentamiento auxiliar eléctrico, una o más resistencias eléctricas blindadas son insertadas en el interior del cuerpo interno del tanque. El accionamiento de esas resistencias puede controlarse automáticamente por medio de un termostato, o manualmente, por el propio usuario. En los sistemas en que el calentamiento auxiliar es externo al propio sistema se usarán tanques acumuladores sin resistencias.

### 3.1.3. Tipos de Tanques Térmicos

Los tanques térmicos pueden clasificarse usualmente de dos maneras:

**En cuanto a su posicionamiento físico** los tanques son clasificados en horizontal y vertical, como se muestra en la Figura 3.3.



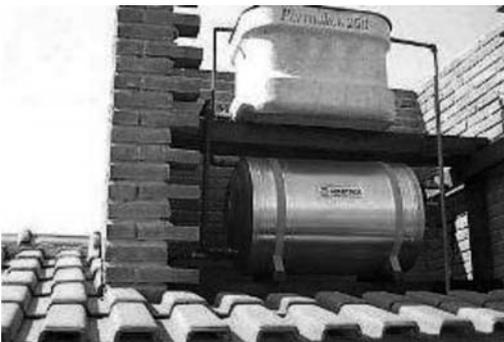
(a) horizontales



(b) verticales

Figura 3.3. Tanques Térmicos.

**En cuanto a su funcionamiento** pueden operar en desnivel o en nivel con tanque de agua fría, según se muestra en la Figura 3.4.



(a) desnivel



(b) nivel

Figura 3.4. Funcionamiento de tanques Térmicos.

## 3.2. Balance de Energía en el Tanque

Los tanques acumuladores de agua caliente que se utilizan en un sistema de paneles colectores solares están calculados para utilizar un volumen de agua adecuado a las necesidades del lugar, se dimensionan de acuerdo a la fracción solar necesaria para el proyecto, cantidad de litros de agua caliente demandada entre otros.

El calor que ingresa al tanque proveniente del sistema colector, depende de la superficie de recolección solar de la adecuada orientación de los captadores de la irradiación del lugar de la temperatura del aire, viento etc.

El balance energético en el tanque depende de la energía que entra al mismo procedente de los colectores, de la energía que sale hacia el consumo y de la energía que se pierde del propio tanque. Es por eso que la aislación térmica del tanque resulta ser clave en la eficiencia del sistema ya que si el tanque no tiene aislamiento suficiente gran parte de energía captada por los colectores se disipará sin ser sin llegar a ser utilizada. A los efectos de la instalación propiamente dicha es fundamental respetar los

lineamientos del proyecto solar ya que no es conveniente modificar el equilibrio entre demanda de agua caliente, superficie de captación y tanque acumulador.

En el anexo 3 de este manual se brinda una metodología para el cálculo del balance térmico de un tanque acumulador de agua caliente.

Acortar los recorridos de las cañerías de agua caliente al máximo cuando estos sean a la intemperie, revisar la aislación de las mismas y adecuar los diámetros a un buen servicio sanitario pero con el menor diámetro posible para mejorar el rendimiento de todo el sistema.

## 3.2.1 Consideraciones sobre la tasa de entrada de energía en el tanque térmico

Como la energía transferida al interior del tanque proviene de los colectores solares, la condición ideal sería aquella en que toda la energía generada en los colectores fuese integralmente transferida al interior del tanque. Sin embargo, en previsión de las pérdidas de calor en las tuberías existentes entre el colector y el tanque, pérdidas que necesitan ser minimizadas, se recomienda aislar esas tuberías. Los aislamientos de polietileno expandido con espesores igual o mayores de 10mm son muy recomendados. A su vez hay que cuidar que en el diseño hidráulico de la instalación se utilicen los menores diámetros posibles en la red, a los efectos de reducir las pérdidas térmicas. Cuánto menor sea el volumen de agua caliente dentro de las cañerías, menores serán las pérdidas térmicas.

Otro factor relevante en el proceso de entrada de energía en el tanque es la estratificación de la temperatura del agua almacenada. La formación de capas (estratos) del agua dentro del tanque se debe a

la relación de la densidad del agua con su temperatura. El agua más caliente (menos densa) tiende a ocupar la parte superior del tanque mientras la más fría (más densa) ocupará la parte inferior.

El desempeño del sistema de calentamiento solar depende de la temperatura del agua en la entrada del colector. Cuanto más baja es esta temperatura, mayor es el desempeño final de la instalación solar. De ese modo, la estratificación del tanque beneficia el desempeño térmico del sistema de calentamiento solar.

## Capítulo 4

# MÉTODOS DE DIMENSIONAMIENTO

Determinación del Perfil de Consumo  
Evaluación del Volumen Almacenado  
Determinación del Área Colectora.



# DIMENSIONADO DE INSTALACIONES DE CALENTAMIENTO SOLAR DE AGUA

El dimensionado adecuado de un SCS (sistema de calentamiento solar) no es una tarea sencilla, exige el conocimiento previo de los hábitos de consumo de agua caliente por los usuarios finales, hacer un análisis sensato del tipo de edificación donde se instalarán los colectores solares, disponibilidad de radiación solar en las condiciones específicas de la obra, factores climáticos locales y desempeño térmico de los productos, entre otros.

Como en todo proyecto la etapa del relevamiento de necesidades es fundamental en el trabajo y verificar que las mismas se mantienen al momento de realizar la instalación es responsabilidad de quién realiza la puesta en obra.

Este capítulo trata de la evaluación de la demanda de agua caliente y de la energía requerida para el dimensionado básico del sistema (volumen de agua almacenado y cantidad de colectores solares necesarios). Tal dimensionado es muy importante para definición del desempeño

térmico de largo plazo de la instalación solar y el respectivo análisis económico.

Para facilitar este estudio, se detalla en la Figura 4.1, el paso a paso del dimensionado de instalaciones de calentamiento solar.

La visita técnica, caracterizada como Paso 1 del Dimensionado evidencia la necesidad de identificarse con las expectativas del interesado o usuario final en cuanto al nivel de comodidad y economía esperado con el uso del SCS, precisado a través de cuestionarios, investigación de hábitos, etc. En esa oportunidad también se practica una evaluación de los lugares disponibles en el sitio, para la ubicación futura de los componentes de una instalación solar.

## 4.1. Demanda diaria de agua caliente

Para dimensionar la necesidad de agua caliente de los usuarios caracterizada por el volumen diario de agua caliente y temperatura de operación requerida es importante

tener conocimiento previo de *estándares de consumo* en función del tipo de edificación, usos finales y el sector económico de destino: residencial, industrial y de servicios

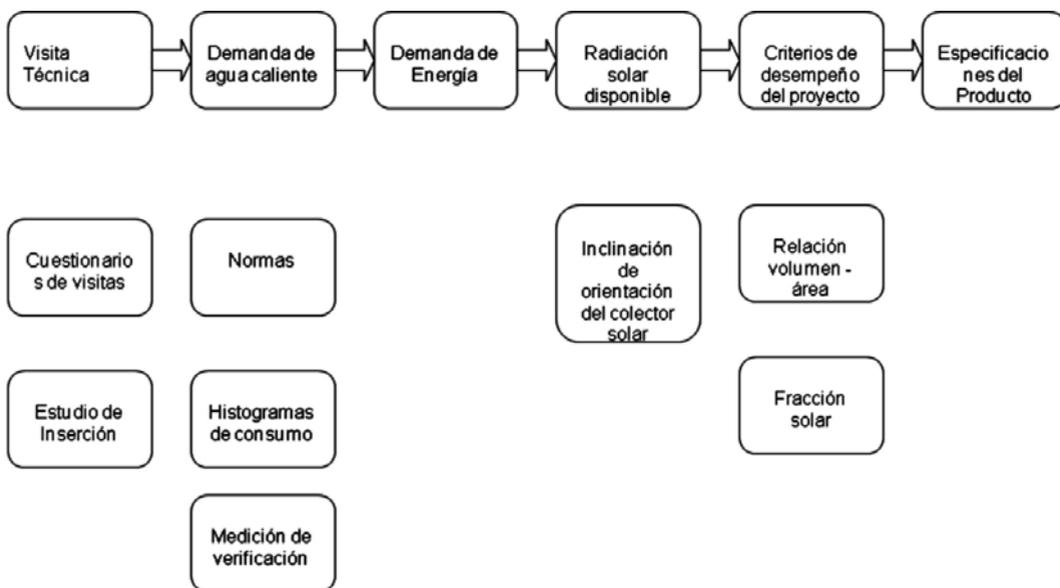


Figura 4.1 - etapas para la resolución adecuada de una instalación de calentamiento solar.

Como en todo proyecto la etapa del relevamiento de necesidades es fundamental en el trabajo y verificar que las mismas se mantienen al momento de realizar la instalación es responsabilidad de quién realiza la puesta en obra.

## Dimensionado Detallado

El dimensionado de la demanda de agua caliente es hecho en base a informaciones generales obtenidas a partir de:

- Normas de Instalaciones;
- Investigación de hábitos de los usuarios potenciales;
- Observación, sensibilidad y buen sentido;
- Experiencia.

Las Tablas 4.1, 4.2 y 4.3 , informan sobre temperaturas de operación, consumos específicos y caudales de agua vinculados a máquinas o equipamiento de consumo de agua caliente. De ningún modo se pretende sugerir que los valores correspondientes a esta información sean los que *deberían adoptarse* para el dimensionado de todo sistema de calentamiento de agua con energía solar, son valores de referencia ya que como en todo cálculo hay que ponderar los hábitos de uso.

Tabla 4.1- Temperaturas de operación indicadas para diferentes aplicaciones

Edificación	Temperatura de operación indicada
Hospitales y laboratorios	100° C o más
Lavanderías	de 75° C a 85° C
Cocinas	de 60° C a 70° C
Uso personal y baños	de 35° C a 50° C

Fuente: Centro GREEN, PUCMG-Belo Horizonte, Brasil

Tabla 4.2- Consumos específicos para diferentes aplicaciones

<b>Edificación</b>	<b>Consumo l/día</b>
Alojamiento Provisional	24 por persona
Casa Popular o Rural	36 por persona
Residencia/ Apto sistema individual	45 por persona
Apartamento con ACS central	60 por persona
Cuartel	45 por persona
Escuela Internado	45 por persona
Hotel (s/ cocina y s/ lavandería)	36 por huésped
Hospital	125 por cama
Restaurante y similares	12 por comensal
Lavandería	15 por Kg ropa seca

*Fuente: Centro GREEN, PUCMG-Belo Horizonte Brasil*

Otra referencia para el dimensionado del agua caliente sanitaria (A.C.S.), puede ser la información correspondiente al caudal y capacidad de los equipos de

uso final en el sector residencial, además del tiempo y frecuencia de su utilización. La Tabla 4.3 presenta valores típicos para distintos programas.

En el cálculo de la cantidad de agua caliente sanitaria es fundamental tener en cuenta el sentido común, la experiencia y los datos reales de consumos si los hubiera.

### Criterio de consumo

Viviendas unifamiliares	40	Por persona
Viviendas multifamiliares	30	Por persona
Hospitales y clínicas	80	Por cama
Hoteles (4 estrellas)	100	Por cama
Hoteles (3estrellas)	80	Por cama
Hoteles/Hostales (2estrellas)	60	Por cama
Campings	60	Por emplazamiento
Hostales/Pensiones (1estrella)	50	Por cama
Residencias (ancianos, estudiantes, etc)	80	Por cama
Vestuarios/Duchas colectivas	20	Por servicio
Escuelas	5	Por alumno
Cuarteles	30	Por persona
Fabricas y talleres	20	Por persona
Oficinas	5	Por persona
Gimnasios	30 a 40	Por usuario
Lavanderías	5 a 7	Por kilo de ropa
Restaurantes	8 a 15	Por comida
Cafeterías	2	Por almuerzo

*Tabla 4.3 .-Fuente manual IDAE 2002 (España)*

Tabla 4.4 – Caudal de agua caliente de equipos de uso final

Piezas de Utilización	Caudal (litros/minuto)
Bañera	18
Bidet	3,6
Ducha	7,2
Pileta lavado ropa / lavarropa	18
Lavatorio	7,2
Máquina Lavaplatos	18
Fregadero de cocina	15

### Edificios residenciales

El dimensionado de la demanda de agua caliente en edificaciones residenciales colectivas debe seguir las consideraciones hechas anteriormente, pero se recomienda que la inclusión de un factor de simultaneidad (f) según el

número de departamentos. Este factor toma en consideración el hecho que no todos los departamentos estén ocupados, además de la gran flexibilidad con relación al número de habitantes en cada departamento y al hábito de consumo de agua caliente.

Tabla 4.5 - Factor de simultaneidad para habitaciones colectivas

Número de departamentos	Factor de simultaneidad
Menos de 10 departamentos	f = 1
Entre 10 y 15 departamentos	f=0,9
Entre 15 y 25 departamentos	f=0,8
Más de 25 departamentos	f=0,7

Fuente: Instituto Catalão de Energía

$$V_{\text{total}} = V_{\text{dpto}} \times f \quad (4.2)$$

Donde

V<sub>total</sub>: Consumo diario total de agua caliente (litros/día)

V<sub>dpto</sub> : Consumo diario de agua caliente por departamento (litros/día)

## 4.2. Demanda de Agua Caliente en Medios de Hospedaje

El dimensionado de la demanda diaria de agua caliente en medios de hospedaje debe evaluarse de la misma forma que en el sector residencial. Los principales puntos de utilización de agua caliente en medios de hospedaje son las duchas, cocina y lavandería.

El perfil de demanda de agua caliente varía según la comodidad ofrecida al huésped lo que está directamente vinculado al número de estrellas del medio de hospedaje. Además de esto, se debe considerar una importante magnitud que es el factor de ocupación de los medios de hospedaje que ocasiona grandes

variaciones estacionales de ocupación y consecuentemente de consumo de agua caliente.

De esta forma se recomienda dimensionar un sistema de calentamiento solar para medios de hospedaje que atiendan el promedio de consumo anual y no la demanda de pico que puede ser mucho mayor que el consumo medio anual.

La Tabla 4.6 muestra algunos números que pueden tomarse como referencia presentándose el consumo de agua caliente incluyéndose las necesidades de baño, cocina y lavandería.

*Tabla 4.6 - Consumo de agua caliente evaluado en el sector hotelero*

<b>Tipo de Establecimiento (en el de estrellas)</b>	<b>Consumo diario de Agua Caliente a 60°C por cuarto</b>
-	50 litros
1	70 litros
2-3	100–140 litros
4-5	160 litros

*Fuente: ADEME – Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Energie,[2002]*

## 4.3 Estudio de Casos: Comparación entre las diferentes formas de dimensionado

Una familia compuesta por 2 adultos y 2 adolescentes, vive en un departamento en que el calefón será sustituido/complementado por el calentador solar. Calcule la demanda diaria de agua caliente, considerándose un baño diario por persona que vive en el departamento con duración aproximada de 10 minutos.

### **Solución:**

De acuerdo a la Tabla 4.3, cada baño consume 72 litros por día (una ducha de diez minutos). Para los 4 habitantes de esa vivienda, la demanda diaria de agua caliente para baño es de 288 litros. Este criterio parte de la base que todos los días hay 40 minutos de ducha funcionando y ningún uso en el resto de las instalaciones, se podría tomar como criterio extremo.

De acuerdo a la Tabla 4.2, la demanda diaria es de 240 litros. Este valor es promedial y toma en cuenta criterios de simultaneidad de uso, no necesariamente las 4 duchas diarias serán de 10 minutos, puede pasar que algún día de la semana algún integrante de la familia utilice los servicios de un club

y por lo tanto no haga uso de su dotación de A.C.S. además en esta estimación e incluye uso de agua caliente en la cocina.

En el cálculo que se realice tendrá que ponderarse el criterio de observación, sensibilidad y buen sentido que se explicaban al principio del capítulo y la experiencia.

Además del volumen de agua caliente consumido es importante que se conozca el perfil de tal consumo. Por ejemplo, en los vestuarios de una determinada industria, el consumo de agua caliente estará intrínsecamente asociado al horario de cambio de turnos de sus empleados. Si en esa industria, hay cambio de turno a las 23:00h y a las 7:00h de la mañana, toda el agua usada en los baños deberá ser generada el día anterior y almacenado durante toda la noche.

En el sector residencial, los horarios de baño son muy variables dependiendo de los hábitos personales y aún el día de la semana.

### Ejemplo

A modo de ejemplo, se presenta a continuación la estimación del consumo de agua caliente para satisfacer el requerimiento correspondiente a una familia de nivel socioeconómico A en el que se han considerado los valores recomendados en las Tablas 4.2 y 4.3.

Destacamos que, las planillas automatizadas para este cálculo forman parte de este texto y son

suministradas con él en forma de archivos digitales bajo formato de la hoja de cálculo.

El relleno de las tablas a continuación auxilia el dimensionado de una instalación de calentamiento solar.

**Paso 2.1** – Según su experiencia, estime el número de personas que viven por residencia o edificación:

Clase Social	Número medio de personas que viven por residencia
A	4 personas + 1 empleado doméstico

**Obs.** Para ejemplificar el relleno de las planillas siguientes fue elegida la familia del Estudio de Caso 4.1.

**Paso 2.2** – A los efectos de un cálculo en el que sea difícil estimar caudales de consumo certeros, frecuencias de uso y otros parámetros que son imprescindibles en el cálculo grifo a grifo se puede tomar el parámetro la tabla 4.4, que establece:

Viviendas multifamiliares – 30 lts/p/día (fuente IDAE)

Tenemos 5 personas x 30 lts (ACS a 60°) = 150 lts

O se puede tomar el criterio de la tabla 4.1

Residencia/ Apto sistema indi-

vidual – 45 lts/p/día (fuente GREEN)

Tenemos 5 personas x 45 lts (ACS a 60°) = 225 lts.

**Paso 2.3** – Decisión de proyecto.

En esta etapa se puede realizar también un cálculo detallado de consumo con estimación de tiempos y frecuencias de uso de los distintos aparatos o pasar a la etapa siguiente. En este caso tomaremos la opción de 225 lts por tratarse de una vivienda de faja socio-económica A.

## 4.4 Demanda diaria de energía

La energía necesaria para calentar este volumen de agua al final del mes ( $L_{mes}$ ), cualquiera que sea la forma de calentamiento elegida es dada por la 1ª Ley de la Termodinámica en la forma:

$$L_{mes} = \rho \frac{V_{mes} c_p (T_{baño} - T_{amb})}{1000 \cdot 3600} [kWh/mes] \quad (4.1)$$

Donde:

$\rho$ : es la densidad del agua considerada igual a  $1000 \text{ kg/m}^3$

$V_{mes}$ : volumen de agua caliente requerido por mes, en litros

$c_p$ : calor específico del agua a presión constante igual a  $4,18 \text{ kJ/kg-C}$

$T_{baño}$  y  $T_{amb}$ : temperatura del agua caliente para baño y la temperatura ambiente, respectivamente.

*1000 y 3600: constantes de la ecuación 4.1 son utilizadas para conversión de unidades.*

## 4.5. Cálculo Simplificado del Área de Colectores

El área total de colectores solares necesaria para atender la demanda de energía estimada por la ecuación 4.1 es definida por las condiciones climáticas de instalación de los colectores en la obra, y seguro por las características operativas y de proyecto del modelo seleccionado.

Para un pre-dimensionamiento

rápido, el número de colectores y, consecuentemente, el área colectora total, puede ser determinada a partir de la siguiente estimación  $70 \text{ l/m}^2$  solo válida para colectores planos

El cálculo ajustado de la instalación se explica en el siguiente capítulo, Método de la Planilla -F, o Carta -F ( F-Chart de Duffie y Beckmann)

## Capítulo 5

### MÉTODO DE LA CARTA-F

Metodología de Cálculo Ábaco de  
Determinación de la Fracción Solar



# CARTA-F

Una pregunta muy frecuente hecha por las personas que pretenden sustituir el sistema de calentamiento eléctrico de agua por el sistema solar es: *Por fin, ¿cuál será el ahorro que tendré en mi cuenta mensual de energía eléctrica?*

El ahorro por lograr depende del estándar de consumo de cada residencia: hábitos de las personas que viven, electrodomésticos usados, frecuencia de su utilización y tarifas aplicadas por el proveedor de energía eléctrica.

Por ejemplo, una residencia de clase A donde se utiliza calentamiento eléctrico para agua caliente en duchas de elevado caudal, en baños de larga duración, en bañeras de hidromasaje, en la cocina y lavandería la cuenta de energía eléctrica al final del mes es muy elevada. Sin embargo ese valor también es proveniente del uso del aire acondicionado o calefacción en todos los dormitorios y salas, de hornos eléctricos y de microondas, de refrigeradores y congeladores de diferentes capacidades, etc. en este caso, aunque el consumo de agua caliente sea alto, el impacto en la cuenta mensual de energía

eléctrica proveniente del calentamiento solar podrá ser relativamente menor al logrado en una residencia de la clase D, que dispone sólo de una televisión y refrigerador pequeño y la participación de la ducha en la cuenta de energía es mucho más significativa que en el primer caso.

De una forma general, se puede afirmar que en la sustitución de sistemas convencionales por los de calentamiento de agua por energía solar, el ahorro logrado se hace cada vez más importante y decisivo.

Para la evaluación del ahorro de energía eléctrica lograda con la utilización del calentamiento solar en las condiciones específicas de cada obra, se utiliza internacionalmente, el Método de la Carta F. Este método evalúa la contribución de la energía solar en la demanda total de energía eléctrica para calentamiento de agua, conocida como *fracción solar*.

## 9.1. El Método de la Carta – F

Este método fue desarrollado por Beckmann y otros [1977] sobre la base de la compilación y

consolidación de los resultados de varias simulaciones matemáticas y evaluaciones de condiciones operativas reales de instalaciones de calentamiento solar. El método permite evaluar el desempeño térmico de esas instalaciones a mediano y largo plazo, a partir de la información obtenida en los temas anteriores, como:

- a) Curva de eficiencia térmica instantánea
- b) Factor de corrección del ángulo de incidencia -  $K_{ta}$
- c) Capacidad volumétrica del tanque térmico

La fracción solar  $f_i$  para un determinado mes del año es definida como la razón entre la

energía suministrada por el sistema de calentamiento solar ( $Q_{solar}$ ) y la demanda mensual de energía ( $L_i$ ), y es calculada mediante la ecuación 4.1, es decir:

$$F_i = \frac{Q_{solar}}{L_i} \quad (5.1)$$

Beckmann y otros [1977] propusieron dos parámetros adimensionales y empíricos X e Y, a saber:

$$X = \frac{A_C F_R U_L (T_{REF} - T_{amb}) \Delta t_i}{L_i} \quad (5.2)$$

$$Y = \frac{A_C F_R (t_c a_p \theta) H_T N}{L_i} \quad (5.3)$$

Donde cada magnitud es definida en el cuadro que sigue a continuación:

Tabla 5.1 – definición de magnitudes para el método de la carta F.

Magnitud	Definición	Unidad (SI)
$A_C$	Área total de colectores solares	$^{\circ}\text{C}$
$F_R U_L$	Producto del factor de remoción y coeficiente global de pérdidas térmicas del colector solar correspondiente a la pendiente de la curva de eficiencia térmica instantánea	$\text{W} / \text{m}^2\text{C}$
$T_{\text{REF}}$	Temperatura de referencia considerada constante e igual a $100\text{-C}$	$^{\circ}\text{C}$
$T_{\text{amb}}$	Temperatura ambiente media para el mes en cuestión	$^{\circ}\text{C}$
$\Delta t$	Duración del mes	Segundos
$L_i$	Demanda total de energía para calentamiento del volumen de agua (V), calculada por la ecuación 4.1	Joule
$F_R (\tau_c \alpha_p)_e$	Producto del factor de remoción, transmisividad del vidrio y absorptividad de la pintura de los colectores para ángulo mediano de incidencia de la radiación directa **	$\text{W} / \text{m}^2\text{C}$
$H_T$	Radiación solar diaria en promedio mensual incidente en el plan de colector por unidad de área	$\text{J}/\text{m}^2$
$N_i$	Número de días del mes	días

\*\* Duffie y Beckman [1991] recomiendan cuando esa información no estuviere disponible, adoptar el valor de  $0,96 * F_R (t_c \alpha_p)_e$ , es decir, 96% del valor medido experimentalmente.

Evaluándose cuidadosamente las ecuaciones 5.1 y 5.2, se constata que el parámetro X está relacionado a las pérdidas térmicas del colector solar, mientras el parámetro Y depende de la energía solar absorbida por la placa. Por lo tanto, se concluye que en el dimensionado de una instalación de calentamiento solar se debe buscar valores de X cada vez menores, mientras los valores de Y siempre deben ser maximizados.

La determinación de la fracción solar F puede hacerse por el ábaco de la figura 5.1, presentada a continuación, o de la siguiente ecuación empírica, propuesta por Klein:

$$f = 1.029Y - 0.065X - 0.245Y^2 + 0.0018X^2 + 0.0215Y^3$$

La ecuación 5.4 puede representarse gráficamente en la forma:

La adopción de este modelo debe considerar las condiciones anotadas a continuación, citadas por Duffie y Beckmann

$0,6 < FR (\tau\alpha_p)n < 0,9$
$5 < F_{RA}C < 120 \text{ m}^2$
$2,1 < U_L < 8,3 \text{ W/m}^2\text{°C}$
$30 < \beta < 90^\circ$
$83 < (UA)h < 667 \text{ W/°C}$

Tabla 9.2 - Rango de Parámetros de Proyectos Usados en el Desarrollo de la Carta - F

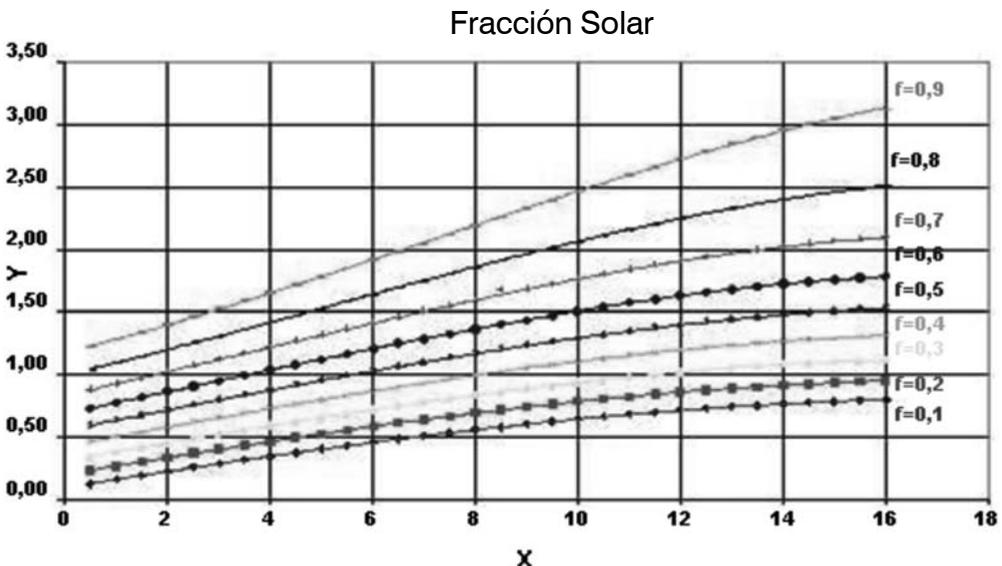


Figura 9.1 - Ábaco para Determinación de la Fracción Solar - F

Factor de Corrección  $X_{c1}$ 

El Modelo de la Carta- $F$  fue desarrollado considerándose una relación de 75 litros de agua caliente almacenada por  $m^2$  de área colectora. Sin embargo, para determinados proyectos y condiciones operativas esta relación puede variar. Así entonces

colectores más eficientes podrán tener valores mas altos, proyectos que pretendan satisfacer necesidades de ACS solo en invierno tendrán valores mas bajos.

Para estos casos, Duffie y Beckman [1991] propusieron corregir el valor adimensional  $X$ , aplicando la siguiente ecuación:

$$X_{c1} = X \left[ \frac{\text{relación volumen / área}}{75 \text{ l/m}^2} \right]^{-0,25} \quad (5.5)$$

Factor de Corrección  $X_{c2}$ 

Las fórmulas vistas anteriormente son validas para una temperatura de referencia de  $100^\circ$ .

Como las mismas la mayoría de las veces son menores en los proyectos de ACS se hace necesario realizar la siguiente corrección al valor adimensional  $X$ .

$$X_{c2} = X_{c1} \left[ \frac{11,6 + 3,86T_{red} + 1,18T_{f, \min} - 2,32T_{amb}}{100 - T_{amb}} \right] \quad (5.6)$$

En donde:

$T_{red}$ : temperatura en la cual el agua es admitida de la red pública;

$T_{f, \min}$ : temperatura mínima deseable de agua caliente.

Así, la ecuación 5.4 debe recalcularse para incluir las dos correcciones propuestas.

## Fracción Solar Anual F

La fracción solar anual F está definida como la razón entre la suma de las contribuciones mensuales del

calentamiento solar y la demanda anual de energía que sería necesaria para proveer el mismo nivel de comodidad. Es dada por la ecuación:

$$F = \frac{\sum_{i=1}^{12} f_i L_i}{\sum_{i=1}^{12} L_i}$$

## Planilla de Simulación – Carta F

## Estudio caso 5.1:

Aplicación del método de la CARTA-F, para el cálculo del aporte solar o fracción solar.

DATOS DE LA OBRA	
LOCALIDAD	<b>CARRASCO</b>
INCLINACION EN GRADOS	35
ORIENTACIÓN DEL COLECTOR	0
DATOS DE LA INSTALACIÓN	
<b>TANQUE DE RESERVA DE ACS</b>	
Modelo	<b>EJEMPLO</b>
DEMANDA DE ACS	15200,0
VOLUMEN DEL TANQUE DE RESERVA DE ACS	14000
TEMPERATURA DE ALMACENAMIENTO	52,9

El hotel del ejemplo está ubicado en Montevideo, y se supone una orientación de paneles exactamente al norte por lo tanto en orientación de colector se indica  $0^\circ$

En los datos de la instalación se observan celdas pintadas de azul

y otras de amarillo, los datos deben ingresarse en las amarillas. Por lo tanto para determinar el volumen necesario de ACS pasaremos a la pestaña “demanda de ACS” en la parte correspondiente a “hotel 3 estrellas”

#### hoteles 3 estrellas

dotación de ACS	cantidad de camas	% ocupación	consumo diario de ACS
80,00	200,00	95%	15200,00

Allí ingresando dotación de agua (la planilla está precargada con las recomendaciones de I D A E) la cantidad de camas y el porcentaje de ocupación estimado se obtiene

el cálculo de ACS.

En la pestaña “datos radiación y clima” ingresamos los datos del lugar (precargado datos de clima de mvdo)

#### Datos de entrada

$\phi$ (Latitud)	-34,8
$\beta$ (Inclinación)	35
$\gamma$ (Azimutal Sup)	-180
Altitud [km]	0,032
Emitancia de superficie	0,20

El paso siguiente será cargar la información relativa a temperaturas de funcionamiento y de cálculo del sistema. Para ello entraremos a la pestaña “Instalación y cálculos” para ingresar la

temperatura de cálculo que se usará en la fórmula de fracción solar y la temperatura de uso del ACS del sistema para cálculo de tanque de reserva de ACS.

#### DATOS DE ENTRADA

<b>VOLUMEN DEL TANQUE DE AGUA CALIENTE</b>	15200
Temperatura baño	40
Temperatura de calculo	40
Área colectora	10
FrUL	0,9
Fr ( $\tau\alpha$ )	

Supongamos una temperatura de calculo y de baño iguales, lo que resta ahora es dimensionar cantidad de paneles características técnicas etc.

A estos efectos hay que tener en cuenta las condiciones de cálculo de la validéz del modelo como la inclinación entre 30 y 60°, los valores

de los colectores relación entre sup captadora/litros de agua entre otros.

Para el ejemplo se dimensionó el sistema con 56 colectores de 1.42m2 cada uno y se obtiene una fracción solar media de 38.9, o sea el sistema solar producirá el 38.9% de la energía necesaria para calentar agua

DATOS DE LA OBRA		Criterios de Desempeño
LOCALIDAD	CARRASCO	FRACCIÓN SOLAR <b>38,9</b>
INCLINACION EN GRADOS	35	
ORIENTACIÓN DEL COLECTOR	0	
DATOS DE LA INSTALACIÓN		
<i>TANQUE DE RESERVA DE ACS</i>		
Modelo	<b>EJEMPLO</b>	
DEMANDA DE ACS	15200,0	
VOLUMEN DEL TANQUE DE RESERVA DE ACS	9000	
TEMPERATURA DE ALMACENAMIENTO	56,2	RADIACIÓN SOLAR EN Plano Inclinado (MJ/m2/año) <b>6154,73</b>
DATOS DEL COLECTOR		
Modelo	<b>a</b>	
AREA DEL COLECTOR	1,42	Radiación solar en plano Inclinado (kWh/m2/año) <b>1709,65</b>
FrUL	5,36	
Fr(ta)	0,653	
CANTIDAD DE COLECTORES	56	
TOTAL DE ÁREA COLECTORA	79,52	
RELACIÓN VOLUMEN/AREA Lts/m2	113,1790744	

## Capítulo 6

# INSTALACIONES DE PEQUEÑO PORTE

Termosifón  
Principios de Funcionamiento  
Desafíos y Soluciones de Instalación  
Circulación Forzada



# 6.1 CIRCULACIÓN NATURAL (TERMOSIFÓN)

## INTRODUCCIÓN

Se estima que, al menos, el 90% de los sistemas de calentamiento solar instalados en los diferentes países de la región, son sistemas de circulación natural o termosifón, que ofrecen al consumidor bajo costo, eficiencia y confiabilidad. Como ya fue dicho anteriormente, con relación a la circulación del agua, vale recordar que, dividimos los sistemas de calentamiento solar en dos categorías. En los sistemas forzados, una motobomba es responsable de la circulación del agua, que sale del tanque de almacenamiento (TA), pasa por los colectores y vuelve al tanque. Y en los sistemas por termosifón esa circulación ocurre de manera natural.

Además de eso, un sistema operando con base en el principio del termosifón puede ser del tipo integrado acoplado (o compacto) o convencional.

En un sistema integrado el

tanque y el colector constituyen la misma pieza, como se aprecia en la figura 6.1, en la mayoría de las veces ellos son formados por tubos pintados de negro y colocados en una caja con aislamiento térmico y una cubierta transparente. El mayor problema de los sistemas integrados es que buena parte de la energía captada durante el día es perdida en la noche. La figura 6.2 presenta otros modelos de sistemas integrados, incluso un modelo para camping (derecha).



Figura 6.1 – SCAES del tipo integrado, el pequeño tanque en su cabecera mantiene el nivel y lo conecta con el suministro de la red.



(Fuente: laboratorio GREEN PUC Minas; Bello Horizonte-Brasil)



(Fuente: archivo técnico del CER-UNI; Lima-Perú)  
 Figura 6.2 – Sistemas integrados de calentamiento solar.

Los sistemas integrados sufren elevada pérdida de calor en la noche, y por causa de ello fue desarrollado el sistema convencional con la separación entre colectores y tanques. La Figura 6.3 muestra un diseño retirado de la primera patente norteamericana con esa configuración, de 1910, donde se puede observar distintamente el tanque de almacenamiento y el colector.

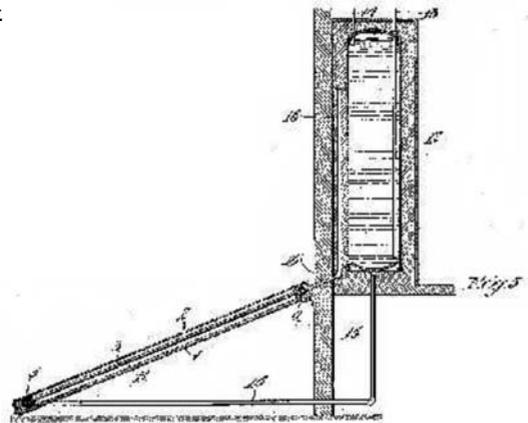
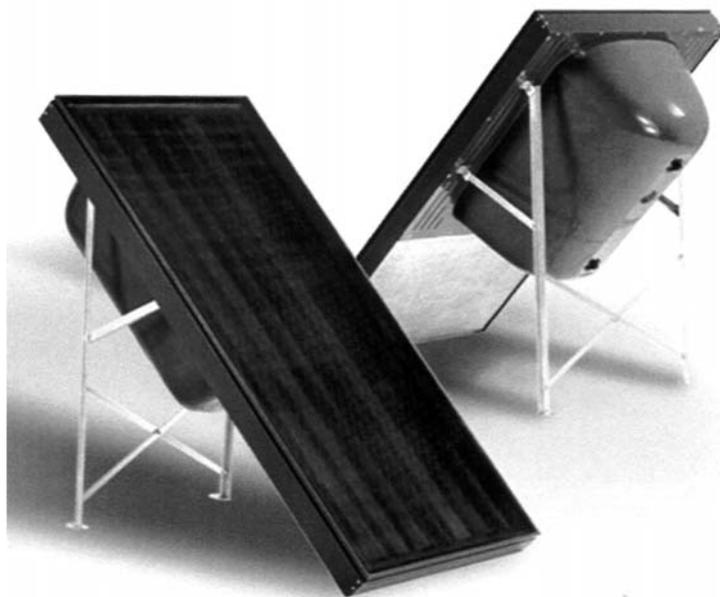


Figura 6.3. Sistema "Night and Day" patentado en 1910 por el norteamericano William Bailey. Ese fue el primer sistema con la configuración convencional de tanque y colectores separados.

Desde entonces, esa ha sido la configuración básica de los sistemas de calentamiento solar por termosifón. Una pequeña variación de esos sistemas dio origen a lo que llamamos de sistemas compactos o acoplados. En ese caso, a pesar de existir la separación

física entre tanque y colectores, los componentes quedan muy cercanos y muchas veces son comercializados como un paquete o “monobloque”. La figura 6.4 muestra algunos ejemplos de sistemas compactos.



**Figura 6.4** – Sistemas de calentamiento solar compactos (o acoplados).

El presente capítulo no detalla la instalación de sistemas compactos o acoplados, ya que el procedimiento se trata de una simplificación que será presentada con los sistemas convencionales.

A pesar que las instalaciones solares de tamaño pequeño que funcionan por termosifón son relativamente simples, existen algunas complicaciones. Primero, difícilmente un equipo de ingeniería estará involucrado en el proyecto y ejecución de la instalación. Normalmente o un técnico (que puede ser el propio instalador) o el vendedor será el responsable del levantamiento de datos y definición

de parámetros en relación a la instalación, como dimensionado y posicionamiento de los componentes. Segundo, en el momento de realizar la instalación, más cuidados deben observarse en el termosifón que en una instalación con bomba. Pero si fuese instalado de modo apropiado el sistema termosifón es prácticamente inmune a fallas de circulación.

Así, queda claro que, el entrenamiento y la capacitación de esos profesionales son muy importantes para el éxito de las instalaciones en cuanto a la adquisición de un buen calentador solar.

Debe tenerse mucho mas cuidado en la instalación de un kit solar que funcione por termosifón que con uno que funcione por bombas.

El sistema termosifón es prácticamente inmune a las fallas de circulación, si está bien instalado.

## 6.1.1. Principios de Funcionamiento

A pesar de parecer como mágica la forma como el sistema naturalmente promueve la circulación del agua, el principio del termosifón es muy simple. Todo empieza con el cambio de la densidad del agua que ocurre cuando hay una variación en su temperatura. Para temperaturas mayores que 4°C, a medida que la temperatura del agua sube, su densidad disminuye, tal como se muestra en la figura 6.5.

Temperatura (°C)	$\rho$ (kg / m <sup>3</sup> )
4	1000
10	1000
20	998
30	995
40	992
50	988
60	983
70	978
80	972

Figura 6.5. Variación de la densidad del agua con relación al aumento de la temperatura

Ello quiere decir que, a medida que el agua es calentada, ella queda más “ligera” con relación al agua más fría. Por ello, en un

tanque de almacenamiento, el agua caliente siempre está en la parte más alta. En la verdad, el agua caliente está flotando sobre el agua más fría, como también un flotador lleno de aire lo hace sobre el agua porque el aire dentro de él es menos denso que el agua.

Ahora vamos a imaginar una instalación hidráulica como la de la figura 6.6.

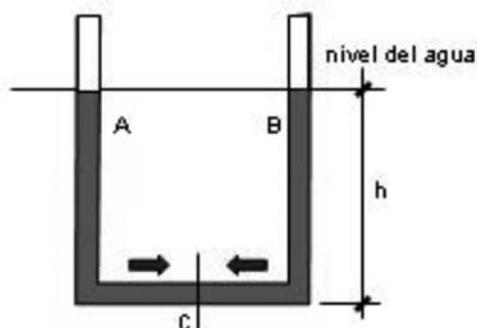


Figura 6.6 – Instalación hidráulica en “U” con columnas a la misma temperatura.

La presión ejercida por las columnas de agua **A** y **B**, que están paradas sobre el punto **C** se llama de presión estática. La fórmula para la presión estática manométrica<sup>1</sup> dice que la presión ejercida es igual a la aceleración de la gravedad multiplicada por la densidad del

<sup>1</sup> La presión manométrica es la presión ejercida por la columna descontándose la presión atmosférica. Si tomamos en cuenta la presión atmosférica, tenemos la llamada presión absoluta.

fluido (en el caso, agua) y por la altura de la columna, es decir:

$$P = \rho \times g \times h \quad (6.1)$$

Donde:

P: es la presión manométrica estática en pascales

$\rho$ : es la densidad del fluido en kg/m<sup>3</sup>

g: es la aceleración de la gravedad (aproximadamente 9,8 m/s<sup>2</sup>)

h: es altura de la columna en metros.

Si entonces consideramos las presiones ejercidas por las columnas **A** y **B**, podemos ver que ellas son iguales, pues las densidades son las mismas y la altura **h** también es la misma. En esas condiciones las dos columnas siguen en equilibrio y con la misma altura.

Vamos a imaginar ahora que empezamos a proveer energía para la columna **A**, como se muestra en la figura 6.7

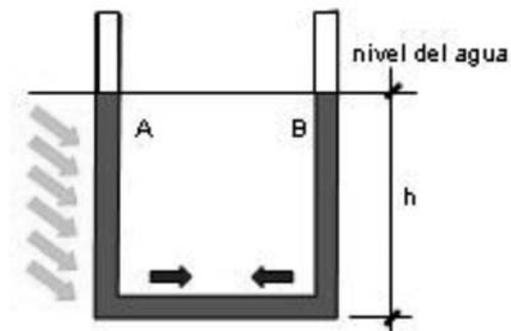


Figura 6.7 – Columna **A** recibiendo energía para calentamiento.

El agua en el interior de la columna **A** empezará a calentarse. Pero, como se puede notar en el gráfico de la Figura 6.6, si el agua está más caliente su densidad disminuye. Al observar la ecuación 6.1, se nota que al disminuir la densidad del agua, se reduce la presión que la columna ejerce. Ello quiere decir que la disminución de la densidad lleva a una reducción de la presión de la columna **A**. Como la temperatura de la columna **B** no cambió, surge una diferencia de presión.

La columna **A** ahora ejerce menor presión y así es empujada por la columna **B**, hasta que una nueva situación de equilibrio sea establecida (Figura 6.8).

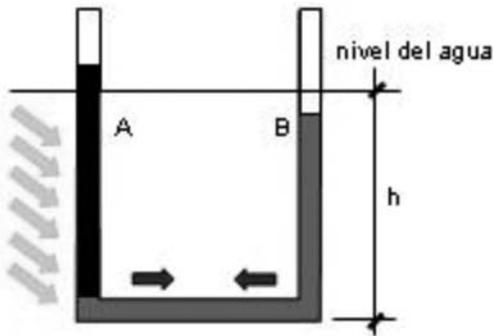


Figura 6.8. Diferencia de altura en las columnas generada por el calentamiento de la columna A.

Si ahora incluimos un tanque y hacemos un circuito cerrado como en la Figura 6.9, el efecto causará un flujo continuo del agua en el sentido del tanque a la columna **B** y después a la columna **A**, donde el agua es calentada y empujada de vuelta al tanque. Es exactamente así que funciona un calentador solar por termosifón.

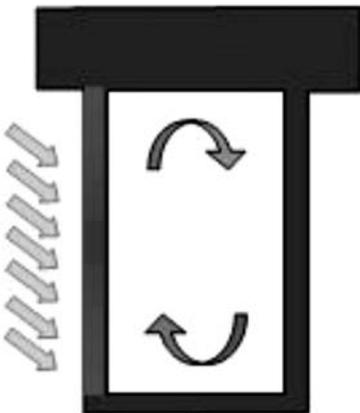


Figura 6.9. Circulación por termosifón en un circuito cerrado

El efecto termosifón en circuitos hidráulicos no es usado sólo por sistemas de calentamiento solar. Existen muchas otras aplicaciones en la ingeniería térmica que se valen de esa diferencia de densidad para generar la circulación del fluido en el transporte de calor. Por ejemplo, los sistemas de enfriamiento de reactores nucleares utilizan ese mismo fenómeno para evitar su sobrecalentamiento. Otro ejemplo ocurre en los calentadores de agua por leña, también llamados de “serpentina”. En ese caso, el agua caliente dentro de la serpentina en el fogón a leña fluye a un tanque que queda arriba del fogón.

Visto el principio básico de funcionamiento, se puede entonces realizar algunos cálculos básicos para mejor comprensión del fenómeno aplicado a los sistemas de calentamiento solar. Imagine que tenemos un sistema como el de la Figura 6.10.

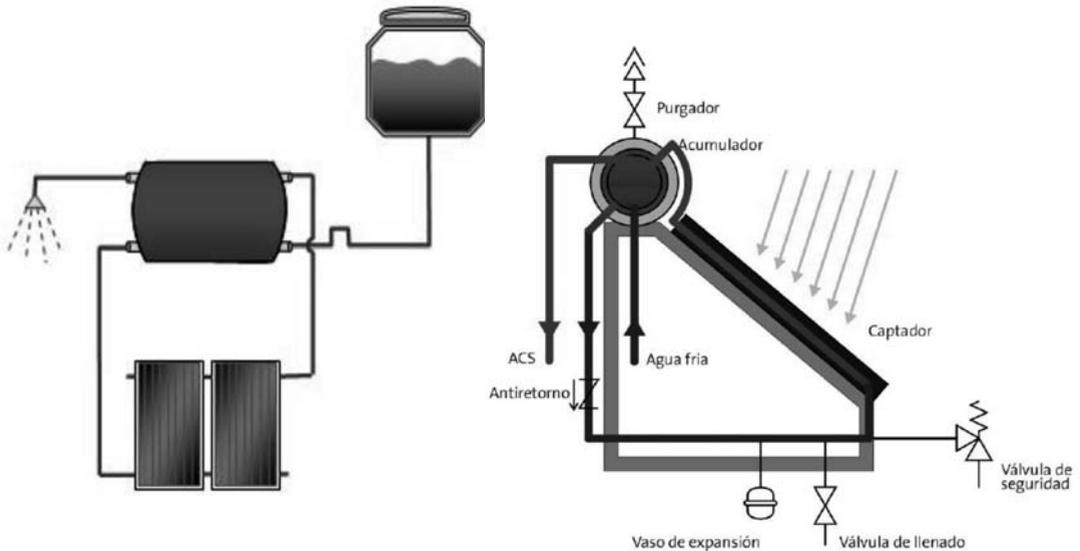


Figura 6.10. Sistema de calentamiento solar operando en circuito por termosifón.

Imagine que toda el agua en el tanque y en la tubería del tramo 1 está a 20°C y que el agua en el tramo 2 y en los colectores está a 60°C. Podemos ver que aquí tenemos de nuevo las columnas **A** y **B**. Usando la ecuación 6.1 y sabiendo que la altura **h** es igual a 2,0 metros y la aceleración de la gravedad es igual aproximadamente a 9,8 m/s<sup>2</sup>, podemos calcular la presión

manométrica ejercida por cada columna en el punto más bajo del sistema (C). Falta saber la densidad del agua a 20°C y a 60°C. Mirando en el gráfico de la Figura 6.5 podemos ver que las densidades valen aproximadamente 998 y 983 kg/m<sup>3</sup>, respectivamente, para el agua a 20°C y a 60°C.

Entonces tenemos:

**COLUMNA A** (agua caliente)

$$P_{\text{caliente}} = \rho \times g \times h = 983 \times 9,8 \times 2 = 19.267 \text{ Pa}$$

**COLUMNA B** (agua fría)

$$P_{\text{fría}} = \rho \times g \times h = 998 \times 9,8 \times 2 = 19.561 \text{ Pa}$$

La diferencia de presión entonces es igual a

$$19.561 - 19.267 = 294 \text{ Pa}$$

Ello es el equivalente a cerca de 30 mm<sup>(2)</sup> de columna de agua. Eso mismo, milímetros! Es decir, una pequeña motobomba puede producir fácilmente 2 ó 3 metros de columna de agua de presión manométrica, o cerca de 100 veces el valor que encontramos. Se puede

concluir entonces que, la fuerza motriz del termosifón es pequeña. Pequeña, pero suficiente para promover una buena circulación en un sistema bien instalado. Para ello, basta respetar las limitaciones y desafíos del termosifón.

### Estudio de Caso 6.1.

Un instalador desea incrementar la fuerza que la columna de agua fría ejerce en la circulación de un sistema termosifón. Para ello, el propone el aumento de la columna de agua fría en 1,0 m. Llamaremos esa extensión de la

columna de h<sub>1</sub>. ¿Cuál es el efecto del aumento en la fuerza motriz del termosifón?

Al principio, se fija un punto, aquí denominado "C" en la parte más baja del sistema.

La presión ejercida por la columna de agua fría es:

$$P_f = \rho_f \times g \times h + \rho_f \times g \times h_1 = \rho_f \times g \times (h + h_1)$$

La presión ejercida por la columna del lado del agua caliente es:

$$P_q = \rho_q \times g \times h + \rho_f \times g \times h_1$$

La diferencia de presión será:

$$P_f - P_q = (\rho_f \times g \times h + \rho_f \times g \times h_1) - (\rho_q \times g \times h + \rho_f \times g \times h_1)$$

$$P_f - P_q = \rho_f \times g \times h - \rho_q \times g \times h$$

Como se puede notar, esa alternativa no resulta en el aumento

de la fuerza motriz del termosifón.

La fuerza motriz de un termosifón proviene de la diferencia de temperaturas, para mantener en el circuito una temperatura adecuada de funcionamiento eficaz se recomienda utilizar para paneles de hasta 8m<sup>2</sup> tubos de 3/4" de diámetro interior.

<sup>2</sup> 1 mm H<sub>2</sub>O ( a 20° C) es igual a aproximadamente 9,78 pascales 1kg/cm<sup>2</sup> es aproximadamente 10.33m.c.a.

## 6.1.2. Los tres desafíos del termosifón

### a) Pérdida de Carga en el Sistema

Ya fue demostrado que la fuerza motriz del termosifón es pequeña. Ello quiere decir que, si desea un flujo de agua adecuado durante un día normal y operación del sistema, no se puede usar tubos de diámetro muy pequeño, ni

tramos de tubería muy largos y/o con exceso de curvas y conexiones. *Normalmente se usan tubos de 22 mm (3/4") en instalaciones de hasta 8 m<sup>2</sup> y 28 mm para instalaciones arriba de ello, hasta un límite de 12 m<sup>2</sup>.*

**Esa regla se refiere a la tubería del sistema de calentamiento solar y no de la tubería de distribución de agua caliente en la casa.**

#### Más atención:

Arriba de 12 m<sup>2</sup>, la solución es dividir el sistema en dos ó más sistemas separados. Pero es claro que, si el sistema es muy grande, digamos con 400 m<sup>2</sup>, no se debe instalar un gran número de pequeños sistemas. Lo mejor en ese caso es hacer una única instalación con bomba.

No existe una fórmula mágica para el dimensionado de la tubería de un sistema termosifón, pues el sistema aún tendrá flujo de agua aunque la pérdida de presión (pérdida de carga) en la tubería sea

alta. La diferencia es que el termosifón pasa a operar a temperaturas cada vez más altas para compensar la pérdida de presión. Ello porque la única forma de que el sistema incremente su fuerza motriz es incrementando la temperatura del agua en el colector, lo que aumenta la diferencia de densidad entre el agua fría y el agua caliente, y por consecuencia, incrementa la fuerza motriz. Pero la eficiencia de los colectores y de todo el sistema baja con el aumento de la temperatura. Un sistema operando normalmente trabaja con una diferencia de temperatura de cerca de 10 a 15°C entre la entrada

y salida de los colectores. Diferencias de temperaturas de hasta 20°C no presentan grandes problemas en la eficiencia del sistema, pero arriba de ello ya empieza a existir considerable perjuicio. ***Si la diferencia de temperatura en la entrada y en la salida del colector fuere 35°C ó mayor, se puede concluir que existe un problema de circulación en el sistema.***

Un síntoma de ese tipo de problema es un sistema que, al final del día, sin que el agua haya sido usada durante el período, presenta una pequeña cantidad de agua muy caliente en el tope del TA mientras el resto es agua fría. Ello quiere decir que en el sistema circula poca agua a una temperatura muy alta. Y ello ocurre por causa de uno o más de los siguientes motivos: el diámetro de la tubería es muy pequeño, hay muchas curvas en la interconexión colectores / tanque de almacenamiento, los tramos rectos son muy largos, hay algún bloqueo en la tubería.

Para evitar esos problemas, se debe seguir algunas reglas prácticas en el dimensionado de las tuberías. Para ello se puede usar el concepto de “longitud equivalente de tubería”. La idea es calcular las conexiones como equivalentes de tramos de tubos rectos. En el anexo

La diferencia de temperatura entre la entrada y salida del colector es indicador del funcionamiento adecuado, si la misma es mayor a 35° podemos decir que hay un problema.

4 de este manual se presenta una tabla con las longitudes equivalentes para tuberías de diferentes diámetros (En el termosifón normalmente se utilizan tubos de 22mm y 28mm)

En la tabla, se puede observar que, un codo de 90° y 22 mm tiene una longitud equivalente a 1,2 metro, ello quiere decir que, esa conexión produce la misma pérdida de carga que un tramo recto con 1,2 m de largo. Así, “se convierten” las conexiones en tramos rectos.

## Estudio de Caso 6.2.

### *Cálculo de longitud equivalente*

En una instalación, se desea calcular el longitud equivalente de las conexiones y la longitud equivalente total. Las conexiones son las

siguientes: 4 codos de 90° /22 mm, 2 codos de 45°/22 mm, 2 válvulas esclusas abiertas/22 mm y 15 metros de tubos rectos/22 mm

Observándose la tabla 6.1, se puede calcular:

Pieza	Cantidad	Longitud equivalente p/ pieza	Longitud equivalente total
Codo 90°	4	1,2	4,8
Codo 45°	2	0,5	1
Válvula esclusa	2	0,2	0,4
Tramos rectos	15 m	1	15

Se concluye entonces que, la longitud equivalente en tramos rectos de tubos de 22 mm de esa instalación sería 21,2 m.

Falta saber cual sería el máximo recomendado en términos de longitud equivalente para diferentes instalaciones. Las Tablas 6.2 y 6.3 muestran esos valores máximos recomendados, según el volumen por calentarse diariamente y también la altura entre el tope de los colectores y el fondo del tanque (que llamaremos de ahora en adelante sólo de distancia tope/fondo). Esas tablas fueron desarrolladas basadas en colectores con inclinación de 18° y

datos para la ciudad de São Paulo (SP). Se adoptó un máximo general de 25 metros de longitud equivalente, pues en sistemas con tuberías muy largas la eficiencia será perjudicada por causa de pérdidas de calor en la tubería, aunque haya un buen flujo de agua. Por regla, debería haber una recomendación diferente para cada lugar, pues la circulación promovida por el termosifón depende de la cantidad de radiación solar disponible y otras condiciones climáticas. Sin embargo, es fácil notar que ello no sería nada práctico. Es posible que un sistema atienda las necesidades de agua caliente, aunque esté instalado fuera de las recomendaciones

presentadas. La diferencia es que la eficiencia del sistema puede terminar extremadamente perjudicada, y lo que está siendo hecho con 6 m<sup>2</sup>, por ejemplo, podría hacerse con sólo 4 m<sup>2</sup>.

Volumen Diario De Agua Caliente (litros)	Distancia Tope / Fondo (metros)									
	0.1		0.2		0.3		0.4		0.5	
	Diámetro de la tubería de interconexión (mm)									
	22	28	22	28	22	28	22	28	22	28
Largo Máx. Equivalente en la Interconexión RT/COLECTORES/RT (metros)										
200	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25
300	24	25	25	25	25	25	25	25	25	25
400	17	25	20	25	23	25	25	25	25	25
500	13	25	15	25	18	25	20	25	22	25
600	10	25	12	25	14	25	16	25	18	25
700	NR	25	10	25	12	25	13	25	15	25
800	NR	19	NR	22	NR	25	11	25	12	25
1000	NR	11	NR	14	NR	17	NR	20	NR	23

Tabla 6.2. Largos Equivalentes Máximos para Instalaciones con Colectores de 2 m x 1 m.

Volumen Diario De Agua Caliente (litros)	Distancia Tope / Fondo (metros)									
	0.1		0.2		0.3		0.4		0.5	
	Diámetro de la tubería de interconexión (mm)									
	22	28	22	28	22	28	22	28	22	28
Largo Máx. Equivalente en la Interconexión RT/COLECTORES/RT (metros)										
200	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25
300	19	25	22	25	25	25	25	25	25	25
400	14	25	16	25	19	25	22	25	24	25
500	10	25	12	25	15	25	17	25	19	25
600	NR	22	NR	25	12	25	13	25	15	25
700	NR	17	NR	21	NR	25	11	25	12	25
800	NR	13	NR	17	NR	20	11	24	10	25
1000	NR	NR	NR	10	NR	13	NR	16	NR	19

Tabla 6.3. Largos Equivalentes Máximos para Instalaciones con Colectores de 1 m x 1 m.

- Las tablas anteriores fueron desarrolladas para sistemas con aislamiento térmico mínimo de 10 mm de polietileno expandido en la tubería.

- Los largos no son largos reales y sí largos equivalentes.

- NR = no recomendado.

Por ejemplo, un sistema de 500 litros con distancia tope / fondo de 10 cm y operando con colectores 2 x 1, debe tener un longitud equivalente máximo total de 13 metros en tubos 22mm. Una instalación, aún en condiciones favorables, tendría por lo menos, 2 codos de 90º, dos codos de 45º y dos válvulas esféricas abiertas. Sólo ahí tendríamos un longitud equivalente de 3,9 m para 22 mm.

Nos queda entonces, un largo máximo de 9,1 metros para los tramos rectos. Seguramente es posible hacer esa instalación, a no ser que la distancia entre los colectores y el TA sea muy grande.

### **Estudio de Caso 6.3.**

#### **Uso de tramos de 22 y 28 mm para reducción de pérdida de carga**

Una instalación tiene 16 metros de tramos rectos, 4 codos de 90º, 4 codos de 45º y dos válvulas esféricas. Y todas las piezas tienen 22 mm. Con miedo de que la pérdida de carga total sea excesiva,

Y vale recordar también que, el uso de muchos codos para desviar de piezas del tejado o pilares, o simplemente porque el instalador hace un trabajo malhecho, rápidamente reduce el largo de tramos rectos que “sobran”, pues cada codo de 90º usa 1,2 m del total permitido.

Por último, es importante observar que podemos cambiar tramos de 22 mm por 28 mm para reducir la pérdida de carga total. Para un mismo caudal, en régimen turbulento, un tubo de 28 mm lleva a una pérdida de carga cerca de 3,0 veces menor que un tubo de 22 mm. Así, si los colectores no pudieran estar más cerca del TA, y si la longitud equivalente total fuera muy alta, se puede usar ese artificio. Pero es necesario contar las conexiones de 28 mm apropiadamente, según la tabla 6.1. Tras sumar las conexiones y tramos rectos de 28 mm, se divide el valor final por 3,0 para “convertir” el resultado a 22 mm. Veamos un ejemplo.

el proyectista decide cambiar la tubería de alimentación entre el TA y las placas por tubos y conexiones de 28 mm. ¿Cuál sería el longitud equivalente final en tubos de 22 mm considerándose que el tramo de

alimentación tiene 9 m de tubos rectos, 2 codos de 90°, 2 codos de 45° y una válvula?

Primero, se calcula el longitud equivalente antes del cambio a tubos de 28 mm.

Pieza	Cantidad	Longitud equivalente p/ pieza	Longitud equivalente total
Codo 90°	4	1,2	4,8
Codo 45°	2	0,5	1
Válvula esclusa	2	0,2	0,4
Tramos rectos	16 m	1	16

Si se utilizaran solamente piezas de 22 mm, se tendría una longitud equivalente de tubos rectos de 22 mm igual a 23,2 m.

A continuación, se calcula la longitud equivalente del tramo de alimentación que queremos convertir a 28 mm.

Pieza	Cantidad	Longitud equivalente p/ pieza	Longitud equivalente total
Codo 90°	2	1,5	3
Codo 45°	2	0,7	1,4
Válvula esclusa	1	0,3	0,3
Tramos rectos	9 m	1	9

La longitud equivalente en 28 mm de esa parte sería entonces de

13,7 m. Y para convertir ese valor a 22 mm, tenemos:

$$\frac{13,7}{3,0} = 4,6 \text{ m de longitud equivalente de 22 mm.}$$

Ahora, se suma lo que sobró de piezas de 22 mm, es decir, el retorno de los colectores al TA.

Pieza	Cantidad	Longitud equivalente p/ pieza	Longitud equivalente total
Codo 90°	4	1,2	4,8
Codo 45°	2	0,5	1
Válvula esclusa	2	0,2	0,4
Tramos rectos	16 m	1	16

El total del tramo en 22 mm ahora es de 10,6 m. Sumando ese número a los tramos de 28 mm (ya convertidos en equivalentes de 22 mm), se tiene un total general de  $10,6 + 4,6 = 15,2$  m. Ese valor es bien menor que los 23,2 m que sólo los tubos y conexiones de 22 mm fuesen utilizados.

Pero atención: la técnica de usar tramos de 28 mm en el lugar de tubos de 22 mm es válida siempre y cuando se observen dos requisitos importantes:

- lo ideal es realizar el cambio dando preferencia a la tubería de alimentación de los colectores, donde el agua está más fría. Ello porque los tubos de 28 mm pierden más calor que los tubos de 22 mm;

- en la tubería de 28 mm el aislamiento térmico, que ya es muy importante en la tubería de 22 mm, es aún más importante. Si la instalación quedara sin el aislamiento, es probable que los

beneficios sean “anulados”, debido a la pérdida de calor en la tubería

### **b. Sifones y Acumulación de Aire en la Tubería**

Además de no poder tener una longitud equivalente muy alta, el termosifón tampoco puede tener puntos donde aire y/o vapor de agua puedan quedar atrapados, pues el sistema no tiene fuerza para empujar burbujas, que pueden crecer a punto de interrumpir la circulación dentro de los tubos. Eso explica por qué algunas veces la instalación funciona por algunos días y después se para. En esos casos, lo más común es llamar al instalador para que realice el mantenimiento. Él llega, retira el aire del sistema y por algunos días todo funciona perfectamente, ¡Hasta que la instalación vuelva a “trabarse”! Ello ocurre porque la burbuja se forma lentamente, hasta crecer lo suficiente para interrumpir completamente el flujo. La única solución en ese caso es eliminar el

punto de acumulación de burbujas, como en la figura 6.11. que muchas veces no es tan visible

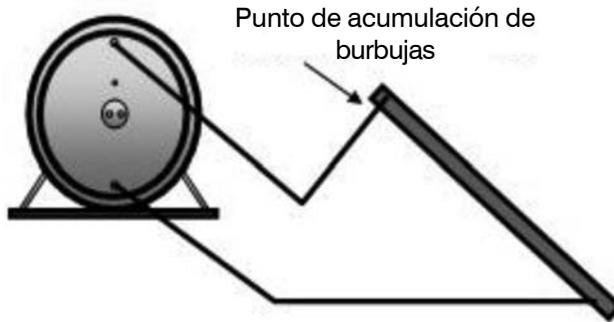


Figura 6.11. Ejemplo de sifón que causa la interrupción del flujo en sistemas termosifón.

Aunque no haya entrada de aire directamente en el sistema, siempre habrá acumulación en esos puntos, pues la propia agua presenta un poco de aire disuelto. Es decir, la propia agua “trae” aire a esos puntos de sifón. Teóricamente, si existe una respiración o eliminador de aire en ese punto, la instalación puede operar sin problemas, incluso con el punto de sifón, porque el aire no quedaría retenido. Muchas veces el instalador no percibe que existe un sifón y lo mejor es verificar siempre los tramos

de la instalación con un pequeño nivel

No siempre un sifón en los tubos detiene la circulación. Si el aire tiene cómo salir (siempre hacia arriba!), no habrá acumulación. La figura 6.12 muestra un sistema con un sifón en la alimentación. Allí no hay ningún problema de circulación, porque cualquier burbuja de aire regresaría al TA o subiría por los colectores para, una vez más, llegar al TA, de donde ese aire saldría a través de la respiración.

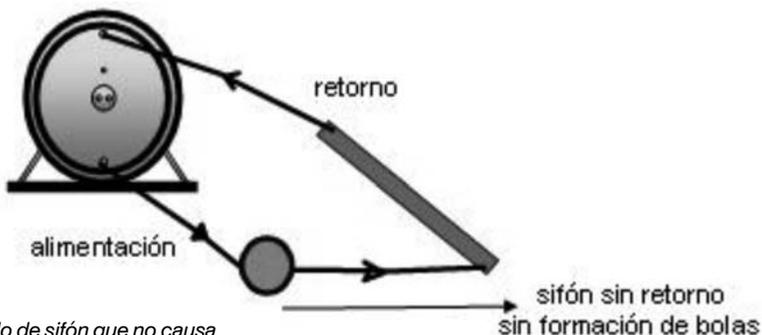


Figura 6.12. Ejemplo de sifón que no causa acumulación de burbujas

### c. Distancia Tope/Fondo (Tp)

Fueron vistos dos de los más importantes cuidados en la instalación por termosifón. Ahora hay que analizar una instalación típica,

con algunas de sus dimensiones características. Es común que las recomendaciones básicas en las instalaciones por termosifón sean en relación a esas medidas.

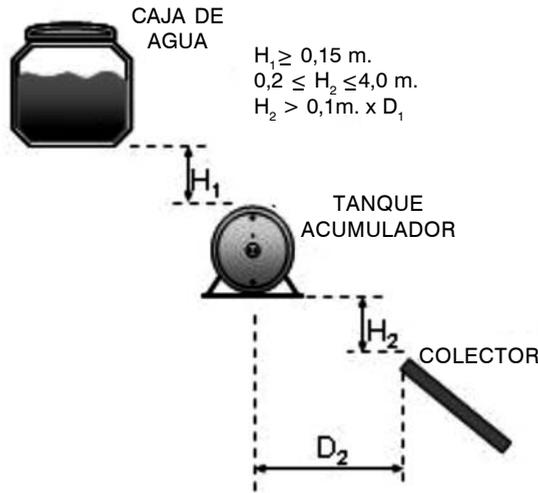


Figura 6.13. Instalación por termosifón con medidas principales

La primera medida es la altura entre el tanque y el reservorio térmico. Esa distancia determina la presión de trabajo del TA y de los colectores. Al aumentar esa altura, se aumenta la presión en los colectores. Sin embargo, en relación a la circulación del termosifón, nada cambia, pues la presión se aplicará en las dos columnas (figura 6.9) y el efecto se anularía. Por lo tanto, esa altura tiene importancia **solamente** en la definición de la presión de trabajo del tanque y en la forma como realizaremos la conexión hidráulica caja de agua-TA. ¡En

términos de termosifón, nada cambia!

Mientras la distancia entre el tanque de agua y el TA no afecta el rendimiento del termosifón, la distancia tope/fondo (TP) es muy importante. Esa distancia ayuda en la circulación del sistema, pues, cuanto mayor es su largo, mayor será el largo de las columnas de agua caliente y agua fría. Cuanto mayor son las columnas, mayor es la fuerza generada en la circulación del termosifón. Por ello, es posible observar en la tabla 6.2 que cuanto

mayor es esa distancia, mayor será el longitud equivalente máxima de tubería permitida.

Sin embargo, está claro que cuanto mayor es esa distancia, mayor será también la pérdida de calor, pues más largo será el camino del agua. Además, la instalación será más cara, simplemente porque se utilizarán más tubos.

La distancia TP no ayuda solamente la circulación del agua, sino también tiene un papel crucial en el combate a lo que se llama circulación inversa, que es la circulación de agua por los colectores en el período nocturno y que provoca el enfriamiento del agua. Es resultado del mismo fenómeno que promueve la circulación durante el día. Por la noche, los colectores se enfrían y, como consecuencia, se enfría el agua en su interior. El agua más fría

causa un diferencial de presión en el sentido inverso, provocando una circulación en sentido contrario, resultando en el enfriamiento del agua que estaba en el tanque. En la mayoría de los casos, ese efecto es muy pequeño justamente porque las instalaciones preservan la distancia TP con valores correctos.

Un investigador australiano, Graham Morrison<sup>3</sup>, realizó estudios para analizar el efecto de la distancia TP en el volumen de agua recirculado en un sistema con consumo diario de 200 litros. Observó que, si la distancia TP fuera nula, el agua se enfriaría en una tasa de aproximadamente 1 litro por hora - que causaría pérdidas de un 8% de la energía recolectada en un tanque de 200 litros durante una noche. Con una distancia tope/fondo igual a 10 cm, el flujo reverso se reducía a la mitad. Con 20 cm de distancia, el flujo se reducía a

Muchas veces, la primera idea en la cabeza de las personas sobre cómo combatir la circulación inversa es colocar una válvula de retención en la tubería, impidiendo el flujo reverso. Es necesario recordar que el termosifón es un fenómeno débil y que la presión generada durante el día no sería suficiente para abrir una válvula de retención común. Es decir, el sistema simplemente no funcionaría.

<sup>3</sup>Morrison, G.L., *Reverse circulation in termosyphon solar water heaters*, *Solar Energy*, vol. 36, num. 4, pg. 377-379, 1986.

solamente 0,3 litro por hora. Es decir, la altura correcta entre el tope de los colectores y el fondo del tanque no solamente garantiza una buena circulación durante el día, sino también bloquea la circulación reversa durante la noche. Lo ideal es mantener esa altura entre 25 y 30 cm.

Existe una prueba sencilla para verificar si una instalación presenta circulación reversa en exceso. Basta acompañar la temperatura del agua en la tubería de retorno de los colectores al TA después de la puesta del sol. Si el agua estuviera caliente y no hubiera más sol, es posible concluir que el agua caliente presente en ese tramo es, en realidad, agua que está regresando del TA en dirección a los colectores, donde se enfriará. La solución para el problema es aumentar la altura tope/fondo.

Una instalación que funciona por termosifón **NO DEBE** tener válvulas de retención.

Por último, es necesario destacar que el aislamiento de las tuberías no sólo evita las pérdidas de calor sino también ayuda en la circulación del termosifón. Sin el aislamiento, en la medida en que se pierde el calor en la tubería de retorno de los colectores al TA, el agua queda más densa (más «pesada») y disminuye la diferencia de presión entre la columna fría y la columna caliente, que perjudica la circulación.

## 6.1.3. Soluciones en las Instalaciones en termosifón

El termosifón es un sistema extremadamente confiable si se siguen las recomendaciones básicas presentadas anteriormente. La realidad es que no es muy fácil encontrar un techo con altura suficiente para abrigar colectores, acumulador y tanque de agua.

Por ejemplo, puede evaluarse el caso de una instalación convencional (figura 6.14). Si el colector tiene 2 m de largo y está

instalado sobre un techo con un 30% de declive (o aproximadamente  $17^\circ$  de inclinación), la proyección vertical de ese colector será aproximadamente 60 cm. Si la distancia tope/fondo es 20 cm, TA tiene un diámetro de 60 cm, el desnivel entre el fondo de la caja y el tope del tanque es 20 cm y la altura del tanque de agua es 50 cm, la altura total será  $60+20+60+20+50 = 210$  cm (2,1 metros).

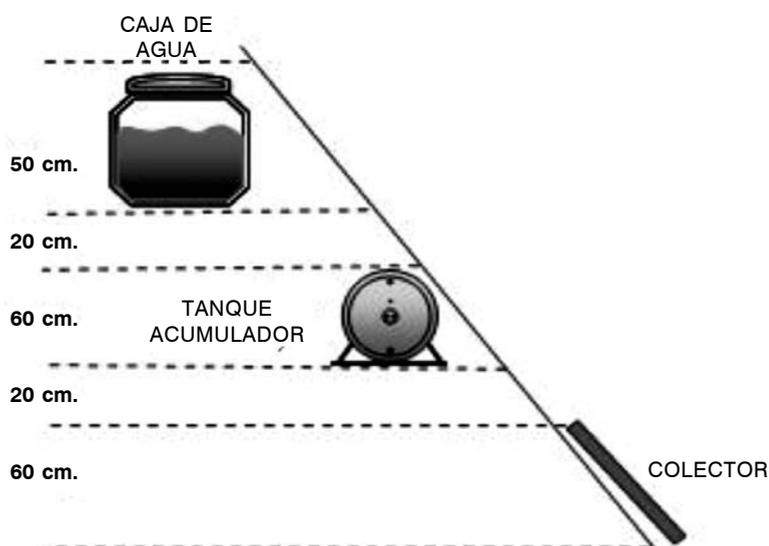


Figura 6.14. Dimensiones en una instalación convencional por termosifón típica (vista lateral).

En la práctica, pocos son los techos que presentan dimensiones suficientes para una instalación como esa, pero existen algunas alternativas para esquivar el problema.

### **Uso de mini-colectores o colectores invertidos:**

La primera alternativa para la reducción de la altura total del sistema es reducir el largo del colector. Existen colectores menores, llamados mini-colectores que, generalmente, presentan aproximadamente 1,0 m de largo por 1,0 m de ancho. En el ejemplo anterior, la sustitución por mini-colectores ofrecería una reducción de 30 cm en la altura total necesaria.

Los colectores invertidos parten del mismo principio, pero presentan un ancho superior al del

mini-colector. Cabe recordar que el colector invertido no es solamente un colector “acostado”, pues su serpentina tiene que adaptarse para quedar en la dirección correcta del flujo de agua, con los pequeños tubos de ascensión siempre hacia arriba. Existe un detalle más: esa solución presenta los inconvenientes de aumentar la distancia recorrida por la tubería en la instalación y reducir la fuerza motriz del termosifón. Por ejemplo, para 8 m<sup>2</sup> de colectores de 2 x 1 m, el ancho de la batería sería 4 m. Con colectores de 1 x 2 m, el ancho total sube a 8 metros. En el caso de instalaciones mayores, como las de 1.000 litros, la aplicación de esa alternativa se torna bastante difícil, pues casi siempre el largo total de la tubería de interconexión de los colectores sobrepasará los valores máximos recomendados.



Figura 6.15 – Instalación con mini-colectores (izquierda) y con colectores invertidos (derecha). (Fuentes: laboratorio GREEN PUC Minas, Bello Horizonte.Brasil).



Figura 6.16 – Instalación de mini colectores en larga batería (Fuentes: acervo Soletrol)

### Uso de torres:

Las torres son soluciones arquitectónicas para la “falta de altura” del techo. Esa opción es sencilla y relativamente barata, pero presenta un mayor impacto en términos de estética de la construcción. Por otro lado, muchas veces la torre ya está prevista en el proyecto arquitectónico o existe el deseo de los propietarios en construirla para aumentar la presión de trabajo de la red hidráulica de la residencia.

La torre puede ser construida para recibir solamente la caja de agua o puede abrigar también el tanque de almacenamiento. Cuando sea técnicamente posible, lo mejor es utilizarla solamente para la caja de agua pues, de esa forma, se tiene libertad para instalar el tanque de almacenamiento más próximo a los colectores y la torre puede ser más baja.

El punto negativo de esa solución es el potencial para formación de sombra sobre los colectores y, por ese motivo, la posición de la torre en relación a los colectores debe ser bien evaluada antes de su construcción.



Figura 6.17 - Instalaciones con torre. (Fotos: laboratorio GREEN PUC Minas, Belo Horizonte, Brasil)

### Uso de tanques en nivel o híbridos:

Otra solución para reducir la altura total del termosifón es la utilización de un tanque de almacenamiento en nivel. En ese

caso, en vez que la caja de agua esté sobre el TA, los dos componentes pueden instalarse en el mismo nivel.

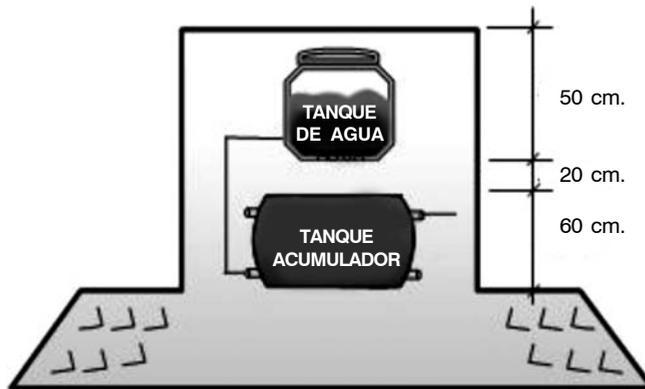


Figura 6.18 – Tanque de agua y TA. Instalación convencional

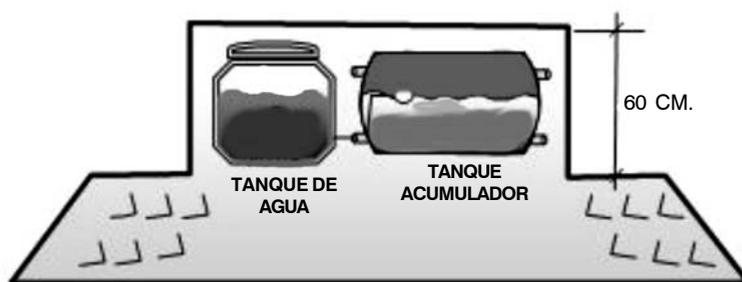


Figura 6.19 – Tanque de agua y TA. Instalación en nivel

Sin embargo el inconveniente es que existe la posibilidad de mal funcionamiento en regiones donde ocurre falta de suministro de agua durante el día. En ese caso, si hay consumo de agua caliente durante el día, no habrá reposición y el nivel del agua en el TA bajará. A partir del

momento en que el nivel de agua baja a un punto inferior al de retorno de agua caliente proveniente de los colectores, el agua para de circular en el sistema. Además, la instalación hidráulica entre el TA y la caja de agua exige algunos cuidados adicionales.

## 6.2. Circulación Forzada

En este modelo de instalación, la fuerza motriz del sistema se realiza a través de la acción de una motobomba y se recomienda su

utilización en sistemas de mediano y gran porte o cuando no se cumplen los parámetros para instalación del termosifón.

### 6.2.1. Principios de Funcionamiento

El sistema de calentamiento solar por circulación forzada se distingue del sistema termosifón, pues además de los colectores, tanques y tuberías de interconexión, presenta también una motobomba, un controlador diferencial de

temperatura o sistema de comando similar y un tablero de comando.

Por no necesitar respetar las alturas tope/fondo y demás particularidades de una instalación en termosifón, el sistema por

circulación forzada funciona básicamente por la acción de dos equipos: motobomba y controlador diferencial de temperatura.

La motobomba está dimensionada para ofrecerle al fluido una energía capaz de vencer las pérdidas de carga impuestas por tuberías, conexiones y demás accesorios existentes entre tanque y colector. El controlador diferencial de

temperatura tiene como función comandar la motobomba permitiendo su accionamiento cuando la diferencia de temperatura registrada entre el sensor 1 ubicado en el colector y el sensor 2 ubicado en el tanque es superior a 5°C y la desactiva cuando ese diferencial es 2°C. Cabe destacar que tales valores son solamente para orientación y deben definirse según la configuración del sistema.

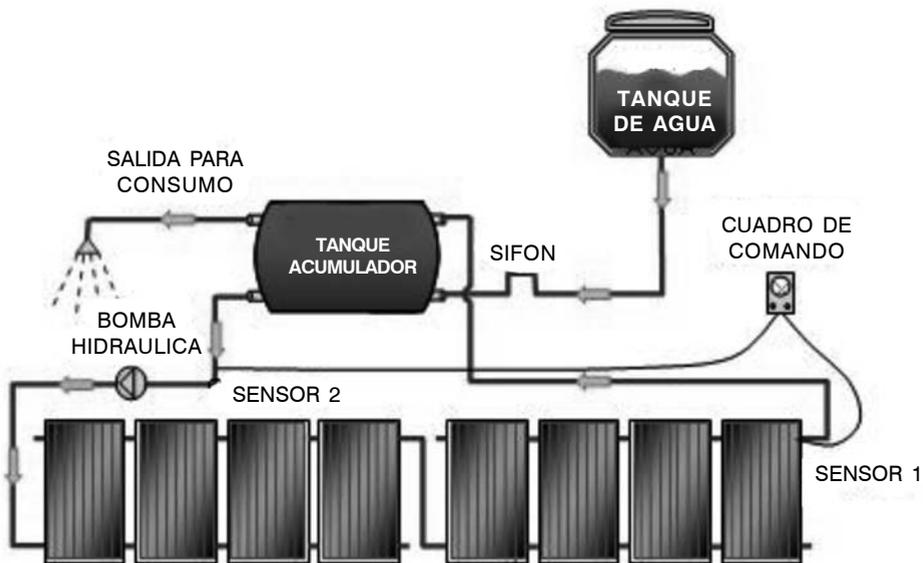


Figura 6.20.- Instalación típica de un sistema en circulación forzada

Como ha sido dicho antes, veremos este tipo de instalación con más detalles en los próximos

capítulos, que tratarán exclusivamente de sistemas con circulación forzada.

## Capítulo 7

# INSTALACIONES DE MEDIANO Y GRAN PORTE

Circulación Forzada Etapas del Proyecto  
Ejecutivo.

Asociación entre Colectores y Tanques  
Equilibrio Hidráulico



# INTRODUCCIÓN

El calentamiento solar, además de ofrecer diversos beneficios sociales y ambientales, representa un factor económico significativo. Para que el calentamiento solar conquiste credibilidad es necesario que los fabricantes busquen incesantemente la calidad y los avances tecnológicos, que las empresas del sector trabajen organizadamente y que existan, se difundan y se apliquen normas técnicas y reglamentaciones municipales y nacionales. En nuestra región, la experiencia brasileña resulta muy valiosa porque ha permitido ganar la confianza en el segmento de mediano y gran porte, donde cada vez más los hoteles, moteles, industrias, hospitales, escuelas, edificios residenciales, clubes y gimnasios usan el calentamiento solar como una buena solución para el agua caliente para baño

De acuerdo con lo presentado en los capítulos anteriores, la

utilización de materias primas de calidad, como cobre, acero inoxidable, aluminio y polímeros especiales, puede ofrecer una vida útil prolongada a los equipos, sin embargo, no es suficiente para garantizar el funcionamiento de un sistema de calentamiento solar. Para ello, deben observarse factores de igual importancia, tales como proyecto, instalación y mantenimiento, para lograr el ahorro de energía y financiero deseados.

Un sistema de calentamiento solar de mediano porte (SCS – MP) y gran porte (SCS – GP) pueden caracterizarse como instalaciones con grado significativo de exigencia técnica por agregar innumerables variables, que no se restringen solamente a la correcta instalación de colectores solares y tanques térmicos.

En este capítulo se tratarán los temas referentes a la etapa inicial de

Un proyecto de calentamiento solar se debería caracterizar como una obra de ingeniería, por lo tanto, debería registrarse en los Colegios profesionales o institución ad hoc del país del que se trate, y elaborado por un profesional técnicamente capacitado y habilitado.

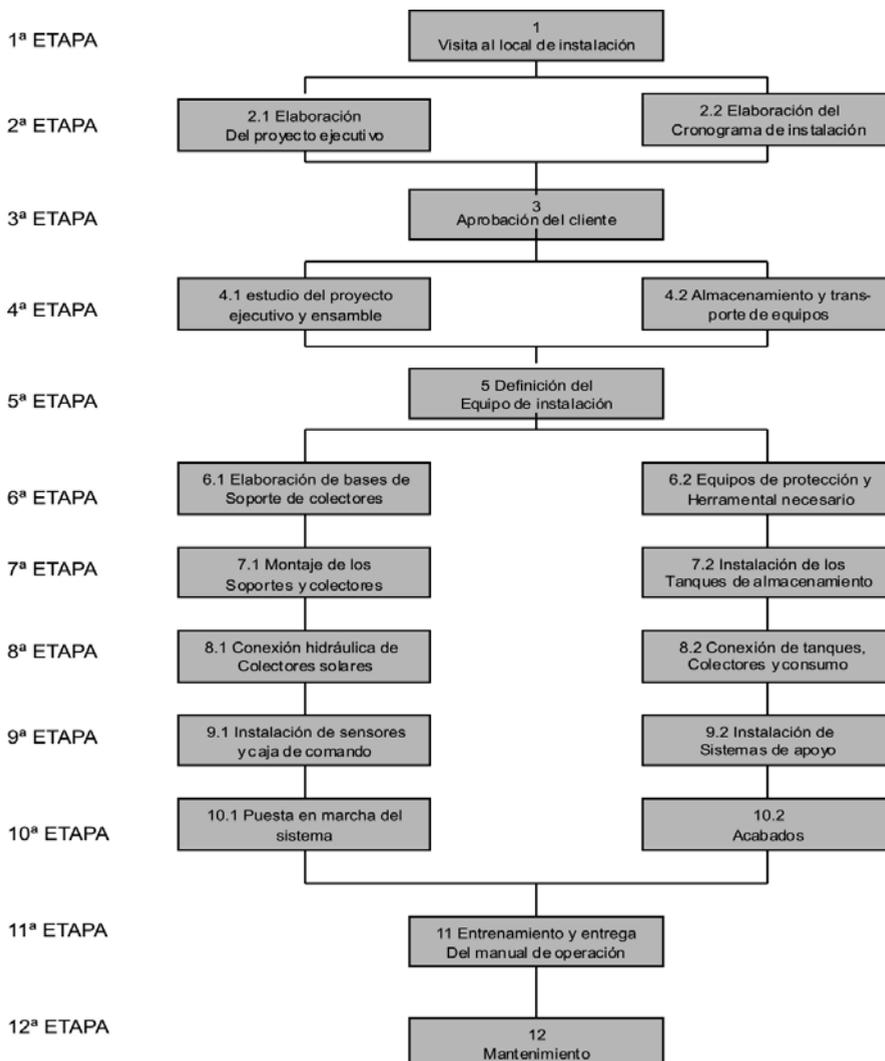
implantación de un sistema de calentamiento solar, correspondiente a las etapas de proyecto,

planificación e infraestructura de instalaciones de mediano y gran porte.

## 7.1. Diagrama de implantación de un SCS-MP/GP

El diagrama presentado a continuación muestra, paso a paso, las etapas de un proyecto de implantación de un SCS-MP/GP. Las

etapas de planificación y proyecto ejecutivo, que se destacarán en este capítulo están entre las etapas 1 y 4 y se detallarán a continuación.



## 7.2. Proyecto Ejecutivo

Proyectar un sistema de calentamiento solar, como el propio nombre lo dice, significa reproducir el sistema que será instalado, determinando sus necesidades y particularidades, de la misma forma que ocurre cuando se pretende construir un edificio o una casa. Un proyecto ejecutivo de calentamiento solar debe respetar las normas técnicas aplicables, contener la especificación de todos los equipos y accesorios hidráulicos necesarios, además de las informaciones para la perfecta comprensión del instalador hidráulico.

La elaboración de un proyecto ejecutivo de calentamiento solar puede dividirse en las siguientes etapas:

- Tanque de almacenamiento: proyecto detallado y asociación hidráulica;

- Colectores solares: definición del modelo y forma de integración a la obra;

- Hidráulica: dimensionado de tuberías, conexiones, bombas y demás accesorios;

- Comando y control: definición del sistema de comando, carga y monitoreo de la instalación;

### 7.2.1. Tanque de almacenamiento

#### Interconexión Hidráulica - Tanques Térmicos

Instalaciones de mediano y gran porte demandan el almacenamiento de grandes volúmenes de agua caliente, que normalmente no ocurre en un solo

tanque de almacenamiento. De esa forma, existen básicamente dos formas de asociar tanques térmicos en una instalación. Ellas son:

### a. Asociación en Paralelo

Ese tipo de asociación se recomienda para la interconexión de un número pequeño de tanques, salida para consumo / alimentación a los colectores



entrada de agua fría / retorno de los colectores

Figura 7.2. Asociación en paralelo de dos tanques térmicos

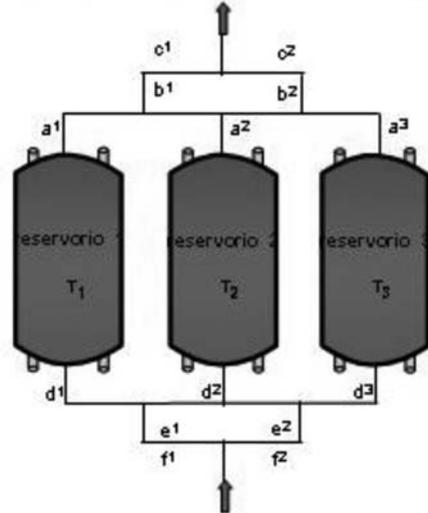
Para la asociación presentada en la Figura 7.2:

Por tratarse de una asociación en paralelo, las temperaturas T1 y T2 deben ser iguales.

Para que ocurra eso, los tramos de tubería para interconexión hidráulica entre los tanques térmicos deben obedecer a los siguientes parámetros:  $a^1 = a^2$ ;  $b^1 = b^2$ ;  $c^1 = c^2$  y  $d^1 = d^2$ . Esa igualdad entre los tramos de tubería garantizará una eculización del flujo de entrada y salida de agua de los tanques

pues grandes asociaciones en paralelo pueden tornarse inviables técnica y económicamente, como se muestra a continuación.

salida para consumo / alimentación a los colectores



entrada de agua fría / retorno de los colectores

Figura 7.3. Asociación en paralelo de tres tanques térmicos

térmicos y, consecuentemente, el equilibrio hidráulico entre ellos.

Para la asociación presentada en la Figura 7.3:

De la misma forma que en el caso anterior, las temperaturas T1, T2 y T3 deben ser equivalentes, así como las distancias entre los tramos de tubería deben permanecer idénticas para que garantizar el equilibrio hidráulico entre los tanques.

Como puede observarse, el número de conexiones hidráulicas, tuberías y la dificultad de montaje aumentan en la medida que aumenta el número de tanques asociados. Por ello, interconexiones en paralelo se utilizan solamente en casos muy específicos.

### **b. Asociación en Serie**

Ese tipo de asociación es la más utilizada en la interconexión de tanques medianos y grandes por favorecer la estratificación térmica del agua y por la facilidad de instalación. Sin embargo, para el correcto funcionamiento de una instalación con tal configuración, deben tomarse algunos cuidados:

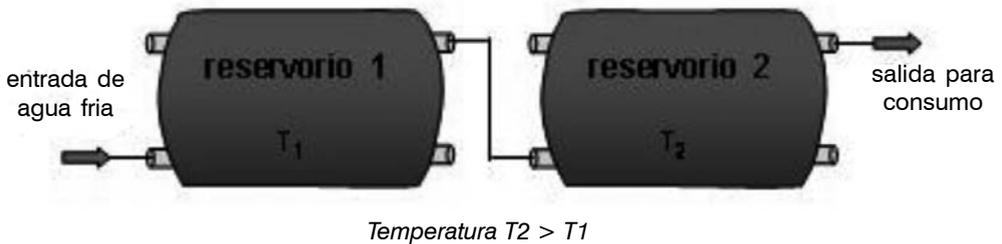


Figura 7.4. Asociación en serie de dos tanques térmicos

Los diámetros de las tuberías de ingreso y de salida de agua en ambos tanques deben dimensionarse de forma que atiendan el “consumo máximo” de la instalación.

La salida de agua a los colectores deberá realizarse del tanque 1 (tanque más frío) y el retorno en el tanque 2 (tanque más caliente).

### **Asociación entre tanques y sistema de apoyo**

Es muy común la asociación entre tanques térmicos y sistemas de apoyo como calderas, generadoras

de agua caliente o calentadores de paso en instalaciones solares de gran porte. Las dos formas más utilizadas para interconexión entre los equipos se presentan a continuación.

### **a. Circulación forzada con retorno al tanque**

Ese tipo de asociación es más utilizado en sistemas en los cuales las resistencias eléctricas del tanque se sustituyen por calentadores de paso. En ese caso, el termostato, ubicado en el tanque de almacenamiento comandará el funcionamiento de la bomba.

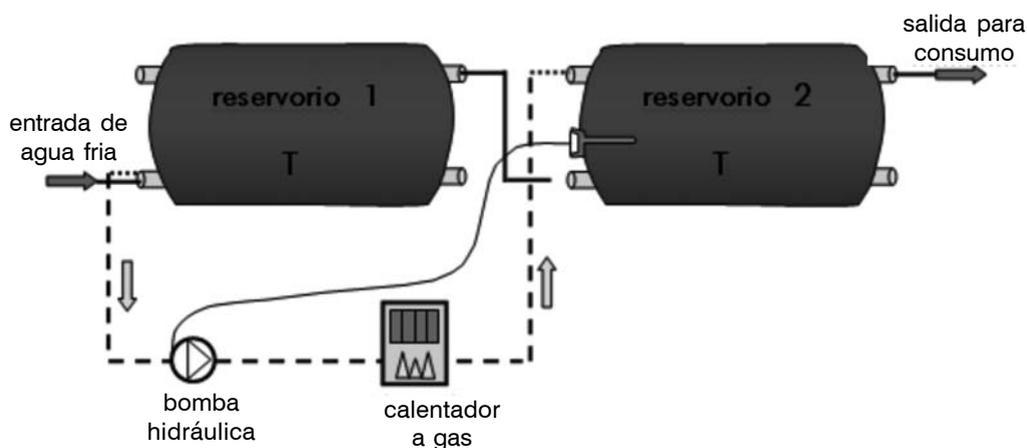


Figura 7.5. Circulación forzada - asociación entre tanques térmicos y calentadores de paso

### **b. Instalación en serie con la salida de consumo**

Ese tipo de asociación también puede realizarse, sin embargo, el número de calentadores debe ser dimensionado para dar abasto al caudal máximo de consumo, pues

deben suministrar agua caliente instantáneamente. Otro punto importante por observarse en ese tipo de instalación es si la presión del agua que circula por el calentador será suficiente para activarlo o si será necesario instalar un sistema presurizador.

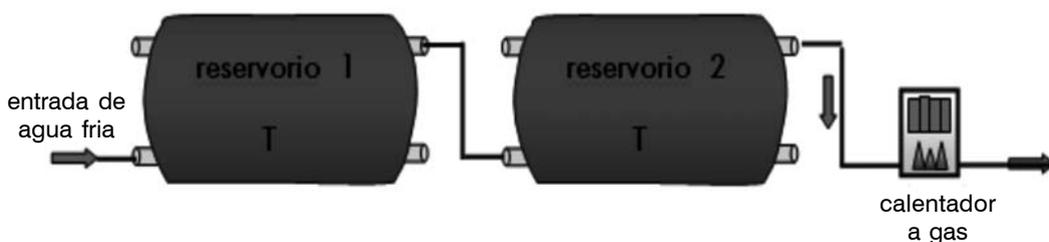


Figura 7.6. Instalación en serie con salida de consumo

La asociación entre tanques térmicos y calderas o generadoras de agua caliente también puede

realizarse analizando, caso por caso, cual es la mejor forma de interconexión.

### c. Asociación entre tanque de almacenamiento y sistema de presurización

En instalaciones donde el caudal de agua en los puntos de consumo no es satisfactorio, se utiliza un sistema para aumentar la presión de trabajo de la red de distribución hidráulica. El presurizador, al instalarse correctamente, funciona sin presentar perjuicios al sistema de calentamiento solar, sin embargo, es importante observar los siguientes aspectos:

- Las redes de distribución hidráulica de agua fría y caliente deben presurizarse igualmente, evitando diferencias de presión y, consecuentemente, dificultades en la mezcla del agua en los puntos de consumo.

- No se permite la utilización de respiro. Debe instalarse un conjunto de válvulas para sistemas de alta presión.

Verificar siempre las especificaciones de instalación suministradas por el fabricante del equipo.

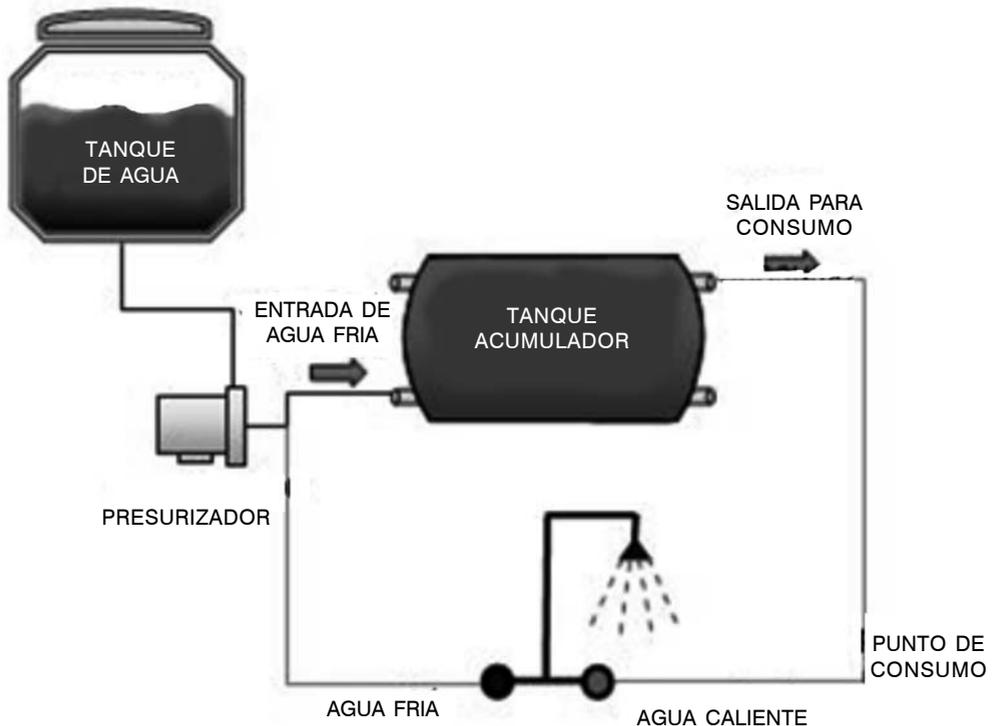


Figura 7.7- Asociación entre tanque de almacenamiento y sistema de presurización

## 7.2.2. Colectores Solares

Con el número de colectores necesarios para la instalación, debe determinarse la forma como ellos se integrarán a la obra. Para ello, es necesario saber cual es la orientación e inclinación de los colectores, la forma como se asociarán y fijarán, si existen sombras entre baterías, entre otras particularidades que se presentarán a continuación.

### a. Geometría

Los colectores solares utilizados en obras medianas y grandes, generalmente, son los

mismos utilizados en obras residenciales. No obstante, algunos fabricantes producen colectores con áreas superiores a las comerciales y con características constructivas diferenciadas para situaciones especiales de suministro e instalación.

De la misma forma que en los tanques térmicos, los colectores solares también pueden ser verticales u horizontales. Cabe al proyectista determinar qué geometría de colectores será la más adecuada a la instalación.

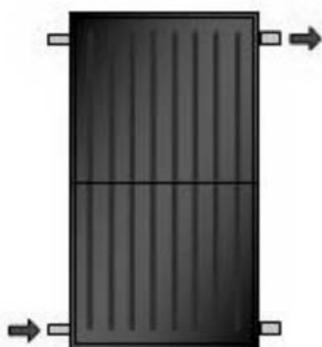


Figura 7.8 - Colector vertical



Figura 7.9 - Colector horizontal

## **b. Orientación e inclinación**

De acuerdo con lo presentado en capítulos anteriores, la orientación e inclinación de los colectores solares deben determinarse de forma que puedan captar el máximo de la radiación solar disponible.

### **Orientación**

Así como en cualquier instalación de calentamiento solar, los colectores deben estar orientados hacia el norte geográfico, permitiéndose desvíos de hasta 30° hacia el este u oeste, sin necesidad de compensación de área recolectora.

### **Inclinación**

Como ha sido visto anteriormente, la inclinación de los colectores se determina a partir de la localidad donde se instalarán. Ese valor se calcula a través del *valor, en módulo, de la latitud. Como regla básica se toma ese valor en instalaciones con demanda similar en todas las épocas del año, la latitud + 10° para las que privilegian los meses de invierno y la latitud -10° para las que privilegian los meses de verano. Pero cabe recordar que es necesario un análisis de la demanda de agua caliente de la*

instalación en el transcurso del año para definición del ángulo que ofrecerá el mejor rendimiento al sistema.

## **c. Soporte Metálico**

La adecuación perfecta de los colectores solares en grandes y medianas instalaciones normalmente ocurre a través del uso de soportes metálicos, garantizando la orientación e inclinación deseables para mayor captación de energía del sistema.

Al definir un modelo de soporte que se ajuste a los colectores y al área disponible para instalación, deben observarse los siguientes aspectos:

- Verificar si la estructura del local donde se instalarán soportará el peso total del conjunto (soportes metálicos, colectores solares y accesorios hidráulicos);
- El soporte deberá soportar las cargas de viento de la localidad donde se instalará;
- Ser resistente a intemperies y oxidación;
- Ser de fácil montaje;

Seguir las especificaciones de montaje de los colectores suministrada por el fabricante.

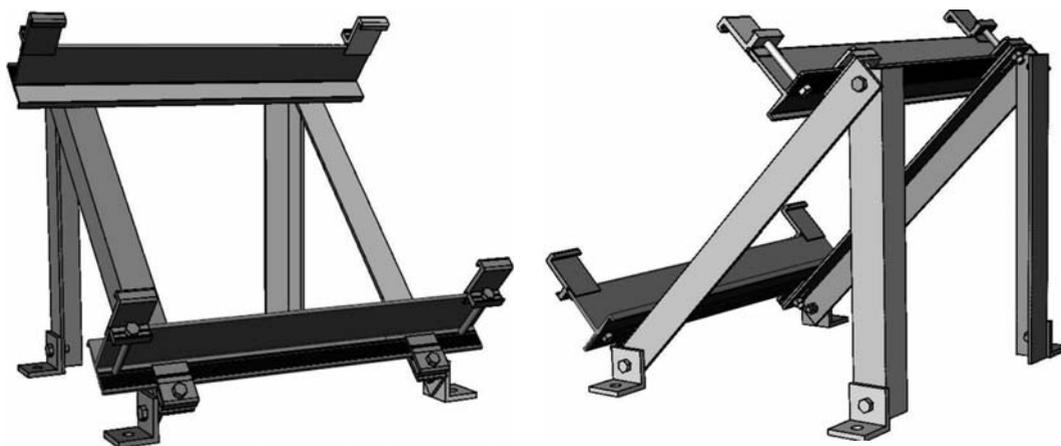


Figura 7.10 – Ejemplo de un soporte metálico con elementos sujetadores del colector

#### **d. Sombra y distancia entre baterías de colectores**

Después de determinar los valores de orientación e inclinación de los colectores solares, es importante verificar cual es la distancia mínima entre las baterías de colectores para evitar o minimizar la sombra que podrá ocurrir entre ellas o en razón de otros obstáculos como construcciones vecinas, árboles, etc.

Un criterio habitualmente usado para calcular la distancia  $d$ , medida sobre la horizontal, que separa a un colector de un obstáculo de altura  $h$  es tomar un valor que garantice que el panel no reciba

sombras entre dos horas antes y dos horas después del mediodía del solsticio de invierno.

Aproximadamente, la distancia  $d$  se puede obtener con la siguiente fórmula

$$d = h / \tan (61^\circ - \text{latitud})$$

donde  $1 / \tan (61^\circ - \text{latitud})$  es un coeficiente adimensional llamado  $k$

En la siguiente tabla se muestran valores de  $k$  para distintas latitudes

Latitud°	25	30	35	40
<b>k</b>	<b>1,376</b>	<b>1,664</b>	<b>2,050</b>	<b>2,605</b>

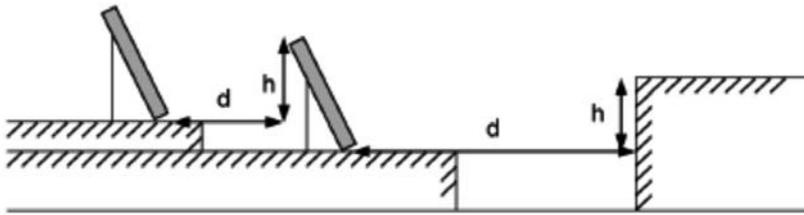


Figura 7.11 - Distancia mínima entre colectores

La distancia ideal entre baterías debe considerar, además de los efectos de sombra, un espacio suficiente para que se realicen mantenimientos y limpieza de los colectores.

Cabe recordar que esta ecuación es solamente para orientación y el análisis de distancias entre baterías debe desarrollarse de forma cuidadosa para cada proyecto, con los métodos estereográficos ya vistos.

### e. Asociación entre baterías

La eficiencia de una serie de colectores está directamente vinculada a la forma como ellos se asocian. La asociación entre baterías es uno de los pasos más importantes de una instalación de calentamiento solar, pues a ella está relacionada la temperatura que se pretende conseguir, el caudal de operación del sistema y, consecuentemente, el dimensionado de las tuberías y demás accesorios.

Obviamente un panel solar que reciba sombra no funciona, por lo tanto es crucial en la instalación estudiar y cuidar la orientación, las obstrucciones y la cantidad de horas de asoleamiento recibido evitando sombras arrojadas por los propios paneles y por los edificios circundantes. Para casos en que no sea sencillo analizar estos factores se recomienda el método de trazados estereográficos.

Las asociaciones entre las baterías de colectores pueden ser en serie, en paralelo o serie- paralelo (mixta); siendo la tercera la más utilizada por permitir mayor número de configuraciones.

### e.1. Asociación en Paralelo

En la asociación en paralelo, el aumento de temperatura proporcionado al fluido circulante es el mismo, motivo por el cual la temperatura de salida del fluido de la batería 1 ( $T_1$ ) es igual a la temperatura de salida del fluido de la batería 2 ( $T_2$ ).



Figura 7.12 - Asociación en paralelo de una batería de 5 colectores solares



Figura 7.13 - Asociación en paralelo de dos baterías de 5 colectores solares

### e.2 Asociación en Serie

En la interconexión en serie, la temperatura del fluido de entrada de

una batería es igual a la temperatura del fluido de salida de la batería anterior.

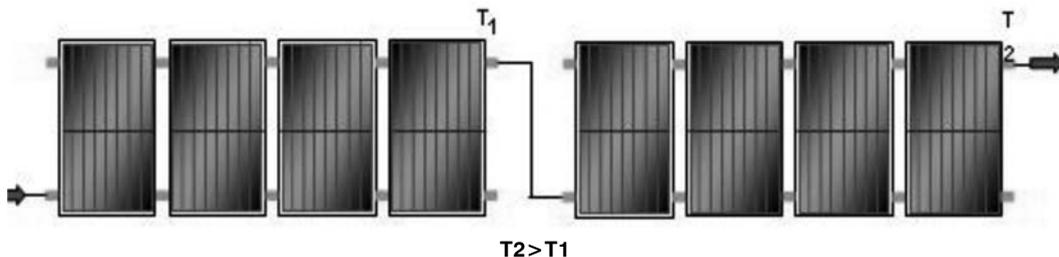


Figura 7.14 - Asociación en serie de dos baterías de 4 colectores solares

### e.3 Asociación en Serie-Paralelo (Mixta)

Es el tipo de asociación más utilizado en medianas y grandes obras, pues cuando existen limitaciones de área física para

instalación de los colectores, deben combinarse los dos modelos de asociación (serie y paralelo) para conseguir precisar el número de colectores necesarios a la instalación.

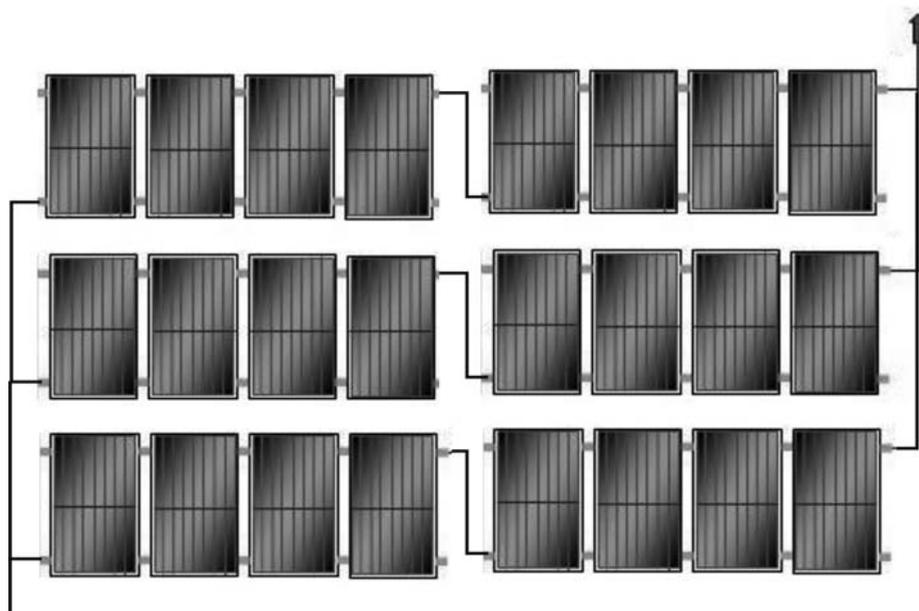


Figura 7.15 - Asociación mixta: tres baterías en paralelo combinadas con dos baterías en serie

## 7.2.3. Hidráulica

Las instalaciones hidráulicas de calentamiento solar se dividen en: circuito primario, entre el tanque de almacenamiento y los colectores

y secundario, correspondiente al circuito hidráulico ubicado entre el tanque y los puntos de consumo.

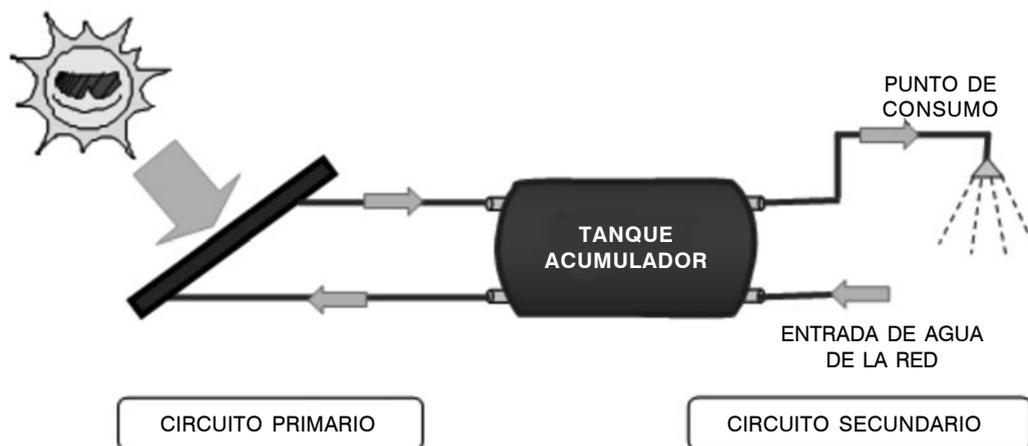


Figura 7.16 - Instalación hidráulica de un sistema de calentamiento solar

### a. Fluido de trabajo

El fluido de trabajo en el circuito primario es, en la gran mayoría de los casos, el agua que circula directamente por el interior de los colectores. Debe verificarse siempre la composición físico-química y la temperatura de operación del agua para identificar su compatibilidad con los materiales de la instalación por donde circulará.

En algunas instalaciones pueden utilizarse fluidos térmicos y

realizarse el calentamiento de forma indirecta, a través de intercambiadores de calor.

### b. Equilibrio hidráulico

La eficiencia de una batería de colectores, como ha sido visto anteriormente, está relacionada a su asociación y al caudal del fluido de trabajo. De esa forma, se adopta el principio del *retorno invertido*, con el objetivo de equilibrar el caudal entre las baterías de colectores. Ese

principio permite equilibrar hidráulicamente la instalación, de forma que la pérdida de carga en el recorrido del fluido de trabajo sea siempre la misma, independiente de la batería de colectores por la cual circule.

Los diámetros de los tramos de tuberías deberán dimensionarse de acuerdo con el caudal que circula en ellos. El dimensionado correcto del diámetro de las tuberías podrá

reducir sensiblemente los costos de la instalación.

En las ilustraciones siguientes es posible observar la forma correcta de interconexión entre baterías de colectores utilizando el principio de *retorno invertido*, donde todos los tramos (en rojo), entre los puntos A y B, presentan la misma distancia y la forma incorrecta, donde el fluido recorrerá distancias diferentes en cada batería que circule.

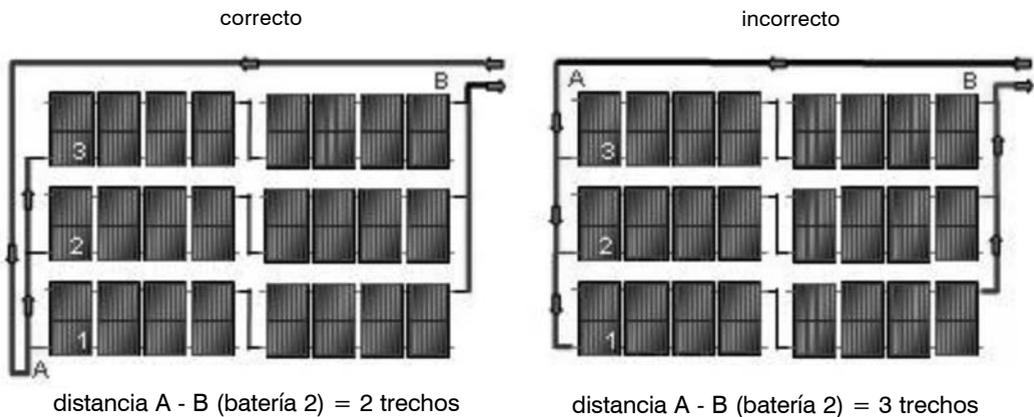


Figura 7.17 – Equilibrio hidráulico de baterías de colectores

### c. Caudal del fluido de trabajo

El valor del caudal total de operación ( $Q_o$ ) del circuito primario se calcula en función de la asociación de las baterías de colectores solares. Se adopta, para el cálculo, el valor del caudal de pruebas de eficiencia de los colectores solares para baño (72

litros por hora por  $m^2$ )\*, y debe también determinarse el área útil ( $A_u$ ) de la(s) batería(s) de colectores interconectados en paralelo que recibe el fluido de trabajo directamente de la bomba hidráulica;

$$A_u = N^{\circ} \text{ de colectores} \times \text{Área útil del colector} \times N^{\circ} \text{ de filas de colectores} \quad (7.2)$$

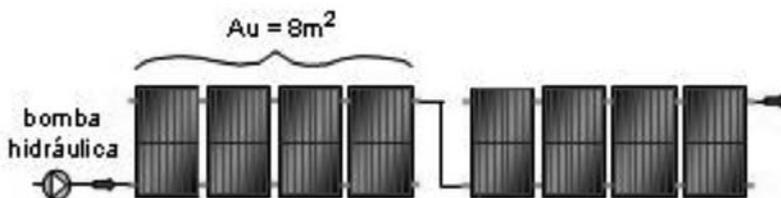
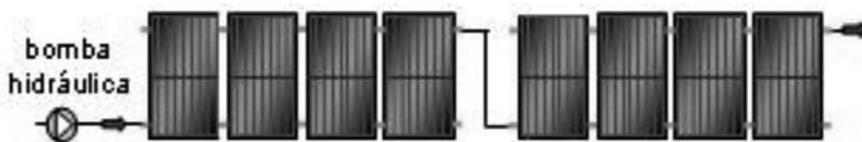


Figura 7.18 - Cálculo del área útil

### Estudio de Caso 7.1

Considerando la siguiente interconexión hidráulica y el área útil de cada colector igual a  $1,63 m^2$ .

¿Cuál será el caudal de operación ( $Q_o$ ) del sistema ?



$$A_u = 4 \times 1,63 m^2 \times 1 = 6,52 m^2$$

$$Q_o = A_u \times 72 \text{ l/h.m}^2$$

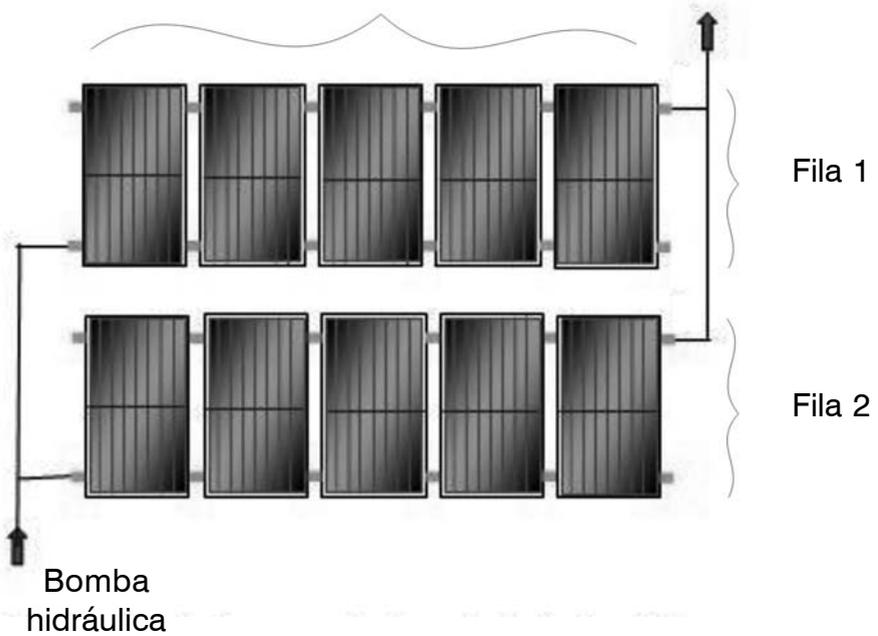
$$Q_o = 6,52 m^2 \times 72 \text{ l/h.m}^2$$

$$Q_o = 469,4 \text{ litros/hora}$$

### Estudio de Caso 7.2:

Considerando la siguiente interconexión hidráulica y el área útil de cada colector igual a  $2\text{m}^2$ . ¿Cuál

será el caudal de operación ( $Q_o$ ) del sistema?



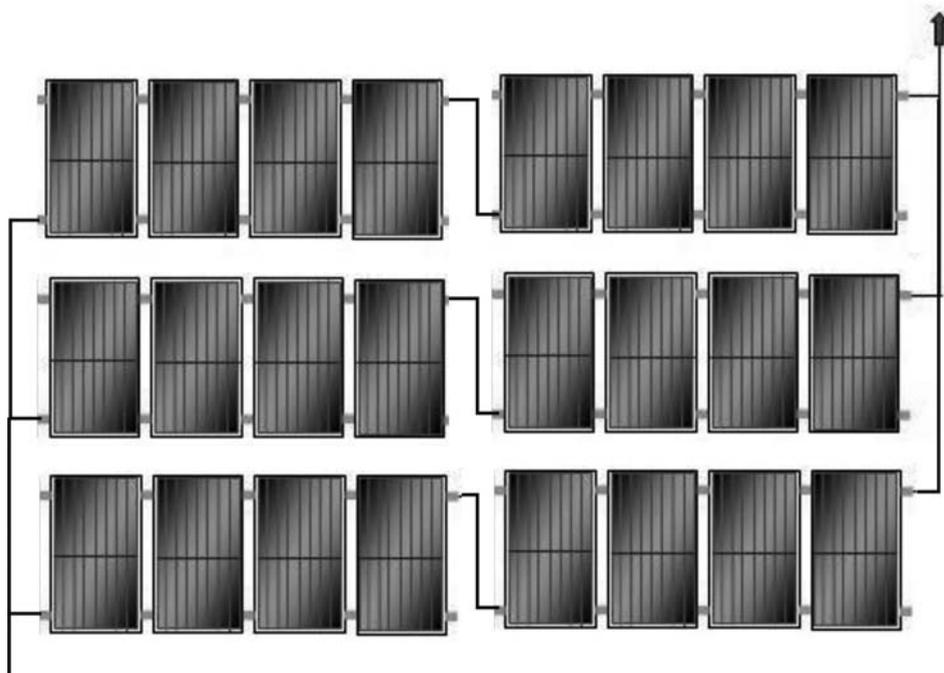
$$Q_o = A_u \times 72 \text{ l/h.m}^2 \quad Q_o = 20 \text{ m}^2 \times 72 \text{ l/h.m}^2$$

$$Q_o = 1440 \text{ l/h}$$

### Estudio de Caso 7.3:

Considerando la siguiente interconexión hidráulica y cada colector solar con área de  $2\text{m}^2$ . ¿Cuál

será el caudal de operación ( $Q_o$ ) del sistema ?



$$Q_o = A_u \times 72 \text{ l/h.m}^2 \quad Q_o = 24 \text{ m}^2 \times 72 \text{ l/h.m}^2$$

$$Q_o = 1728 \text{ l/h}$$

#### d. Tuberías

Las tuberías utilizadas en instalaciones solares pueden ser de cobre u otro material que soporte las presiones y temperaturas de operación del sistema. Los caños de acero galvanizado no se recomiendan para temperaturas superiores a  $60^\circ\text{C}$ . En Brasil

actualmente, las tuberías en cobre son las más utilizadas por su facilidad de instalación, resistencia a la intemperie y altas temperaturas, además de cumplir las necesidades requeridas por una instalación solar. Los tubos en cobre utilizados en instalaciones de calentamiento solar son de la Clase E, con diámetros que varían entre 15 y 104 mm.

En Uruguay son más difundidos los caños de polipropileno y polietileno reticulado.

De acuerdo con la norma **NBR 5626-98**, la velocidad máxima del

agua en las tuberías no debe sobrepasar 3 m/s. La tabla siguiente presenta los caudales máximos permitidos para los diámetros comerciales de tuberías en cobre.

Diámetro		Velocidades máximas	Caudales máximos
(mm)	(pulg)	m/s	l/hora
15	1/2	1,6	720
22	3/4	1,95	2.160
28	1	2,25	4.320
35	1.1/4	2,5	9.000
42	1.1/2	2,5	14.400
54	2	2,5	20.520
66	2.1/2	2,5	32.040
79	3	2,5	43.200
104	4	2,5	64.800

Tabla 7.2. Caudales máximos en tubos de cobre

### e. Bomba Hidráulica

Las bombas hidráulicas utilizadas en medianas y grandes instalaciones generalmente son de tipo centrífuga con rotor en bronce, acero inoxidable u otro material que soporte la temperatura y las propiedades físico-químicas del fluido que se bombeará.

En instalaciones de mayor porte, se recomienda la instalación de una bomba reserva, garantizando el funcionamiento continuo del sistema en el caso de mantenimiento o falla de la bomba principal.

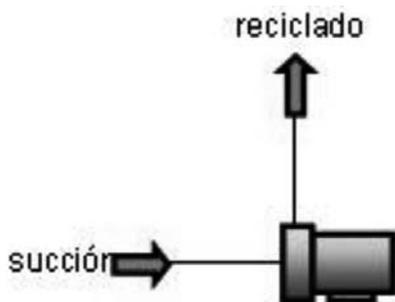


Figura 7.19 - Bomba hidráulica

#### e.1 Dimensionado

Elegir la bomba hidráulica ideal y determinar el punto de funcionamiento de la instalación se define por el caudal de operación de la instalación y las pérdidas de carga del sistema.

Para determinación de las pérdidas de carga totales de un sistema de calentamiento solar deben considerarse los siguientes pasos:

Se calcula la pérdida de carga de tuberías y accesorios hidráulicos en la succión de la bomba (**Ha**);

Se calcula la pérdida de carga de tuberías y accesorios hidráulicos en la impulsión de la bomba (**Hr**);

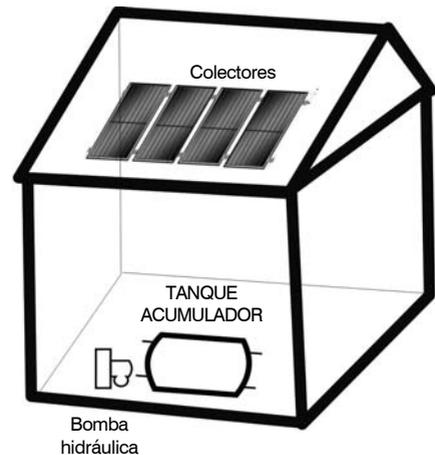
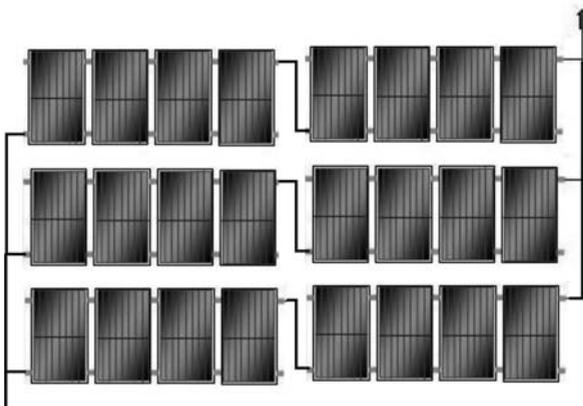
Se calcula la pérdida de carga en los colectores (**Hc**);

Se suma **Ha**, **Hr**, **Hc** y se obtiene la altura manométrica (**H<sub>MAN</sub>**) de la instalación.

### Estudio de Caso 7.4:

Calcule la bomba hidráulica para la instalación propuesta a continuación, considerando tuberías de cobre, 24 colectores con área útil de 2m<sup>2</sup>:

El primer paso es realizar el esbozo de la instalación en una representación isométrica, identificando todas las cotas y conexiones hidráulicas.



### Cálculo del Caudal de operación ( $Q_o$ )

$$A_u = 4 \times 2\text{m}^2 \times 3 = 24 \text{ m}^2$$

$$Q_o = A_u \times 72 \text{ l/h.m}^2$$

$$Q_o = 1728 \text{ l/h ó } 1,73 \text{ m}^3/\text{h}$$

## Definición del diámetro de la tubería de interconexión entre tanque de almacenamiento y colectores

Según la Tabla 7.2, para caudal de 1728 l/h se utiliza una tubería de **22 mm**

Suponga que en la instalación

propuesta existieran las conexiones y accesorios en las cantidades y dimensiones presentadas a continuación.

### Cálculo de la altura de succión (Ha)

Altura estática de succión (ha) (bomba por sobre la caja de agua)	0,0 m
- Largo real de tubería (distancia bomba/ tanque)	3,0 m
- Longitud equivalente (ver anexo 1)	
1 Salida de borde	0,9 m
2 codos 90°	2,4 m
1 registro cajón	0,2 m
1 entrada de borde	1,0 m
<b>Total</b>	<b>7,5 m</b>

De acuerdo con el ábaco de Fair-Whipple-Hsiao (Anexo 4) para:

Caudal = 0,48 l/s (1728 l/h) y diámetro = 3/4" se obtiene:

Pérdida de carga unitaria ( $J_v$ ) = 0,15 m/m y velocidad de 1,5 m/s

Entonces:

$H_a = 7,5 \text{ m} * 0,15 \text{ m/m}$

$H_a = 1,13 \text{ m}$

Altura estática de impulsión (hr) (colector por sobre la caja de agua)	1,5 m
Largo real de tubería (bomba/colectores/tanque)	35,0 m
Longitud equivalente (ver anexo 1)	
1 Salida de borde	0,9 m
15 codos 90°	18,0 m
1 registro cajón	0,2 m
1 válvula de retención	2,7 m
1 registro globo	11,4 m
5 te 90° salida lateral	12,0 m
1 entrada de borde	0,4 m
<b>Total</b>	<b>82,1 m</b>

## Cálculo de la altura de impulsión (Hr)

Según el ábaco de Fair-Whipple-Hsiao (Anexo 4) para:

Caudal = 0,48 l/s (1728 l/h) y Diámetro = 3/4", se obtiene:  
Pérdida de carga unitaria ( $J_v$ ) = 0,15 m/m y velocidad de 1,5 m/s

Entonces

$$H_r = 82,1 \text{ m} * 0,15 \text{ m/m}$$

$$H_r = 12,32 \text{ m}$$

## Cálculo de la pérdida de carga en los colectores (Hc)

El valor de la pérdida de carga por colector debe informarlo el fabricante. Para este ejemplo se considerará el valor de 0,022 mca por colector.

Entonces:

$$H_c = 0,022 \text{ mca} * 24 \text{ colectores}$$

$$H_c = 0,53 \text{ mca}$$

Altura manométrica de la instalación ( $H_{MAN}$ )

$$H_{MAN} = H_a + H_r + H_c$$

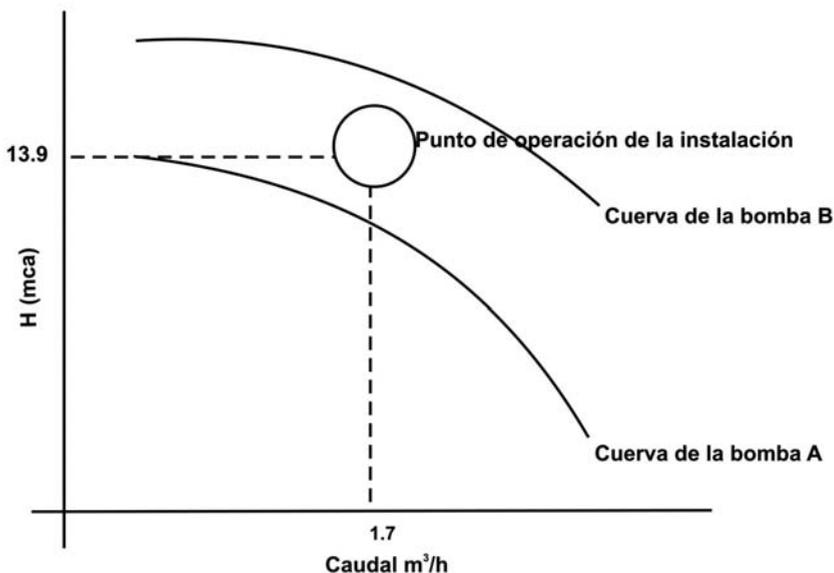
$$H_{MAN} = 1,13 + 12,32 + 0,53$$

$$H_{MAN} = 13,98 \text{ m}$$

Con los valores de caudal y altura manométrica es posible determinar el punto de operación de la instalación y seleccionar la bomba hidráulica que mejor atenderá a las necesidades del sistema.

está lo más próximo posible del punto de operación del sistema. Cuando la curva no coincide exactamente con el punto de operación, debe optarse por la bomba por sobre ese punto.

La bomba ideal para la instalación es aquella en la cual la curva característica de la bomba

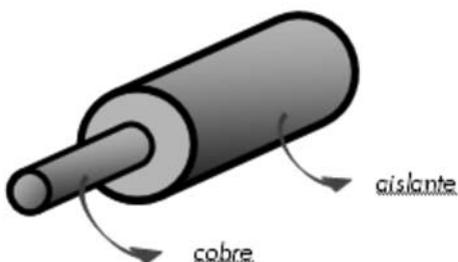


De esa forma, la bomba que mejor se aplica al ejemplo propuesto es la bomba B.

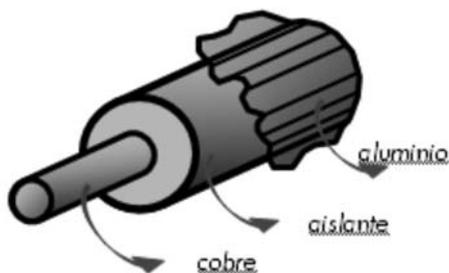
## 7.2.4 Aislamiento térmico

Las tuberías, conexiones, registros y válvulas de una instalación por donde circulen fluidos con temperaturas superiores a 40° C deben ser aislados térmicamente. El aislamiento de tuberías externas, que estén

sometidas a los efectos de los rayos ultravioletas e intemperies, debe ser protegido con material que soporte las condiciones en las cuales trabajará para garantizarle una vida prolongada al aislamiento.



7.20 – Aislamiento térmico interno



7.21 – Aislamiento térmico con protección UV

Bajo ningún concepto se instalará o se permitirá su instalación de cañerías del sistema sin la debida aislación térmica

Los espesores mínimos

recomendados para aislamiento de tuberías de cobre, con polietileno expandido (conductividad térmica de 0,035 kcal/mh°C), están en la tabla 7.3.

Aislamiento Térmico	Polietileno Expandido
Diámetro de la tubería (mm)	Espesor del Aislamiento (mm)
$D \leq 22$	5
$22 < D \leq 66$	10
$D > 66$	20

Tabla 7.3 Espesor de aislamiento

Cabe destacar que la tabla anterior es solamente para orientación y el espesor del aislamiento debe ser determinado

de acuerdo con la ubicación de la instalación y características del aislamiento.

Bajo ningún concepto se instalará o se permitirá la instalación de cañerías del sistema sin la debida aislación térmica

## 7.2.5 Sistema de protección anticongelamiento

Por no recibir radiación solar durante la noche, el fluido de trabajo permanece parado y, por lo

tanto, expuesto a las condiciones climáticas del lugar de la instalación. En regiones con riesgo de heladas,

se utilizan sistemas de protección con el objetivo de evitar daños al sistema.

Para identificar la necesidad de uso de protecciones anticongelamiento, debe evaluarse el historial de las condiciones climatológicas de la región. Si existen registros de temperaturas próximas a 5°C, será indispensable utilizar algún tipo de sistema de protección anticongelamiento.

Los sistemas anticongelamiento más utilizados son:

Recirculación de agua – ese sistema hará circular, a través de una bomba hidráulica, el agua del tanque de almacenamiento cuando la temperatura del sensor, ubicado

en los colectores solares marque valores próximos a 5° C.

Válvula eléctrica de drenaje – a través de una válvula eléctrica con un termostato, el agua existente en los colectores se drena cuando la temperatura en los colectores llega a valores próximos a 5° C.

Fluido anticongelamiento – a través de la mezcla de agua y un líquido anticongelante, se crea una solución que reduce la temperatura de congelamiento del fluido de trabajo. Para que el sistema funcione correctamente, es necesario verificar si la solución está en las proporciones ideales definidas por el fabricante del fluido y si no comprometerá los accesorios de la instalación.

Con respecto a la protección anticongelamiento es importante tener este aspecto en cuenta en todo momento pero prestar especial atención en instalaciones rurales

## 7.2.6 Temperaturas

Una instalación de calentamiento solar debe proyectarse para soportar una amplia variación de temperaturas, que van desde las que presentan

riesgo de congelamiento hasta aquellas próximas a la ebullición del agua.

Las diversas formas de protección del sistema contra los

riesgos de congelamiento se trataron en el ítem anterior. Sin embargo cabe destacar que temperaturas elevadas también pueden perjudicar la durabilidad de accesorios y equipos instalados.

Las altas temperaturas se verifican en los casos de sobredimensionamiento de la instalación donde el área recolectora y el volumen almacenados son muy superiores a la necesidad real de consumo.

## 7.2.7 Presión

De la misma forma que el tanque de almacenamiento y los colectores solares, las tuberías y accesorios hidráulicos deben dimensionarse para soportar

En esas hipótesis, para evitar daños a la instalación de calentamiento solar, es importante utilizar materiales y equipos que soporten la temperatura de operación del sistema, así como la utilización de protecciones que no permitan, por ejemplo, el funcionamiento de la bomba de circulación cuando el sistema llegue a temperaturas próximas a la de ebullición del agua.

presiones 1,5 vez superiores a las que se someterán durante el funcionamiento del sistema de calentamiento solar.

## 7.2.8 Cuadro de comando

- El cuadro de comando de una instalación solar tiene la función de controlar todos los equipos eléctricos y electrónicos de la instalación y es, en la mayoría de los casos, compuesto por:

**Controlador diferencial de temperatura:** con la función de comando de operación de la bomba de circulación de los colectores;

**Interruptores de selección:** con la función del accionamiento manual o automático de la bomba de circulación de los colectores y demás equipos;

**Disyuntores, contactores y relés de sobrecarga:** tienen la función de protección y accionamiento del sistema;

Controles para el sistema de apoyo.

- El cuadro de comando puede también contener algunos equipos para control y seguimiento del rendimiento de la instalación, tales como:

Contador de horas, cuya función es determinar el período de operación de un equipo.

Programador horario para determinación de los períodos de funcionamiento de la instalación;

Demás sistemas de seguimiento, como medidores de radiación solar, medidores de caudal, sensores de temperatura auxiliares, hidrómetros, etc.

## 7.2.9 Calentamiento Indirecto

En los casos en que no sea posible implantar un sistema de calentamiento solar convencional, como en algunos casos de procesos industriales, calentamiento de

ambientes, protección anticongelamiento con fluidos especiales, entre otros, se utiliza el sistema de calentamiento indirecto a través de intercambiadores de calor.

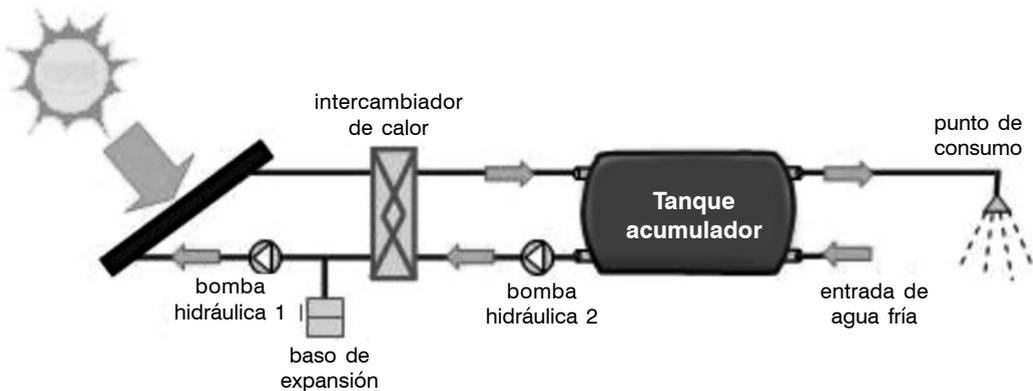


Figura 7.22. Representación esquemática de un sistema de calentamiento solar con intercambiador de calor

## Capítulo 8

# INSTALACIÓN, MANTENIMIENTO Y SEGURIDAD

Interpretación del Proyecto Ejecutivo  
Almacenamiento y Transporte de  
Equipos  
EPPs y Herramientas Accesorios  
Mantenimiento Preventivo y Correctivo



# INTRODUCCIÓN

Un sistema de calentamiento solar, para alcanzar los beneficios esperados, se basa en algunas directrices: proyecto ejecutivo, instalación y mantenimiento. En ese contexto el instalador hidráulico presenta un papel fundamental, pues es su responsabilidad seguir el proyecto idealizado por el proyectista identificando posibles interferencias y modificaciones durante la implantación y a través de una instalación de calidad, minimizar mantenimientos correctivos.

En este capítulo se tratarán los temas referentes a la etapa de instalación y mantenimiento de un sistema de calentamiento solar para uso sanitario.

El instalador deberá seguir rigurosamente el proyecto ejecutivo de la instalación y debe comunicarle siempre al proyectista en caso haya necesidad de modificaciones en el proyecto original.

## 8.1 Interpretación del proyecto ejecutivo

Para definición de los próximos pasos de la planificación de instalación del sistema de calentamiento solar, es necesario interpretar el proyecto ejecutivo que, entre otras informaciones deberá contener:

- Diagrama de flujo de funcionamiento;
- Ubicación de equipos;
- Alturas y cotas de colectores solares y tanques térmicos;
- Isométrico de instalación de los tanques térmicos;

- Bases de fijación de los soportes metálicos y de los tanques térmicos; En una instalación solar es muy importante respetar las alturas de proyecto, especialmente en instalaciones por termosifón.

- Detalle de soportes metálicos
- Cortes;
- Posibles interferencias con la edificación existente o en construcción;
- Trazado de la tubería;
- Lista de materiales eléctricos e hidráulicos;

- Detalle del sistema de control y monitoreo;
- Accesorios e indicación de montaje;

- Demás informaciones necesarias para la perfecta interpretación e instalación del sistema

En una instalación solar es muy importante respetar las alturas de proyecto, especialmente en instalaciones por termosifón.

### a. Diagrama de flujo de funcionamiento

El diagrama de flujo de la instalación debe presentar, de forma esquemática, como será el

funcionamiento de la instalación, sin preocuparse con escalas y dimensiones reales de los equipos.

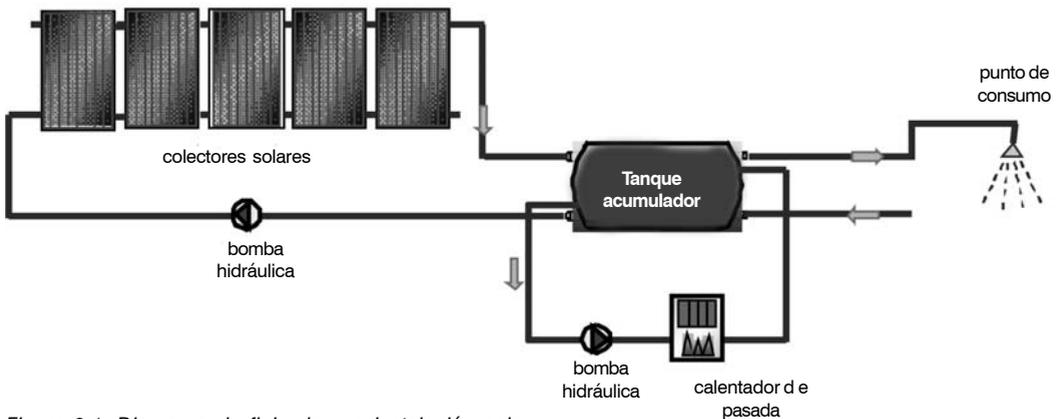


Figura 8.1. Diagrama de flujo de una instalación solar

### b. Ubicación de los colectores y tanques en plano

A través de esta representación gráfica se determina la ubicación de los tanques térmicos, los colectores

solares y demás equipos en la construcción.

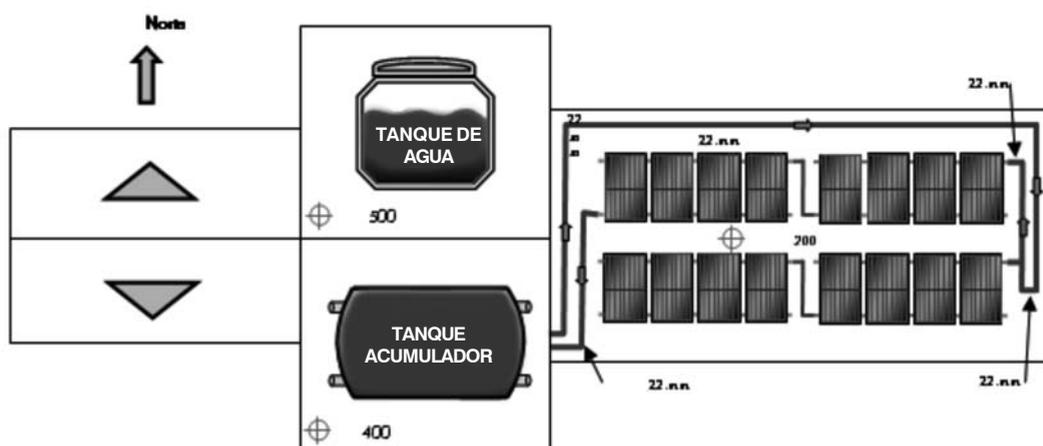


Figura 8.2. Ubicación de colectores, tanques e interconexión hidráulica en plano

### c. Isométricos

Las representaciones isométricas se utilizan para describir partes de la instalación que serían difíciles de representar o que exijan

grado de detalle mayor, como es el caso de los tanques térmicos y sus accesorios.

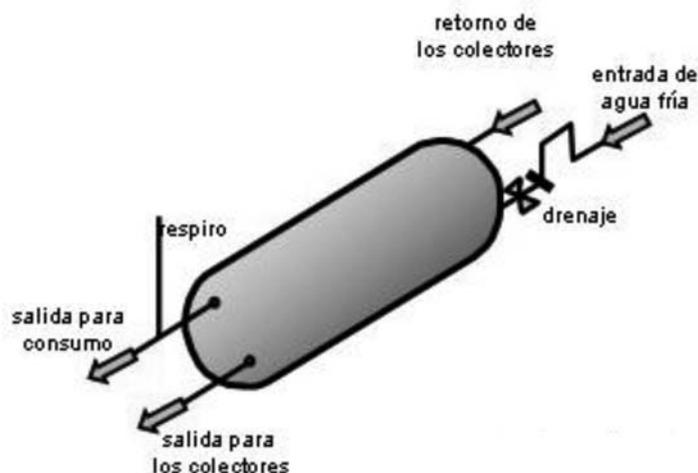


Figura 8.3. Isométrico – tanque de almacenamiento

### d. Cortes

Los cortes, así como la representación isométrica ayuda en

la complementación de informaciones e interpretación del proyecto.

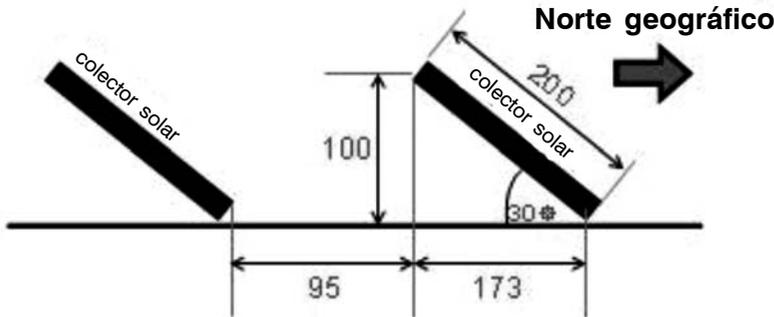


Figura 8.4. Corte – distancia entre colectores solares

## 8.2. Almacenamiento y transporte de los equipos

### a. Colectores solares

Es importante que los colectores se almacenen en acomodamiento vertical, siguiendo las determinaciones del fabricante respecto al número máximo de piezas que pueden apilarse, en local cubierto y protegido de la intemperie.

En el caso de almacenamiento externo en necesario protegerlos contra lluvia para que no se dañen antes de instalarse.

Con relación al transporte de los colectores solares, éste debe

realizarse preferentemente por dos personas, sujetándolos por los extremos de la caja del colector, para evitar torsiones en los equipos.

### b. Tanques térmicos

Los tanques térmicos deben almacenarse en local protegido de la intemperie y con sus entradas y salidas tapadas, hasta el momento de la instalación, impidiendo la entrada de hojas u objetos que puedan afectar el funcionamiento del sistema.

El transporte de los tanques térmicos debe ejecutarse a través de sus ojales o azas de transporte

siguiendo las recomendaciones del fabricante y nunca por las tuberías.

## 8.3. Definición del equipo de instalación

Para definición del número de instaladores que serán necesarios para implantación de un sistema de calentamiento solar es necesario observar el grado de dificultad y tiempo en el que se pretende concluir la instalación. A través del proyecto ejecutivo es posible determinar la cantidad de instaladores y el tiempo de

ejecución de la implantación del sistema.

Se recomienda que una instalación solar se ejecute por dos instaladores capacitados como mínimo, garantizando agilidad y seguridad en la implantación del sistema.

## 8.4. EPPs y Herramientas

Para minimizar el riesgo de accidentes durante la instalación es imprescindible seguir todas las normas pertinentes a la actividad que se realizará. A continuación se

listan algunos EPPs, herramientas y accesorios necesarios para realización de una instalación de calentamiento solar.

### 8.4.1. EPP – Equipo de Protección Personal

Cada instalador debe llevar:

- Uniforme con chaleco de mangas largas;
- Casco ;
- Botas con suela antideslizante;
- Cinturón de seguridad para

- trabajos en altura;
- Anteojos con lentes de policarbonato incoloro;
- Guantes de cuero;
- Anteojos con lentes en policarbonato verde para soldadura;



Figura 8.5 - Símbolos de EPP

## 8.4.2. Herramientas

Para la correcta instalación de equipos y accesorios es importante la utilización de herramientas adecuadas, que garanticen mayor agilidad y seguridad en la instalación. Es posible verificar a continuación algunas de las herramientas esenciales para instalación de un sistema de calentamiento solar.

- Llave inglesa;
- Conjunto de destornilladores planos y philips;

- Alicate;
- SERRUCHO;
- Martillo;
- Corta tubos (cobre);
- Lija;
- Soplete;
- Nivel;
- Metro;
- Brújula;
- Taladro eléctrico;
- Alargador eléctrico;
- Multímetro (tester);

## 8.5. Accesorios de una Instalación de Calentamiento Solar

### a. Bomba hidráulica

Cuando el sistema de calentamiento solar no puede operar en termosifón se utiliza una bomba hidráulica cuyo objetivo es permitir

la circulación del fluido de trabajo entre los colectores y el tanque de almacenamiento.

Las bombas hidráulicas utilizadas en sistemas de calentamiento solar deben presentar algunas características especiales para que puedan operar de forma segura e duradera.

Las bombas hidráulicas básicamente se componen de dos partes:

**Cuerpo hidráulico:** el cuerpo hidráulico contiene el rotor, que puede ser fabricado en hierro fundido, acero inoxidable, bronce,

polímero u otro material y debe estar en conformidad con las características físico-químicas y temperatura del fluido que será bombeado.

**Motor eléctrico:** acoplado al cuerpo hidráulico, con la función del accionamiento del rotor, estando dimensionado según la potencia necesaria para vencer las pérdidas de carga y desniveles de la instalación.

### ***b. Controlador diferencial de temperatura***

Los controladores diferenciales de temperatura son dispositivos electrónicos que tienen la función de controlar el sistema de

calentamiento solar, permitiendo configuraciones para activar y desactivar la bomba hidráulica.

### ***c. Termostato***

Los termostatos son dispositivos que permiten la apertura o cierre de un circuito eléctrico de acuerdo con un ajuste predeterminado de temperatura.

Estos dispositivos son muy utilizados en tanques térmicos para activación de resistencias y anillos de recirculación para circuitos de agua caliente.

### ***d. Flujostato***

El Flujostato es un dispositivo que permite la apertura o cierre de un circuito eléctrico cuando detecta o no la existencia de flujo de algún tipo de fluido en la tubería donde

está instalado. Este dispositivo se utiliza en circuitos de recirculación para niveles de agua caliente y normalmente se aplica en conjunto con el termostato.

### **e. Sensores de temperatura**

Los sensores de temperatura son instrumentos utilizados para medición de temperatura y, en sistemas de calentamiento solar, se utilizan para comando y registro de

la temperatura de operación del sistema. Pueden ser de diversos tipos; termopares (termocuplas), PT100, PT500, entre otros.

### **f. Manómetro**

El manómetro es un instrumento utilizado para medición de presión. Generalmente estos equipos se utilizan en instalaciones

de calentamiento solar de gran porte con el objetivo de acompañar y auxiliar en los ajustes de operación del sistema.

### **g. Válvulas y registros**

Válvulas son dispositivos utilizados para control, bloqueo, mantenimiento y desvío de flujo de fluido circulante de una instalación hidráulica. En un SCS, las válvulas más utilizadas son:

fluido y debe funcionar totalmente abierto o totalmente cerrado.

#### **Válvula de Globo** (Válvula de ajuste)

Las válvulas de globo son utilizadas para controlar y regular el caudal de fluidos.

#### **Válvula esférica**

También tiene la función de bloqueo de paso del fluido y debe funcionar totalmente abierta o totalmente cerrada.

#### **Válvula de compuerta** (esclusa o coliza)

Se utilizan cuando es necesario bloquear el paso del

#### **Válvula de retención**

Este tipo de válvula permite el flujo del líquido solamente en una dirección y puede instalarse en la vertical u horizontal, de acuerdo con las especificaciones de la válvula.

### **Válvula eliminadora de aire** (Purgador de aire)

Ese tipo de válvula tiene la función de permitir la salida de aire del sistema.

### **Válvula rompe-vacío**

Ese tipo de válvula permitir la entrada de aire en el sistema.

### **Válvula de seguridad**

Esta válvula tiene por función proteger el sistema contra presiones superiores a las dimensionadas para su operación.

## **8.6. Soportes para colectores solares**

Cuando la orientación, inclinación o posición de colectores solares no es satisfactoria para el funcionamiento del sistema, es necesario utilizar soportes con el objetivo de corregir esos desvíos.

Deben seguirse rigurosamente las especificaciones del proyecto de los soportes para garantizar su fijación correcta a la estructura del tejado o a las bases construidas especialmente para su instalación.

Debe tenerse especial cuidado con las impermeabilizaciones de azoteas, tejados techos livianos etc. Es importante la consulta y coordinación con el profesional competente. La instalación del sistema solar debe ser coordinada con el proyecto de la

construcción en caso de obras nuevas y debe realizarse una planificación previa en caso de instalación en edificios ya construídos atendiendo a los detalles de impermeabilización, fijación de estructuras e interferencias con las instalaciones.

La base de los soportes de los colectores deberá fabricarse en hormigón u otro material que soporte el peso de los colectores, las cargas de viento a que se someterá el sistema y los efectos de la intemperie. Debe prestarse atención en los siguientes ítems en la confección de las bases:

- La distancia entre las bases debe calcularse de forma que el

La instalación del sistema solar debe ser coordinada con el proyecto de la construcción en caso de obras nuevas y debe realizarse una planificación previa en caso de instalación en edificios ya construídos atendiendo a los detalles de impermeabilización, fijación de estructuras e interferencias con las instalaciones.

soporte instalado no someta el colector solar a flexiones superiores a las permitidas por el fabricante.

- Los tornillos de fijación de los soportes en las bases deben ser galvanizados o protegidos contra oxidación.

- Las bases deben prever canales para escurrimiento del agua de la lluvia.

- Cuando se instalen los soportes metálicos directamente en

la losa es necesario impermeabilizar el local donde se fijen.

- Cuando los soportes metálicos se instalen sobre tejados, deben impermeabilizarse las tejas perforadas.

Los soportes y sus respectivas bases de fijación deberán estar proyectados por un profesional técnicamente habilitado o competente en estructuras.

## 8.7. Instalación del (de los) tanque(s) acumulador(es)

En la instalación de los tanques es necesario considerar:

En sistemas alimentados por gravedad, la alimentación de agua

fría del tanque debe tener siempre un sifón o válvula de retención\* evitando el retorno de agua caliente hacia el tanque de agua, efecto ese denominado *termosifón tubular*.

\* Atención: de acuerdo con la norma NBR 7198, «se prohíbe la utilización de válvulas de retención en la derivación de alimentación de

agua fría por gravedad del tanque térmico cuando éste no presente respiro.»

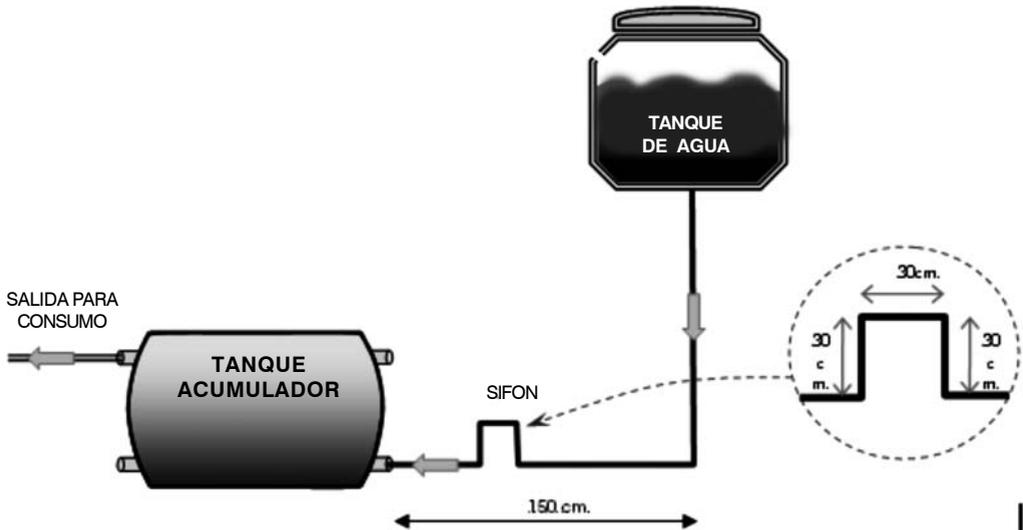


Figura 8.6 - Sifón

La alimentación de agua fría del tanque debe contener, como mínimo, 150 cm de tubería anterior al sifón, de cobre o material que soporte la temperatura del sistema.

El tanque debe tener válvulas cónicas o esféricas en sus entradas y salidas;

La alimentación de agua fría del acumulador, que viene del tanque de agua debe ser exclusiva, no permitiendo derivaciones a otros puntos;

La salida para el drenaje debe conectarse a una tubería de alcantarillado o dirigirse a un local apropiado;

Cuando se utilice un conjunto de válvulas para SCS de alta presión el área debajo del conjunto debe ser debidamente impermeabilizada, evitando infiltraciones en la edificación;

Las interconexiones de las entradas y salidas de un tanque térmico horizontal convencional deben seguir las configuraciones presentadas en la siguiente figura, permitiendo la circulación de todo el agua del tanque.

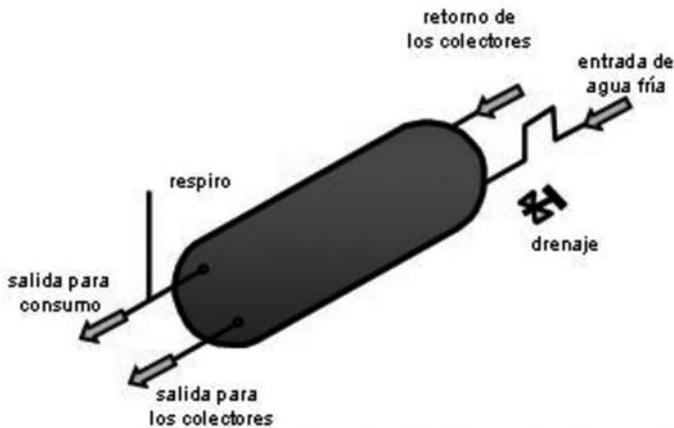


Figura 8.7 - Conexiones básicas de un tanque térmico

## 8.8. Instalación de los colectores solares

La interconexión hidráulica de los colectores podrá ejecutarse en serie o paralelo, de acuerdo con lo definido en el proyecto de la instalación. Además de seguir las configuraciones de proyecto, en el momento de la instalación de los colectores, debe prestarse atención a los siguientes ítems:

a) Las conexiones entre colectores pueden ejecutarse con niples soldados o niples de unión,

que facilitan futuros mantenimientos y sustitución de colectores;

b) Debe instalarse una válvula cónica o esférica en la parte inferior de la batería para drenaje de los colectores.

c) En asociaciones superiores a dos baterías de colectores interconectados en serie se recomienda la instalación de una válvula eliminadora de aire en la salida de la última batería de colectores.



Figura 8.8 - Ubicación de la válvula eliminadora de aire

d) La instalación de los colectores debe prever fácil acceso para limpieza y mantenimiento.

e) En instalaciones que operan en termosifón, se recomienda la instalación de la

batería de colectores con una pequeña subida, entre el 2% y el 3%, en el sentido de la salida de agua caliente, evitando sifones provocados por desniveles en el tejado o error en la instalación.

## 8.9. Instalación de sensores y tablero de comando

### 8.9.1. Instalación de sensores

En sistemas cuya circulación es forzada, la bomba hidráulica se comanda por un controlador diferencial de temperatura, que compara las temperaturas entre los

sensores 1 y 2 ubicados en la parte superior del último colector de la batería y en la base del tanque, respectivamente.

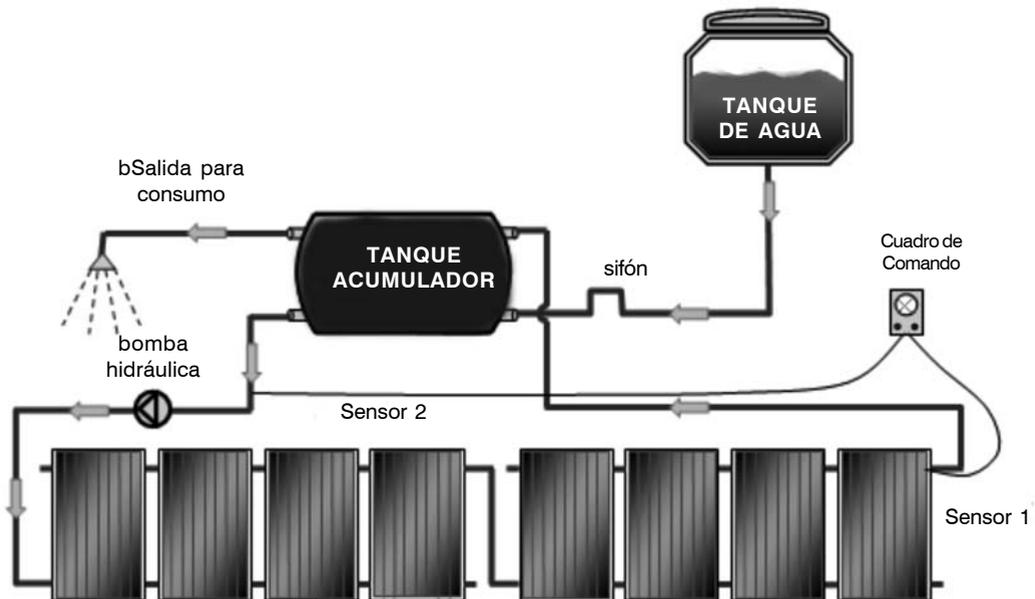


Figura 8.9 - Posición de sensores

De acuerdo con lo presentado en el capítulo anterior, generalmente la bomba hidráulica se activa cuando la diferencia de temperatura entre el sensor 1 y 2 es igual o superior a  $5^{\circ}\text{C}$  y se desconecta cuando es igual o inferior a  $2^{\circ}\text{C}$ . Cabe destacar que esta temperatura es solamente para orientación, pues la temperatura adecuada deberá especificarse en el proyecto de instalación.

Algunos controladores presentan un tercer sensor, normalmente

instalado en la salida de consumo del tanque y que, además de presentar la temperatura del agua en la salida de consumo, tiene la función de bloquear el funcionamiento de la bomba, aunque el diferencial entre los sensores 1 y 2 sea igual o superior a  $5^{\circ}\text{C}$  cuando la temperatura registrada llegue a valores elevados (que deben ajustarse previamente). Esa temperatura lleva el nombre de temperatura de sobrecalentamiento.

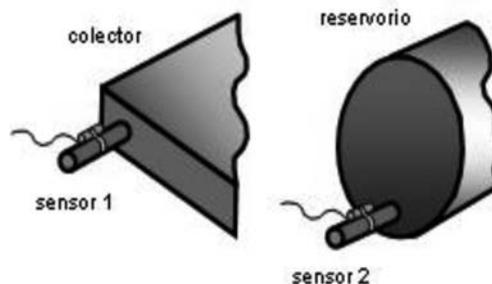


Figura 8.10 - Instalación de sensores

Los sensores deben, preferentemente, instalarse en

vainas termométricas y aislados térmicamente después de su instalación.

## 8.9.2 Tablero de comando

El tablero de comando debe instalarse en un lugar próximo al SCS protegido de la intemperie y de fácil acceso, para posibles verificaciones de temperatura u operación del sistema.

El proyecto ejecutivo deberá prever la ubicación del tablero de comando en la edificación.

## 8.10. Instalación del sistema de calentamiento auxiliar

### **a. Resistencia eléctrica**

- Las resistencias eléctricas deben presentar disyuntores específicos para su activación;
- Los cables de energía deben salir del tablero de comando a la resistencia eléctrica del tanque a través de electroductos;
- La resistencia eléctrica debe conectarse a tierra;
- Debe verificarse la impedancia de las resistencias eléctricas antes de activar el cuadro de comando para evitar cortocircuitos;

### **b. Calentador de paso a gas**

- Debe verificarse si las piezas y anillos de cierre de la entrada de agua en el calentador soportan la alimentación con agua caliente;
- Los cables de energía deben salir del tablero de comando al calentador de paso a través de electroductos;
- Los calentadores de paso no deben instalarse en locales confinados;
- Deben seguirse rigurosamente las normas técnicas aplicables y las especificaciones de instalación suministradas por el fabricante;

## 8.11. Interconexión entre tanque y punto de consumo

Este curso trata solamente los aspectos referentes al circuito primario de una instalación de calentamiento solar, sin embargo

cabe observar algunos detalles importantes en la interconexión entre el tanque y la tubería de consumo de agua caliente.

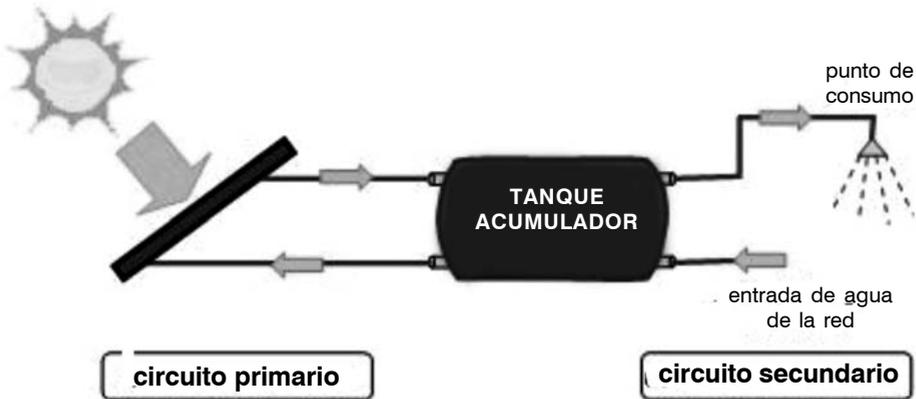


Figura 8.11 - Instalación hidráulica de un sistema de calentamiento solar

a) El diámetro de la tubería de salida de consumo del tanque debe ser igual o superior a la de distribución de agua caliente a los puntos de consumo;

b) La tubería de distribución de agua caliente deberá aislarse térmicamente;

c) La tubería de distribución hidráulica a los puntos

de consumo debe tener pendiente positiva, evitando la formación de sifones, que pueden perjudicar el caudal en los puntos de consumo.

d) El punto de descarga de agua fría deberá ser exclusivo. No deben instalarse derivaciones para el registro de agua fría de la ducha y para el videt.

## 8.12. Pruebas y puesta en marcha del sistema

### a) Puesta en marcha del sistema

La operación de puesta en marcha de la instalación es muy importante, pues a través de ella se somete a pruebas el sistema de calentamiento solar, siendo posible

verificar si el sistema funcionará según lo proyectado.

### b) Llenado del sistema

El sistema debe llenarse lentamente, preferentemente de la parte más baja hacia la más alta,

evitando la formación de bolsas de aire en el circuito hidráulico.

### **c) Prueba de estanqueidad**

Los circuitos hidráulicos deben probarse con presión 1,5 veces superior a la presión de operación de la instalación con el objetivo de identificar posibles pérdidas. Las válvulas de seguridad, cuando existan, deben instalarse después de la prueba de estanqueidad, pues operan en presión nominal inferior a la de la prueba.

En esta etapa es importante accionar manualmente todas las válvulas de venteo para evacuar completamente el aire del sistema.

### **d) Prueba de sensores y accesorios**

Sensores, bomba hidráulica, válvula de seguridad y demás accesorios deben probarse simulando condiciones de operación del sistema y verificando su comportamiento.

## 8.13. Acabado

Después de realizar todas las pruebas en la instalación empieza la etapa de acabado y finalización de la obra. Esa etapa consiste en:

a) Aislamiento térmico de toda la tubería de la instalación, recordando que las tuberías expuestas a la radiación solar e intemperies deben presentar algún tipo de elemento protector (aluminio corrugado, cinta aluminizada, etc.).

b) Verificar si todas las tuberías están bien fijadas y sin formación de sifones en su recorrido;

c) Verificar si todos los cables eléctricos están debidamente revestidos y conducidos a través de electroductos;

d) Verificar la existencia de alguna obstrucción en la salida del conjunto de válvulas de seguridad.

## 8.14. Capacitación y entrega del manual de operación

En esta etapa el instalador deberá enseñarle al responsable de la recepción de la instalación cómo

operar el sistema, presentando la ubicación de accesorios, cuadro de comando y demás componentes. Es

responsabilidad del instalador suministrar, cuando se aplique, el proyecto ejecutivo tal como se concibió, la anotación de

responsabilidad técnica, los certificados de garantía y demás documentaciones pertinentes al sistema.

## 8.15. Mantenimiento

El mantenimiento de un sistema de calentamiento solar de pequeño porte, cuando fue

instalado correctamente, es muy sencillo.

### 8.15.1. Mantenimiento preventivo

#### ***Mensual***

- Lavado de los colectores con agua y jabón neutro por la mañana;
- Verificar la protección de los colectores;
- Verificar el funcionamiento del sistema de anticongelamiento, en caso exista;
- Verificar el funcionamiento de los sensores de temperatura y las configuraciones del controlador diferencial de temperatura;
- Verificar el ajuste del termostato;

#### ***Semestral***

- Verificar estado del aislamiento térmico;
- Verificar y colocar en funcionamiento el conjunto de válvulas;
- Verificar las protecciones de la bomba hidráulica y la tanqueidad del sistema;

#### ***Anual***

- Realizar el drenaje del sistema para limpieza;
- Verificar la existencia de formación de corrosión en algún ítem del sistema;
- Verificar o estado de funcionamiento del sistema auxiliar.

## 8.15.2 Mantenimiento correctivo

PROBLEMA	VERIFICAR	CAUSA PROBABLE	SOLUCIÓN	
Falta agua caliente	Colectores	Colectores dañados	Sustituir	
	Registros	Registros del tanque cerrados o dañados	Abrir registros	
	Inclinación de las tuberías	Aire en el circuito hidráulico	Retirar el aire del circuito	
	Tubería de distribución	Pérdida	Ubicar la pérdida y reparar	
	Controlador diferencial de temperatura		Desconfigurado	Reconfigurar
			Discontinuidad del cableado	Verificar cableado y reparar
			Sensores dañados	Sustituir
	Bomba hidráulica	Bomba dañada	Reparar o sustituir	
	Calentador auxiliar (eléctrico)		Resistencias quemadas	Sustituir
			Termostato dañado	Sustituir
			Termostato desajustado	Ajustar
	Calentador auxiliar (gas)		Suciedad en el agujero del piloto	Limpiar y abrir agujero
			Válvula piloto con falla	Sustituir
			Termostato de activación con falla	Reparar
			Ajuste inadecuado de la llama piloto de gas	Reajustar
Usuarios	Consumo excesivo	Verificar dimensionado del sistema		
	Calentador auxiliar	Punto de ajuste del termostato muy alto	Reducir la temperatura de ajuste del termostato	
Agua muy caliente	Sensor de temperatura	Calibración incorrecta	Verificar; recalibrar y sustituir	
	Dimensionado	Sistema sobre-dimensionado	Verificar dimensionado	
	Usuarios	No se está utilizando agua caliente	Retirar parte del agua caliente para reducir la temperatura del tanque	
Agua sale por el tejado	Válvula eliminadora de aire	Válvula con falla	Sustituir	
	Válvula anticongelamiento	Válvula en operación	Verificar condiciones de funcionamiento	
	Tubería del colector	Tubería rota por congelamiento	Reparar o sustituir.	
		Tubería con falla	Reparar o sustituir.	



## Capítulo 9

# CALENTAMIENTO SOLAR DE PISCINA

Balance de Energía Proyecto  
Aspectos Constructivos Instalación  
Hidráulica  
Instalación Mantenimiento Preventivo y  
Correctivo



# INTRODUCCIÓN

La aplicación de la energía solar térmica en calentamiento de piscinas ha crecido de forma consistente y significativa en los últimos tiempos. Frente a esa realidad, la necesidad de profesionales calificados pasa a ser fundamental para el desarrollo de todos los niveles de la cadena productiva: certificación, fabricación, ventas, proyecto e instalación. Para que esto ocurra, es necesario que el

profesional del área esté actualizado respecto a los productos ofrecidos por el mercado, criterios de calidad, diferenciales tecnológicos y metodologías de proyecto e instalación

Un sistema de calentamiento solar para piscina puede dividirse básicamente en cuatro subsistemas distribuidos de la siguiente forma:

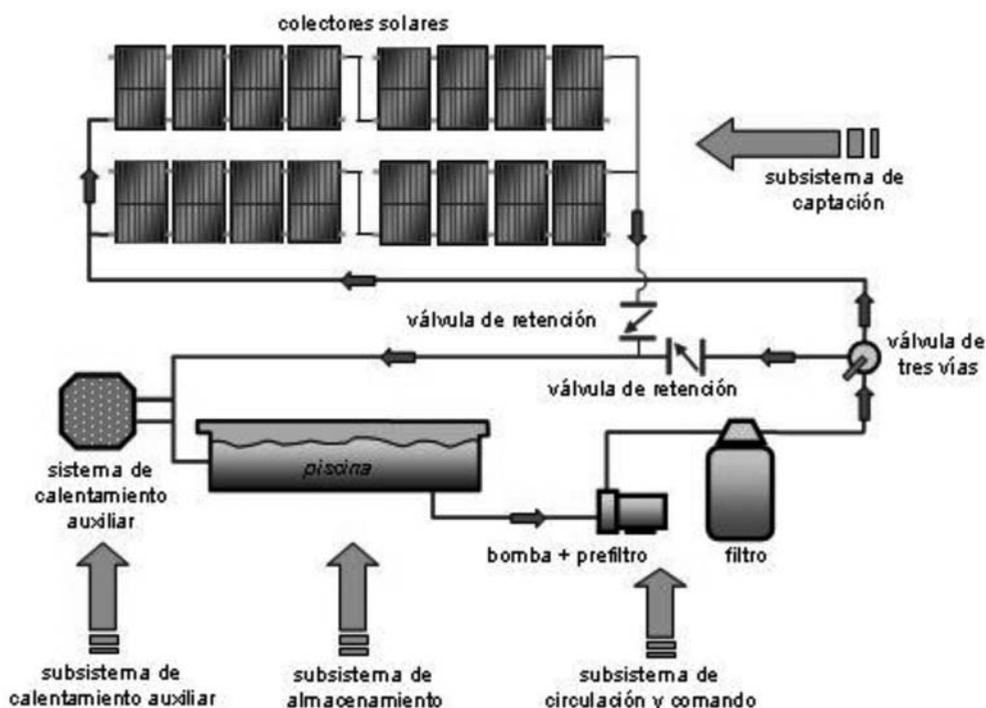


Figura 9.1 – Subsistema de una instalación solar de piscina

## 9.1. Subsistema de captación

El subsistema de captación corresponde al conjunto de colectores solares y su interconexión hidráulica, siendo el colector el componente activo de todo el sistema de calentamiento solar para piscinas.

El colector solar tiene la función de absorber la radiación solar

incidente, transformarla en energía térmica y transferirla al agua de la piscina en el momento en que pasa por el colector solar. Durante este proceso, naturalmente ocurren pérdidas de energía, cuya intensidad varía en función del tipo de proyecto constructivo, características y aplicación de cada colector solar.

### 9.1.1. Tipos de colectores

Habitualmente, se utilizan dos tipos distintos de colectores para el calentamiento de piscinas.

#### a) Colectores planos con cubierta

Semejantes a los colectores utilizados en el calentamiento de agua para baño, pueden alcanzar temperaturas hasta 60°C. Esos colectores pueden ser metálicos o poliméricos.

#### b) Colectores planos sin cubierta

Ese modelo de colector se recomienda para aplicaciones cuya temperatura máxima de utilización es 35°C, por ello, normalmente se fabrican de polímeros no aislados térmicamente, además de no presentar ningún tipo de cubierta, siendo solamente una placa de absorción y tubos.

### 9.1.2. Criterios para selección de un colector solar para calentamiento de piscinas

Al seleccionar el modelo de colector más adecuado para un proyecto de calentamiento de

piscina, deben observarse algunos factores:

### **a) Propiedades mecánicas**

Cuando hay restricción de área, orientación y ángulo de inclinación desfavorables para instalación del sistema, normalmente se utilizan colectores rígidos, que pueden ser abiertos o cerrados, siempre y cuando no se deformen y no tengan su estructura comprometida cuando estén apoyados en soportes metálicos .

### **b) Tratamiento químico del agua**

Ese ítem es fundamental para verificación de la compatibilidad química entre los materiales utilizados en la construcción del colector y el tratamiento químico de la piscina, pues tal parámetro será preponderante en la selección de un colector metálico o en polímero. Por ejemplo, el uso de cloro en el agua de la piscina la hace incompatible con colectores metálicos.

Debe verificarse con el fabricante del colector solar cuales son las restricciones de operación del equipo.

### **c) Presión de trabajo**

Al dimensionar la bomba para circulación de agua por los colectores, debe verificarse cual es

la presión de operación del sistema y así, definir cual es el modelo de colector soportará las presiones impuestas por la bomba sin presentar ningún tipo de deformación o pérdida.

Los valores de presión máxima de operación de los colectores los suministra el fabricante.

### **d) Tratamiento de la superficie**

Por tratarse de equipos que trabajan esencialmente expuestos a radiación solar, todos los modelos de colectores, con o sin cubierta, metálicos o poliméricos deben presentar tratamiento químico en su superficie de absorción, garantizando una mayor vida útil y la eficiencia proyectada del equipo. En colectores metálicos, la placa de absorción recibe una capa de pintura que debe soportar las elevadas temperaturas de operación, las dilataciones y contracciones del metal y la radiación solar incidente. Los colectores fabricados con polímeros incorporan, en su composición química, compuestos que los protegen contra la acción de los rayos ultravioleta (anti-UV) permitiendo mantener sus características constructivas y enlentecer el envejecimiento que provocan estos rayos

### e) Aislamiento térmico

La necesidad de utilización de colectores cerrados con aislamiento térmico está asociada a las condiciones climatológicas de la región donde se instalarán. En

regiones frías o con incidencia de vientos fuertes se opta por utilizar colectores cerrados, con el objetivo de minimizar las pérdidas convectivas del colector para garantizar una mayor eficiencia en un área menor de captación.

## 9.2. Subsistema de acumulación - Piscina

De la misma forma que en el sistema de calentamiento solar de baño, formado por colectores solares y tanque acumulador, el sistema de calentamiento solar de piscinas también presenta su "tanque" representado por la piscina. Actualmente es posible encontrar piscinas en diferentes formatos y materiales; siendo los

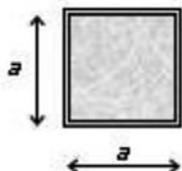
más tradicionales la albañilería, el vinilo y la fibra de vidrio.

Para determinación del número de colectores necesarios para alcanzar la temperatura deseada en la piscina, además de las condiciones climatológicas es necesario observar los aspectos detallados a continuación.

### 9.2.1. Área de la piscina

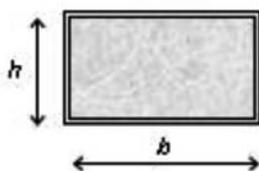
Para determinación del área total de la piscina, se asocia el formato de la piscina con una o más

figuras geométricas de área conocida, es decir:



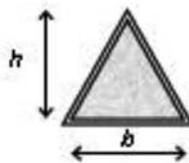
$$A = a \times a$$

Figura 9.2  
Cuadrado



$$A = b \times h$$

Figura 9.3  
Rectángulo



$$A = \frac{b \times h}{2}$$

Figura 9.4  
Triángulo



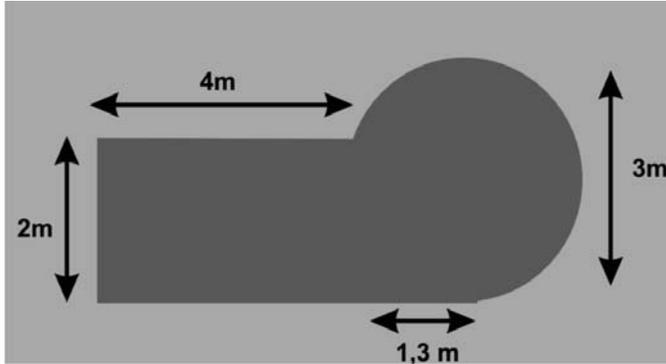
$$p = 3.1416$$

$$A = p \times d / 4$$

Figura 9.5  
Circunferencia

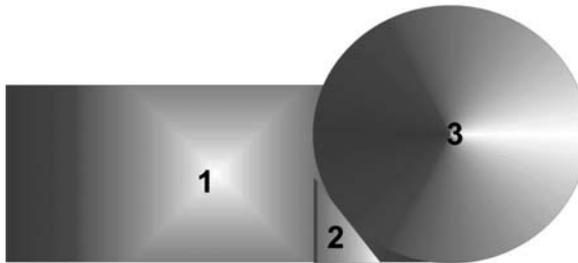
### Estudio de Caso 9.1.

Calcule el área aproximada de la piscina presentada a continuación:



El primer paso para determinar el área de piscinas con formatos irregulares es subdividirla

en dos o más figuras geométricas de área conocida. Así, se obtiene:



Área del rectángulo 1:

$$A1 = b \times h$$

$$A1 = 4 \text{ m} \times 2 \text{ m} \quad A1 = 8,00 \text{ m}^2$$

Área del triángulo 2:

$$A2 = (b \times h)/2$$

$$A2 = 1,3\text{m} \times 1\text{m} / 2$$

$$A2 = 0,65 \text{ m}^2$$

Área de la circunferencia 3:

$$A3 = \pi \times d^2/4$$

$$A3 = 3,1416 \times 3^2/4$$

$$A3 = 7,07 \text{ m}^2$$

El área total será la suma de las áreas de A1, A2 y A3.

$$\text{Área de la piscina} = 8,00 + 0,65 + 7,07 = 15,72 \text{ m}^2$$

Para determinación del volumen basta multiplicar el área total encontrada por la profundidad media de la piscina.

## 9.2.2. Tipo de piscina

Como se dijo anteriormente, es posible observar que se utilizan diversos tipos materiales en la construcción de una piscina, pero que poco afectan en el dimensionado del sistema de calentamiento solar. Sin embargo el ambiente en el que se encuentra la piscina influye mucho en la determinación del área recolectora para calentamiento de la misma

En función de ese aspecto constructivo es posible clasificar las piscinas de tres formas:

### **a. Piscinas abiertas**

Ese tipo de piscina se caracteriza por no presentar ningún tipo de cubierta, que favorece el aumento directo de radiación incidente en la superficie de la piscina.

### **b. Piscinas abiertas y cubiertas**

Ese es el peor tipo de piscina para calentamiento, pues no permite la incidencia de la radiación solar en la superficie del agua, sin embargo permite que el aire circule sobre la piscina, aumentando las pérdidas por evaporación y convección.

### **c. Piscinas cerradas**

Este tipo de piscina es favorable para el sistema de calentamiento solar, pues aunque no permita aumentos directos de radiación tampoco permite que la velocidad del aire circulante sobre a piscina sea intensa, minimizando sensiblemente las pérdidas por evaporación de la piscina.

## 9.2.3. Temperaturas de funcionamiento de una piscina

Un factor determinante en el dimensionado de un sistema de calentamiento solar para piscinas es la definición de la temperatura del agua de acuerdo con la aplicación de su uso. La temperatura de utilización de la piscina tiene gran influencia en el dimensionado del área recolectora ideal y, al contrario de lo que muchos piensan, la

relación entre la temperatura de uso y el área captadora no es lineal. Elevar en 1°C la temperatura de una piscina requiere una cantidad de energía mucho mayor de lo que se imagina, como puede verificarse en el gráfico a continuación.

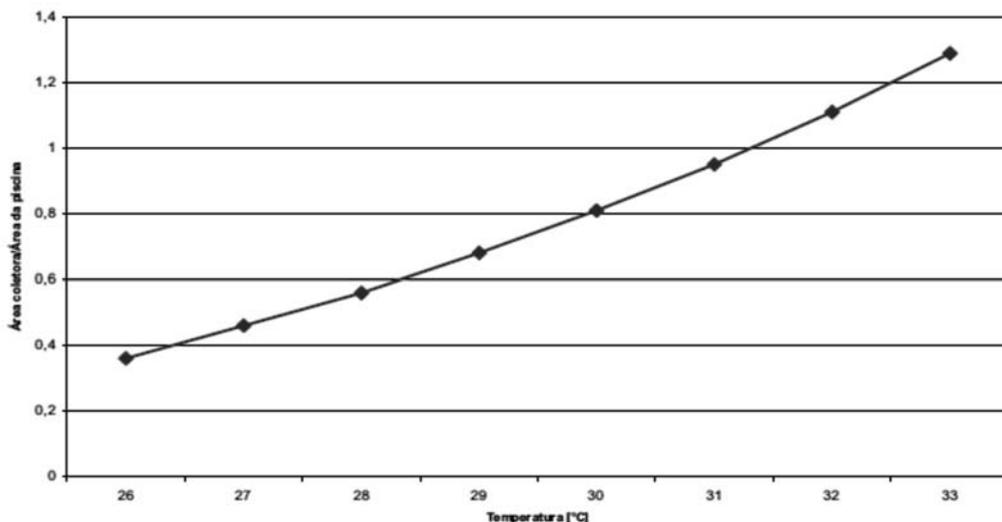


Figura 9.6 – Relación de área recolectora x aumento de la temperatura

Por ese motivo es necesario tener mucho cuidado en el momento de elevar la temperatura de utilización de la piscina para que no haya el riesgo de frustrar al usuario. A continuación se presentan algunas sugerencias:

Piscinas de entrenamiento: 26° C;  
 Piscinas de clubes: 28°C a 30°C;  
 Piscinas residenciales y gimnasios: 30°C a 32°C;  
 Piscinas de fisioterapia y SPAs: 32° C.

### Uso de la Capa Térmica

La utilización de la capa térmica en piscinas es una medida efectiva de conservación de energía, reducción de costo operativo y tiene relación directa con el dimensionado del área recolectora. La capa

térmica tiene la función de conservar la temperatura de la piscina en la medida en que las pérdidas por evaporación (aproximadamente el 70% de las pérdidas térmicas de la piscina) se reducen.



Figura 9.7 – Capa térmica

Además, la reducción de la tasa de evaporación resulta en la reducción de la cantidad de productos químicos utilizados en el tratamiento de la piscina.

Actualmente existen diversos modelos de capas térmicas en el mercado, siendo más utilizados las de tipo plástico burbuja con protección anti-UV.

#### 9.2.4. Detalles constructivos

Una de las mayores dificultades en la implantación de un sistema de calentamiento solar para piscina está relacionada a los problemas hidráulicos que se discutirán a continuación. No obstante, es importante que durante la construcción de la piscina las tuberías de rejilla de fondo y bocales de retorno estén correctamente dimensionadas para recibir el sistema de calentamiento solar.

##### a. Dispositivos de succión y retorno

En piscinas aún en etapa de proyecto es posible prever bocales independientes para succión y retorno del sistema de calentamiento solar.

De acuerdo con la norma NBR 10339/1998, es necesario:

- Agregar un bocal de retorno para cada 50m<sup>2</sup> de superficie de agua o un bocal para cada 50 m<sup>3</sup> de agua, optando siempre por la mayor cantidad obtenida, siendo dos como mínimo.

- Colocar los bocales tomando en cuenta el esquema de circulación del agua en la piscina, concentrándose el mayor número de bocales en las regiones más rasas o donde haya tendencia de estancamiento del agua.

Instalar los bocales de retorno entre 30 cm y 50 cm del nivel del agua.

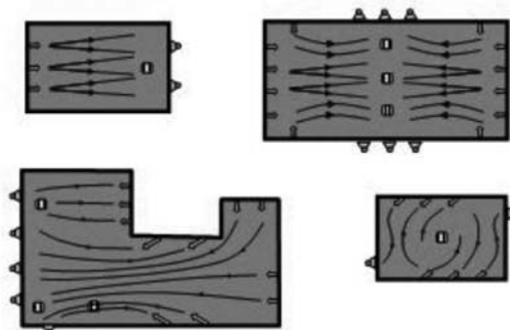


Figura 9.8 - Ejemplos de ubicación de dispositivos de succión y retorno

### **b. Tubería independiente:**

Además de prever rejilla de fondo y bocales de retorno para el sistema de filtrado, la piscina se construye con rejilla de fondo y bocales de retorno específicos y debidamente dimensionados para el sistema de calentamiento solar. Esta es la medida más correcta que puede tomarse en piscinas comerciales de gran porte, donde el sistema de calentamiento solar se implantará de forma totalmente independiente del sistema de filtrado.

### **c. Tubería dependiente:**

La rejilla de fondo y los bocales de retorno previstos para el sistema de filtrado de la piscina se aprovecharán por el sistema de calentamiento solar. Esta situación es muy común en piscinas

residenciales de pequeño porte. Sin embargo, es fundamental que la tubería dimensionada para el caudal de filtrado (rejilla de fondo y bocales de retorno) también sea compatible con el caudal del sistema de calentamiento solar, pues el filtrado y el calentamiento de la piscina se realizan al mismo tiempo y utilizando la misma bomba hidráulica. Existen también los casos de piscinas donde las bombas hidráulicas de filtrado y calentamiento solar serán independientes. En estos casos es fundamental que la tubería dimensionada sea compatible con el caudal del sistema de filtrado y calentamiento solar al mismo tiempo. Este segundo caso es muy común en piscinas comerciales de gran porte donde no estaba prevista una tubería independiente para el sistema solar.

## **9.3. Subsistema de circulación y comando**

El subsistema de circulación y comando corresponde a los equipos responsables por la circulación en los colectores y los demás componentes para control y comando del sistema.

### **9.3.1. Circuito Hidráulico**

El circuito hidráulico es el medio de interconexión entre el colector solar y la piscina. Esta interconexión puede realizarse de

varias forma, en función de las dificultades presentadas por la instalación para inserción del sistema de calentamiento no se alteran. Son ellos:

#### **a) Bomba Hidráulica:**

En este tipo de aplicación no hay posibilidad de instalación del sistema solar por circulación natural o termosifón. En todos los casos se bombea (circulación forzada), puesto que las pérdidas de carga son mayores y normalmente los colectores están posicionados por sobre la piscina. En sistemas de calentamiento solar residencial (pequeño porte) es común usar la propia bomba hidráulica de filtrado para circulación de agua en los colectores solares. En sistemas de calentamiento solar comercial (gran porte) generalmente se utiliza una bomba hidráulica independiente y exclusiva para circulación de agua en los colectores solares. Es importante que la bomba presente filtro previo o que pueda adaptarse al circuito hidráulico, pues reduce la posibilidad de taponamiento de los colectores. Para dimensionar la bomba hidráulica es necesario calcular la altura manométrica de la instalación y el caudal de proyecto de los colectores.

#### **b) Tubería:**

El PVC resiste a temperaturas próximas a 40°C sin sufrir deformaciones, es atóxico, es resistente a la intemperie, y a los agentes químicos del agua, por lo tanto es el tipo de tubería más utilizada en instalaciones de calentamiento solar para piscinas con colector solar plano abierto polimérico. Debido al rango de temperatura de operación, no hay necesidad de aislamiento térmico. En una instalación de calentamiento solar, la tubería se divide en: tubería de alimentación, interconexión y retorno de los colectores. En la tabla 9.1 se especifican los caudales máximos permitidos en las tuberías de PVC respetando la velocidad máxima de 2,5 m/s. La experiencia práctica muestra que caudales con velocidad superior a 2,5 m/s pasan a generar serios problemas de vibración a lo largo de la tubería, por lo tanto, es importante respetar los límites presentados en esa tabla.

Diámetro PVC (mm)	Caudal Máximo (m <sup>3</sup> /h)	Caudal Máximo (l/min)
20	2,04	34,05
25	3,3	54,97
32	5,46	91,05
40	8,76	145,97
50	13,68	228,08
60	20,16	335,94
75	31,35	522,55
85	40,4	673,32
110	67,61	1126,83

Tabla 9.1 – Caudales máximos recomendados para tubería de PVC.

### 9.3.2. Drenaje automático (Drain-back)

En sistemas de calentamiento solar de piscina, generalmente se configura el sistema de tal forma que, al desconectarse permita que el agua existente en los colectores regrese a la piscina dejándolos vacíos y, consecuentemente, protegidos contra los efectos del congelamiento. Sin embargo, este drenaje solamente es posible a través de la utilización de las válvulas rompe-vacío que, como lo dice el nombre, evitan la formación de vacío dentro del colector solar permitiendo la entrada de aire durante el drenaje del sistema.

En instalaciones donde la configuración del sistema no permite que ese proceso ocurra naturalmente, se recomienda la instalación de registros en los colectores o en su circuito hidráulico, permitiendo que esa operación se realice manualmente en el período de invierno o en épocas del año susceptibles a heladas.

La situación presentada anteriormente es válida solamente para colectores abiertos cuyas tuberías no soporten la expansión causada por el congelamiento del

agua en su interior. Cuando se utilizan colectores cerrados en la instalación, el proceso es inverso, es decir, se crean a través de sifones y dispositivos hidráulicos, formas de hacer que los colectores permanezcan llenos en el momento en que la bomba hidráulica se desconecte. En ese caso la

protección anticongelamiento se realiza por el controlador diferencial de temperatura que accionará la bomba hidráulica, haciendo circular el agua de la piscina en los colectores, en los casos en que éstos lleguen a temperaturas próximas a las de congelamiento.

### 9.3.3. Fluido de trabajo

El fluido de trabajo más utilizado en sistemas de calentamiento solar de piscina es el agua. Cabe destacar que la forma de tratamiento de la piscina y los agentes químicos utilizados para garantizar las condiciones de higiene y seguridad a los usuarios deben ser analizados para verificar

alguna restricción con los materiales utilizados en los colectores solares.

Cuando, por algún motivo, exista una incompatibilidad entre el tratamiento de la piscina y el colector solar, es posible optar por el uso de fluidos térmicos, calentando el agua de la piscina de forma indirecta a través de intercambiadores de calor.

## 9.4. Calentamiento auxiliar

El sistema de calentamiento solar, cuando está dimensionado correctamente, puede suplir la mayor parte de la demanda de energía para el calentamiento de una piscina. No obstante, los meses de invierno o períodos prolongados nublados, el sistema de calentamiento solar no será capaz de alcanzar la temperatura deseada del agua, siendo necesario un

sistema de calentamiento auxiliar con el objetivo de complementar la energía no suministrada por los colectores. Los sistemas de calentamiento auxiliar más comúnmente utilizados son los que figuran en la tabla 9.2.

Tipo	Fuente de energía
Bomba de calor	Eléctrico
Calentadores de paso	GLP, GN, Eléctrico
Generadoras de agua caliente	GLP, Diesel, Leña

Tabla 9.2 – Tipos de sistemas auxiliares más utilizados con sus respectivas fuentes de energía

La implantación de un sistema de calentamiento auxiliar es necesaria cuando el mantenimiento de la temperatura del agua constante es indispensable, como es el caso de clubes y piscinas de tratamiento médico, etc.

En piscinas residenciales, normalmente el usuario no utiliza el calentamiento auxiliar por no tener el hábito de utilizar la piscina los meses más fríos, por una cuestión de ahorro en el costo operativo de la piscina o como medida de reducción de la inversión inicial.

### a. Bomba de calor

La bomba de calor es un equipo eléctrico que logra alta eficiencia térmica con un consumo reducido de energía. Este equipo se está utilizando ampliamente como apoyo al sistema de calentamiento solar, pues además de las características presentadas anteriormente, son de fácil instalación.

En una instalación solar convencional de calentamiento de piscinas, la bomba de calor se interconecta en serie al sistema y se instala en la tubería de retorno a la piscina, como se muestra a continuación.

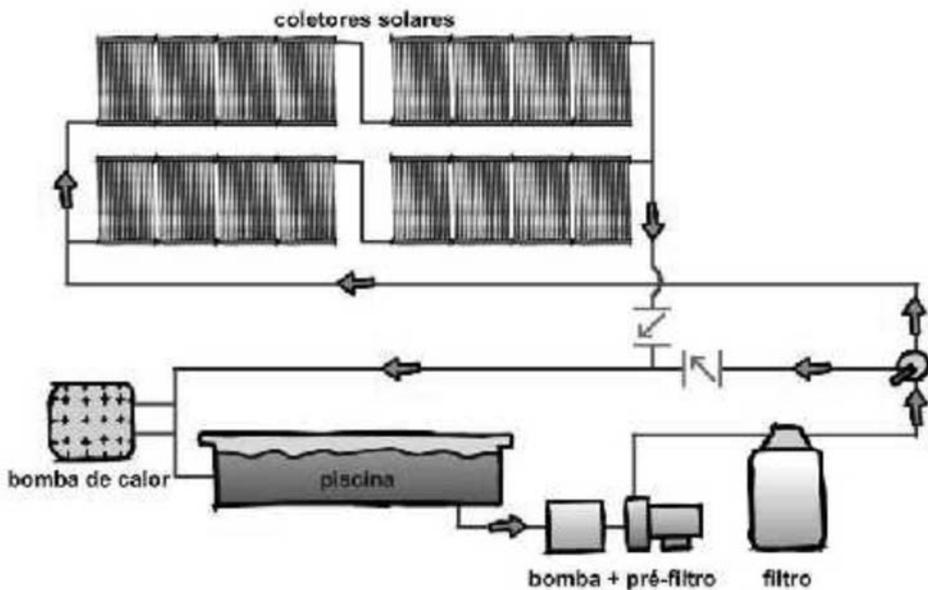


Figura 9.3 - Asociación de una bomba de calor al sistema de calentamiento auxiliar

Deben verificarse las especificaciones de instalación del equipo con el fabricante de la bomba de calor.

### b. Calentadores de paso

Estos calentadores, cuando se utilizan como apoyo al calentamiento solar de piscinas, también se conectan en serie al sistema.

### c. Generadoras de agua caliente

De la misma forma que la bomba de calor, la utilización de generadoras de agua caliente o calderas como complemento al

sistema de calentamiento solar también es muy común. Las calderas, generalmente, se interconectan en serie al sistema de calentamiento solar y deben seguir rigurosamente las especificaciones de instalación del fabricante y las normas pertinentes a su implantación.

## 9.5 Balance de energía de una piscina

El área superficial y volumen de la piscina tendrán gran utilidad en el dimensionado del sistema de calentamiento solar, dependiendo del método que se utilizará. Los dos métodos más conocidos son:

- **Método de Cálculo de Potencia:** comúnmente utilizado entre las alternativas convencionales de calentamiento de piscina (calentadores a gas, diesel, eléctrico, leña, etc.) consiste en dimensionar la potencia y cantidad de calentadores por utilizarse a partir del análisis del volumen de agua por calentarse, aumento de temperatura y tiempo deseable para que el calentamiento ocurra. Este método de dimensionado es muy poco usual en sistemas de calentamiento solar de piscina, pues parte de la premisa de que el tiempo necesario para que ocurra el aumento de temperatura en la piscina sea el mínimo posible. Para ello, el sistema solar dimensionado necesitará tener

elevada potencia, gran área recolectora y, obviamente, un alto costo de inversión. En este método el cálculo del volumen de la piscina tiene mayor importancia que el área superficial.

- **Método de Reposición de las Pérdidas Térmicas:** método más adecuado de dimensionado de sistemas de calentamiento solar para piscinas. Consiste básicamente en dimensionar un área recolectora con potencia tal capaz de producir energía suficiente para, diariamente, reponer las pérdidas térmicas de la piscina caliente. Para llegar al dimensionado de la cantidad ideal de colectores solares se realiza un balanceo energético, relacionando las pérdidas y aumentos de energía térmica en la piscina. En este método el cálculo del área superficial de la piscina tiene mayor importancia que el volumen, pues la mayor parte de las pérdidas de energía de una piscina ocurre por su superficie, como es posible ver a continuación.

### 9.5.1 Pérdidas de energía

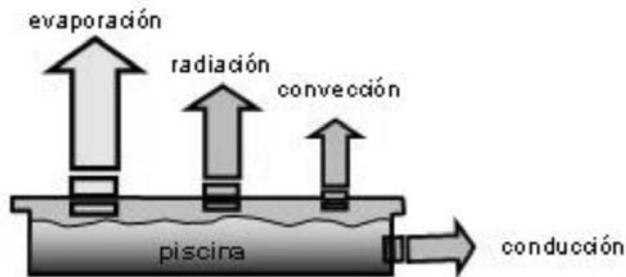


Figura 9.4. Pérdidas de energía en una piscina

- **Pérdida por Evaporación:** responsable por el 60% al 70% de la pérdida térmica de una piscina caliente. Consiste en el paso de agua, ubicada en la superficie de la piscina, del estado líquido al estado gaseoso. Es el principal mecanismo de pérdida de calor de una piscina y tiene relación directa con la velocidad del viento, temperatura ambiente y humedad relativa del aire. Debe prestarse especial atención a la velocidad del viento, que es directamente proporcional a la pérdida por evaporación y, consecuentemente tiene importancia relevante en el dimensionado del área recolectora.

- **Pérdida por Convección:** ocurre cuando hay movimiento de corrientes de aire bajo la superficie de la piscina. La capa de aire frío que se desplaza bajo la superficie de la piscina se calienta por el contacto con la capa superficial de agua y enseguida da lugar a otra

capa de aire frío. La pérdida por convección también es directamente proporcional a la velocidad del viento y puede representar hasta un 20% de las pérdidas térmicas. Se duplica la pérdida por convección cuando se duplica la velocidad del viento.

- **Pérdida por Radiación:** las piscinas irradian energía térmica directamente al cielo. Este es otro importante mecanismo de pérdida térmica y puede sobrepasar el 10% de la pérdida de energía térmica total de una piscina caliente.

- **Pérdida por Conducción:** ocurre a través de la transferencia de calor entre el agua de la piscina enterrada y el suelo u hormigón que circunda sus laterales y fondo. El suelo seco y el hormigón son relativamente buenos aislantes térmicos, que hace que la pérdida térmica por conducción sea muy pequeña. En el caso de piscinas

desenterradas, la pérdida por conducción es mayor, sin embargo aún es muy pequeña al compararla a los demás mecanismos de

pérdida de energía, no sobrepasando, en la mayoría de los casos un 5%.

### 9.5.2. Ganancias de energía



Figura 9.5. Ganancia de energía en una piscina

- **Ganancia Directa de Energía:** consiste en el aumento directo proporcionado por la radiación solar que incide directamente bajo la superficie del agua de la piscina. Se estima que aproximadamente un 75% de esta energía se absorbe y un 25% se refleja.

- **Ganancia del Calentamiento Solar:** consiste en la energía solar absorbida por los colectores solares, transformada en energía térmica y transferida al agua de la piscina. Existen diferentes alternativas de colectores solares que pueden utilizarse para esta aplicación, como fue tratado en el ítem 9.1.1

- **Ganancia por el Calentamiento Auxiliar:** se utiliza para complementar el calentamiento en situaciones donde el bajo nivel de radiación solar incidente no permite que el sistema de calentamiento solar atienda la demanda energética de la piscina. Las alternativas más comunes son: bombas de calor (eléctrico), calentadores de paso a gas (GLP o gas natural) y generadoras de agua caliente (GLP, diesel o leña).

### 9.5.3. Balance de Energía

Después de definir los mecanismos de pérdida y aumento de energía térmica de la piscina, es necesario realizar el balance de energía, cuyo objetivo es cuantificar

la energía que el sistema de calentamiento solar deberá reponer diariamente a la piscina. Para ello, sabemos que:

$$\text{Ganancia de Energía en la Piscina} = \text{Ganancia directa} + \text{Ganancia Cal. Solar} + \text{Ganancia Cal. Auxiliar} \quad (9.1)$$

$$\text{Pérdida de Energía en la Piscina} = \text{Pérdida por evaporación} + \text{Pérdida Convección} + \text{Pérdida Radiación} + \text{Pérdida Conducción} \quad (9.2)$$

Para que haya un balance de energía, se parte del siguiente principio:

$$\text{Pérdida de Energía en la Piscina} - \text{Ganancia de Energía en la Piscina} = 0 \quad (9.3)$$

$$\text{Pérdida de Energía en la Piscina} = \text{Ganancia de Energía en la Piscina} \quad (9.4)$$

Sustituyendo la ecuación 9.2 en la 9.4, se obtiene:

$$\text{Pérdida de Energía en la Piscina} = \text{Ganancia directa} + \text{Ganancia Cal. Solar} + \text{Ganancia Cal. Auxiliar} \quad (9.5)$$

Aislando el aumento de energía proveniente del calentamiento solar, se obtiene:

$$\text{Ganancia Cal. Auxiliar} = \text{Pérdida de Energía en la Piscina} - \text{Ganancia directa} - \text{Ganancia Cal. Auxiliar} \quad (9.6)$$

## 9.6 Proyecto de un sistema de calentamiento solar para piscina

El diagrama presentado a continuación describe, paso a paso, las etapas de un proyecto de implantación de un SCS-Piscina. La etapa de instalación está entre las etapas 5 y 10, que se detallarán a continuación.

En un proyecto de calentamiento solar de piscinas se reúnen conceptos de gran importancia de las áreas de ingeniería térmica e hidráulica que

son fundamentales para retirar del colector solar el máximo de eficiencia posible. En este módulo, se tratarán los métodos para agrupación de colectores, interconexión entre agrupaciones, dimensionado de tubería, interconexión con la casa de máquinas y calentamiento auxiliar. Todo eso con énfasis en los puntos de mayor relevancia de cada etapa del proceso.

### El Proyecto y su Importancia

El proyecto tiene gran importancia en la cadena productiva del calentador solar, pues garantiza una correcta instalación, reduce costos en función de la solución optimizada, facilita la planificación de la ejecución de la instalación y

permite retirar el máximo de rendimiento posible del colector solar. Por ello, es importante destacar que los sistemas de calentamiento solar pueden clasificarse como:

#### a. Sistema de Calentamiento Solar de Pequeño Porte:

Se refiere al calentamiento de piscinas pequeñas, residenciales e infantiles donde el área recolectora utilizada y complejidad de

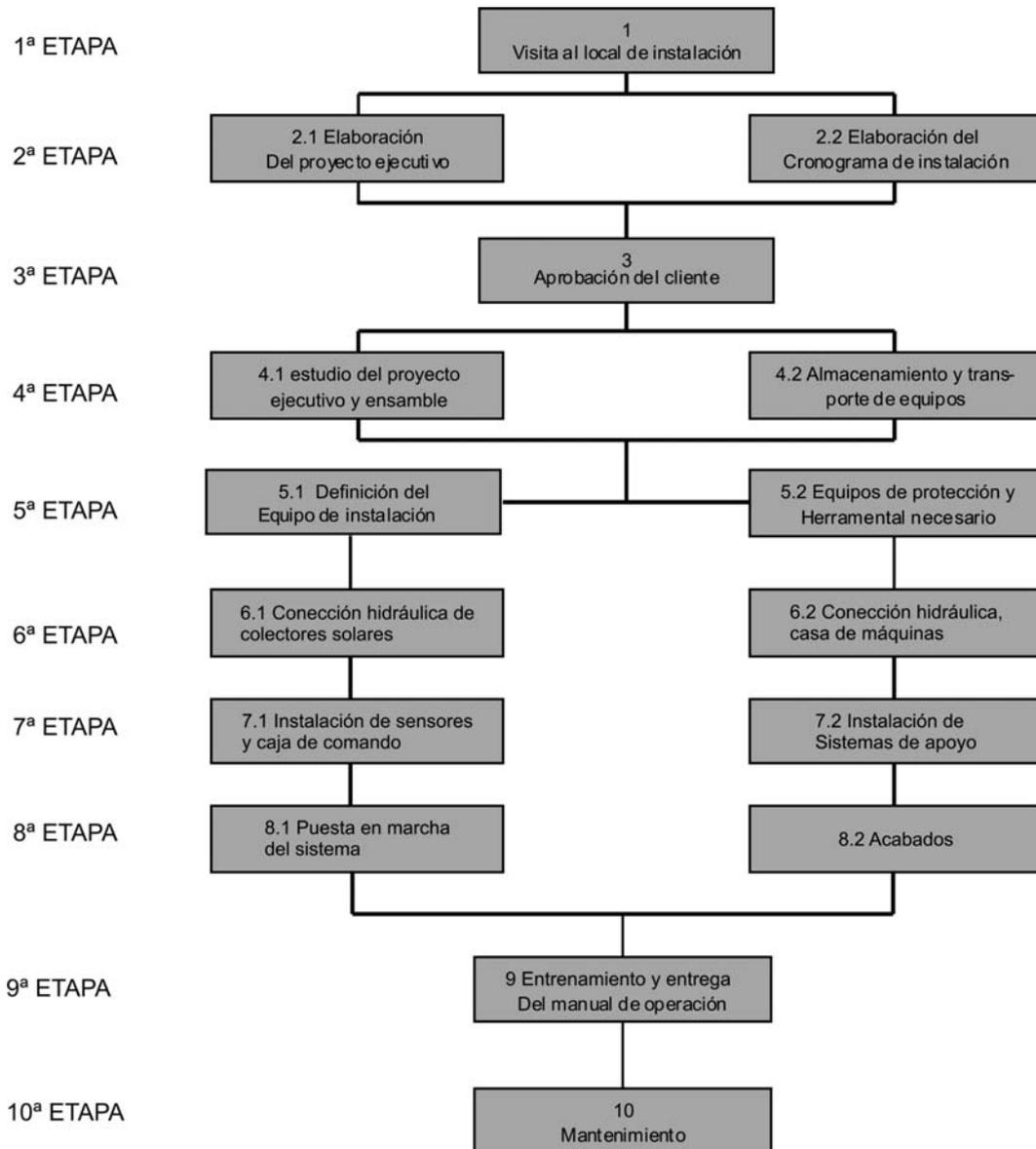
instalación son menores. Normalmente no hay necesidad de proyecto hidráulico en función de la simplicidad de instalación.

### b. Sistemas de Calentamiento Solar de Gran Porte:

Se refiere al calentamiento de piscinas grandes, muy común en clubes, donde siempre es necesaria la elaboración de un proyecto

ejecutivo en función de la gran área recolectora y mayor complejidad de instalación.

#### 9.6.1. Diagrama de implantación de un SCS-Piscina



## 9.6.2. Visita Técnica al local de la instalación

La primera medida que debe tomarse para elaboración de un proyecto de sistema de calentamiento solar es conocer el local de instalación del equipo.

Durante esta visita técnica, existen algunas informaciones de gran importancia que deben analizarse. Estas son las siguientes:

### a. Local de Instalación de los Colectores:

De nada sirve dimensionar correctamente un sistema de calentamiento solar si no hay espacio disponible para instalación del equipo. Por lo tanto, es fundamental “subir al tejado” y verificar si el espacio es suficiente para la ubicación del número de colectores dimensionados. Este análisis también puede realizarse a través de los proyectos de construcción de la obra, sin embargo es importante subrayar que no siempre la práctica está en conformidad con lo que está en el

proyecto, principalmente en obras más antiguas. De esa forma, es siempre más seguro verificar el espacio disponible “in situ”. Además, es importante analizar el tipo y la resistencia estructural del local donde se instalarán los colectores. Como antedicho, la orientación del tejado en relación al norte geográfico, inclinación y sombra son tres factores de gran relevancia que también deben verificarse para que sea posible retirar el máximo de eficiencia del colector solar.

### b. Distancia entre Colectores y Sala de Máquinas:

Fundamental para el dimensionado de la bomba hidráulica, pues cuanto mayor es la distancia, más potente deberá ser la bomba y mayor serán las pérdidas térmicas en la tubería. En términos prácticos, no hay una limitación muy bien

definida respecto a la distancia máxima entre colectores y casa de máquinas. Sin embargo, es prudente duplicar los cuidados en instalaciones donde la distancia sobrepasa los 100 metros.

### c. Sala de Máquinas:

Cuando existe la oportunidad de participar del proyecto de la sala

de máquinas, la inserción del calentador solar es bastante sencilla.

Sin embargo, infelizmente no es esta la realidad que se encuentra en la práctica. En la mayoría de los casos, la piscina y sala de máquinas ya están listas y no fueron preparadas para recibir el calentamiento solar y, por eso, se tornan los puntos de mayor complejidad de una instalación de calentamiento solar. En función de ello, es de fundamental importancia verificar, en la visita técnica, el diámetro de la tubería proveniente de la rejilla del fondo de la piscina, diámetro de la tubería de

alimentación de los bocales de retorno, potencia de la bomba hidráulica de filtrado, tiempo de filtrado y posibles locales por donde podrá pasar la tubería de alimentación y retorno de los colectores. Todas estas informaciones también se analizarán por el lado del sistema de calentamiento solar y, para que la inserción en la casa de máquina sea técnicamente posible, deberá haber compatibilidad entre las informaciones.

#### **d. Alimentación Eléctrica:**

Como ha sido dicho anteriormente, todos los sistemas de calentamiento solar de piscinas son bombeados, por lo tanto es

importante verificar el tipo de alimentación eléctrica de la obra para que se proyecte el tablero de comando eléctrico de forma compatible.

### **9.6.3. Diseño Hidráulico de los Colectores**

En un proyecto de diseño hidráulico de los colectores es necesario, primero, definir la interconexión hidráulica entre los colectores y, posteriormente, definir

la interconexión hidráulica entre agrupaciones o baterías de colectores. Para ello, existen criterios y observaciones que deberán tomarse en cuenta.

#### **a. Interconexión Hidráulica entre Colectores Solares**

La interconexión entre colectores es bastante sencilla y práctica, sin embargo no debe realizarse sin criterios. Es decir, para cada proyecto de colector solar hay siempre un límite máximo de colectores que pueden interconectarse entre sí y esta

información debe ser siempre divulgarla por el fabricante del colector solar.

La preocupación en limitar la cantidad de colectores interconectados en una misma batería está relacionada con los

aspectos hidráulicos de la instalación. El colector solar de piscina se proyectó para garantizar una distribución hidráulica homogénea entre los tubos de elevación y esta característica también debe mantenerse cuando se trata de baterías de colectores. El agua, como cualquier otro fluido,

siempre busca el recorrido más sencillo para escurrir. La experiencia práctica muestra que en baterías de colectores muy grandes el agua no llena totalmente los colectores del centro de la batería, prefiriendo pasar directamente por la tubería principal.

### b. Interconexión Hidráulica entre Batería de Colectores

El recurso de interconexión hidráulica entre baterías de colectores se utiliza exactamente cuando el número de colectores dimensionados sobrepasa el límite máximo de colectores por baterías especificadas por el fabricante o cuando el espacio disponible no permite que los colectores se instalen en una única batería. Independiente de la forma cómo se interconectarán las baterías de

colectores, **es importante que siempre se dividan en baterías iguales, es decir, con el mismo número de colectores**. De esta forma se garantiza que el caudal de trabajo será el mismo en todas ellas y, consecuentemente, la eficiencia térmica de la instalación será mayor. En estos casos, las baterías de colectores pueden interconectarse entre sí, de las siguientes formas:

#### Interconexión en Serie:

La tubería de alimentación se conecta solamente en una de las baterías, que a su vez se conecta a la batería siguiente hasta que la última batería se conecte a la tubería de retorno. Fíjese en la figura a continuación que la interconexión

entre baterías se realiza para conectar la salida de agua caliente de una batería a la entrada de agua fría de la batería siguiente. Además la válvula rompe-vacío se instala solamente en la tubería de retorno, en la última batería de la serie.

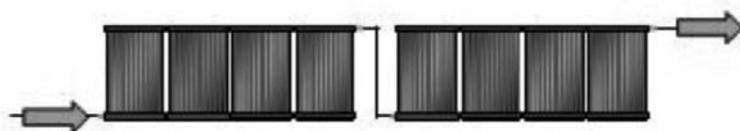


Figura 9.6 Interconexión entre baterías en serie.

### Interconexión en Paralelo:

La tubería de alimentación y retorno se conecta en todas las baterías al mismo tiempo. La válvula

rompe-vacío se insta después de la unión de las baterías y siempre en el punto más alto de la instalación.



Figura 9.7- Interconexión entre baterías en paralelo

Esta modalidad de instalación es muy utilizada en sistemas residenciales y, en este caso el **área recolectora de interés** para cálculo de caudal es igual al área recolectora total.

No obstante, también hay criterios para su utilización. Estos criterios están relacionados al aspecto hidráulico de la instalación. La experiencia práctica muestra que la interconexión de baterías de colectores en paralelo donde se utiliza un extenso número de derivaciones de alimentación

presenta una gran dificultad en mantener la uniformidad o constancia del caudal en todas las baterías de colectores. Por ese motivo, las baterías de los extremos son favorecidas y las del centro perjudicadas.

El desequilibrio hidráulico provocado por el exceso de baterías en paralelo compromete la eficiencia térmica de la instalación solar. Por ello se recomienda trabajar **como máximo con 3 baterías en paralelo** y así en adelante.

### Interconexión Mixta:

Muy utilizada en proyectos de sistemas de calentamiento solar de piscinas de gran porte. Como el propio nombre lo dice, se trata de una mezcla entre las dos modalidades discutidas anteriormente: serie y paralelo.

Generalmente, la interconexión entre baterías se explota al máximo en la modalidad en serie y, después de agotar las posibilidades, empieza el estudio de posibilidades de interconexiones en paralelo.

### 9.6.4. Otros Aspectos Importantes en la Distribución Hidráulica de los Colectores Solares y Baterías de Colectores Solares

Además de lo discutido anteriormente, es importante alertar sobre algunos puntos que pueden hacer la diferencia entre un sistema

de calentamiento solar eficiente y un sistema de calentamiento solar eficaz. Son los siguientes:

#### a. Equilibrio Hidráulico entre Alimentación y Retorno:

Los colectores o baterías de colectores deben instalarse para garantizar equilibrio hidráulico entre ellos, es decir, el circuito hidráulico no puede generar preferencia y así, desequilibrar hidráulicamente el sistema.

El agua siempre busca el recorrido de menor esfuerzo para su desplazamiento, por ese motivo el circuito hidráulico tiene la función de garantizar que el agua alimente todos los colectores o baterías de colectores uniformemente.

#### b. Drenaje de los Colectores Solares:

El circuito hidráulico debe proyectarse para permitir el drenaje de los colectores y tubería cuando la bomba hidráulica se desconecta. El drenaje del sistema solar es

importante para evitar el sobrecalentamiento del agua, que puede comprometer la tubería de PVC. Además, es una forma de alargar la vida útil de los colectores solares,

#### c. Simplicidad en el circuito hidráulico en la tubería:

El circuito hidráulico debe ser lo más simplificado posible, para reducir las pérdidas de carga del sistema. El recorrido más largo del circuito hidráulico debe conectarse

a la tubería de alimentación, quedando el trayecto más corto para los colectores de retorno, cuyo objetivo es reducir las pérdidas térmicas del sistema.

### 9.6.5. Distribución Hidráulica de la Casa de Máquinas

El proyecto hidráulico de inserción del sistema solar en la casa de máquinas es sencillo, siempre y cuando se haya previsto en la etapa de proyecto y construcción de la

piscina. Lo que torna la casa de máquina compleja es proyectar la inserción del sistema solar cuando éste no fue previsto en la construcción de la piscina.

### 9.6.5.1. Alimentación y Retorno de los Colectores Solares

La tubería de alimentación y retorno de los colectores puede insertarse en la casa de máquinas de varias formas, cada una

adecuada a una situación específica. Las alternativas más comunes son:

#### a. Utilizar la Bomba de Filtrado:

Alternativa más común recomendada para instalaciones de pequeño porte donde el tiempo de filtrado es inferior a 8 horas y el caudal y presión de trabajo son bajos, de forma que el riesgo de

daños al filtro es muy pequeño. En este tipo de instalación la misma bomba hidráulica alimenta el sistema de filtrado y de calentamiento solar al mismo tiempo. Vea la siguiente figura.

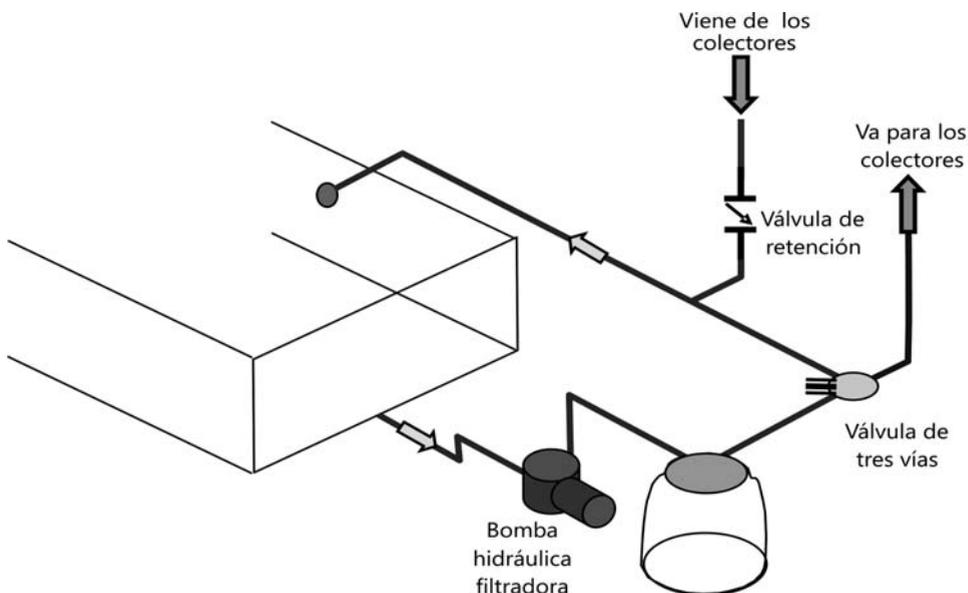


Figura 9.8. Interconexión utilizando la misma bomba del filtrado

Como fue visto anteriormente, se instala una válvula de retención después del filtro cuya función es evitar el “golpe de ariete” en el rotor de la bomba en el momento en que se desarma. Además, la válvula de

retención tiene la función de evitar retorno de agua hacia adentro del filtro, provocando retrolavado durante el drenaje del sistema solar. La válvula entre los tubos de alimentación y retorno de los

colectores debe permanecer siempre cerrado, obligando a que el agua pase por los colectores antes de regresar a la piscina. El by-pass permite el drenaje de los colectores y generalmente está en tuberías de Ø20mm PVC.

En instalaciones de este tipo, es fundamental verificar si la tubería de la rejilla de fondo, potencia de la bomba hidráulica y caudal de filtrado son compatibles con el sistema de calentamiento solar.

### b. Bomba de Circulación Independiente:

Se utiliza en sistemas de calentamiento solar de gran porte, donde el tiempo de filtrado es superior a 8 horas e inferior a 16 horas. Normalmente en estos casos, la tubería proveniente de la rejilla de fondo no es capaz de atender a los

caudales del sistema de filtrado y del sistema solar al mismo tiempo. De esa forma, la prioridad de accionamiento durante el día es del calentamiento solar, realizándose el filtrado durante la noche. Vea la siguiente figura

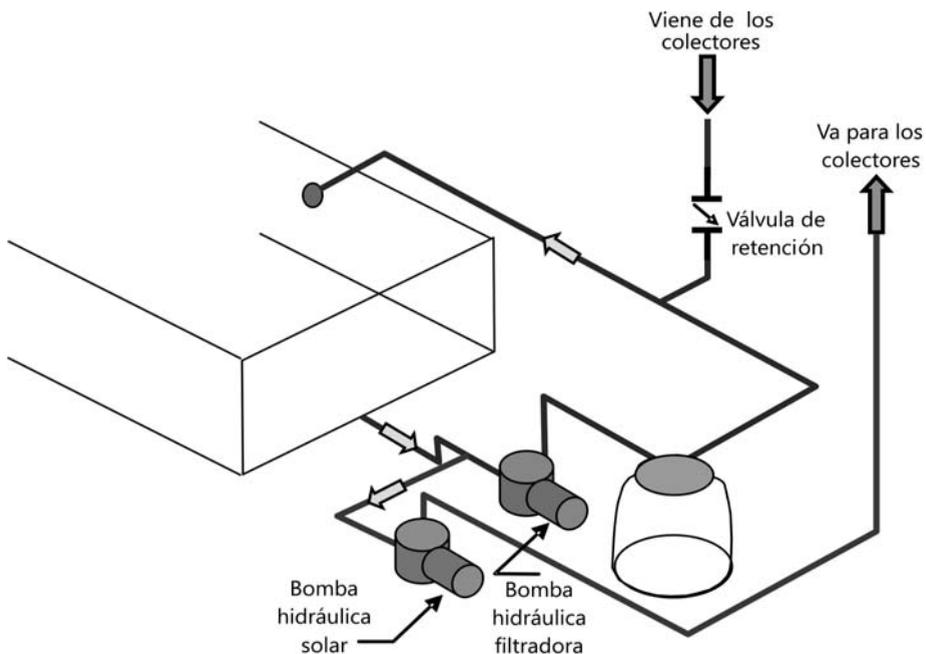


Figura 9.9. Interconexión utilizando bombas independientes

En este tipo de sala de máquinas se instala una válvula de retención en la impulsión de la

bomba hidráulica del sistema solar, cuya función es evitar el “golpe de ariete” en el momento en que se

desarma. Se instala también otra válvula de retención después del filtro y tiene la función de evitar retorno de agua, provocando retrolavado durante el drenaje del sistema solar. En instalaciones de este tipo es fundamental verificar si la tubería de la rejilla del fondo es compatible con el caudal necesario al sistema de calentamiento solar.

Sin embargo, existen salas de máquinas cuyo régimen de filtrado de la piscina no para, es decir, dura 24 horas por día. Naturalmente que casos como estos son más complejos y exigen, además de una bomba hidráulica independiente, un nivel de automatización mucho mayor, un equipo técnico con experiencia, capacitado y originalidad en soluciones de ingeniería.

### 9.6.5.2. Dimensionado de la Bomba Hidráulica y Tubería

Para el dimensionado de la bomba hidráulica y tubería del sistema de calentamiento solar es

necesario, primero, calcular el caudal de proyecto con base en la siguiente ecuación:

$$\text{Caudal de Proyecto} = 252 \text{ litros/h/m}^2 \times \text{Área Recolectora de Interés}$$

Donde el área recolectora de interés hace referencia al concepto de interconexión hidráulica entre baterías de colectores en serie y paralelo. Basado en esta ecuación es posible calcular el caudal de proyecto en la alimentación, interconexión y retorno de los colectores.

Respecto al dimensionado de la bomba hidráulica. Después de calcular el caudal de trabajo, es necesario calcular la altura manométrica del circuito hidráulico, definir un proveedor para la bomba y, a través de consulta al catálogo técnico (curva de la bomba) especificar la más adecuada.

A partir de esta información, es posible especificar toda la tubería del circuito hidráulico. Para ello basta verificar en la tabla de caudales máximos cual es la tubería más adecuada para cada tramo del sistema hidráulico.

El dimensionado de la bomba hidráulica para una piscina sigue la misma metodología de dimensionado presentada para el sistema de calentamiento solar de baño.

### 9.6.5.3. Interconexión Hidráulica del Sistema de Calentamiento Solar

La interconexión entre el sistema de calentamiento solar y auxiliar puede realizarse de varias formas y depende de las condiciones de instalación, perfil de

utilización de la piscina y creatividad del equipo técnico en encontrar soluciones. A continuación están las formas más comunes de interconexión:

#### a. Utilizando la Tubería de Retorno del Filtrado:

Se aplica en casos de sistema de calentamiento solar de pequeño porte, donde la presión y caudal de trabajo son bajos. La interconexión del calentamiento auxiliar, normalmente se realiza en la tubería de retorno del filtrado, después del retorno de agua caliente de los colectores. De esta forma el agua de la piscina solamente pasa por el sistema de calentamiento auxiliar después de haber pasado por el sistema solar. Es decir, la

preferencia para calentamiento de la piscina siempre será del calentador solar. En caso la incidencia de radiación solar sea insuficiente, un termostato accionará el calentamiento auxiliar que realizará el complemento de la temperatura. En caso haya necesidad de uso del calentamiento auxiliar durante la noche, los registros de alimentación y retorno del sistema solar deberán cerrarse y la bomba hidráulica deberá trabajar en el modo “manual”.

#### b. Utilizando Bomba Hidráulica Independiente:

En casos donde el cliente exige mayor nivel de confort en la operación del sistema o en casos donde el sistema de calentamiento auxiliar se activa por presostato, como por ejemplo, los calentadores de paso a gas, se utiliza una bomba exclusiva para el sistema de calentamiento auxiliar, succionando agua de la tubería proveniente de la rejilla del fondo.

En este caso, el sistema de calentamiento auxiliar podrá activarse en cualquier momento, sin necesidad de manejo de registros. Sin embargo, es fundamental verificar si la tubería de la rejilla de fondo es compatible con la suma de los caudales de la bomba de filtrado y bomba del calentamiento auxiliar.

Es importante destacar que estas son las soluciones más

comunes para inserción del calentamiento auxiliar en el circuito

hidráulico del sistema solar, sin embargo no son las únicas.

#### 9.6.5.4. Especificación del Tablero de Comando Eléctrico

Existen en el mercado diversas alternativas de tableros de comando eléctrico para automatización de la bomba hidráulica de circulación de agua en el sistema de calentamiento solar de piscinas, sin embargo la función básica de todos ellos es la misma y siguen el mismo principio de funcionamiento.

Normalmente, todos presentan un **controlador diferencial de temperatura** con **dos sensores de temperatura**. Uno de los sensores se instala en los colectores y el otro en la tubería proveniente de la rejilla de fondo de la piscina, próximo a la bomba. A través de la diferencia de temperatura entre los dos sensores, es decir, a través de la diferencia de temperatura entre los colectores y el agua de la piscina, el controlador diferencial de temperatura administra el funcionamiento de la bomba hidráulica, que realiza o no la circulación de agua en los colectores. De esta forma, el sistema solar se torna inteligente, accionando la circulación de agua entre los colectores siempre que haya buena incidencia de radiación solar. Además, el controlador diferencial de temperatura (la

mayoría) ofrece al usuario la opción de ajuste de la temperatura de calentamiento deseada en la piscina, interrumpiendo el funcionamiento del sistema cuando se alcanza esa temperatura.

El sensor de temperatura de los colectores generalmente se fija en el propio colector solar o en una de sus grapas de fijación.

Respecto al sensor de temperatura de la piscina, éste se fija en la tubería de la rejilla del fondo a través de una vaina metálica, como muestra la figura en la página siguiente.

Se debe tener cuidado que el material de la vaina sea compatible con el tratamiento químico del agua, por ejemplo acero inoxidable 316 para agua clorada.

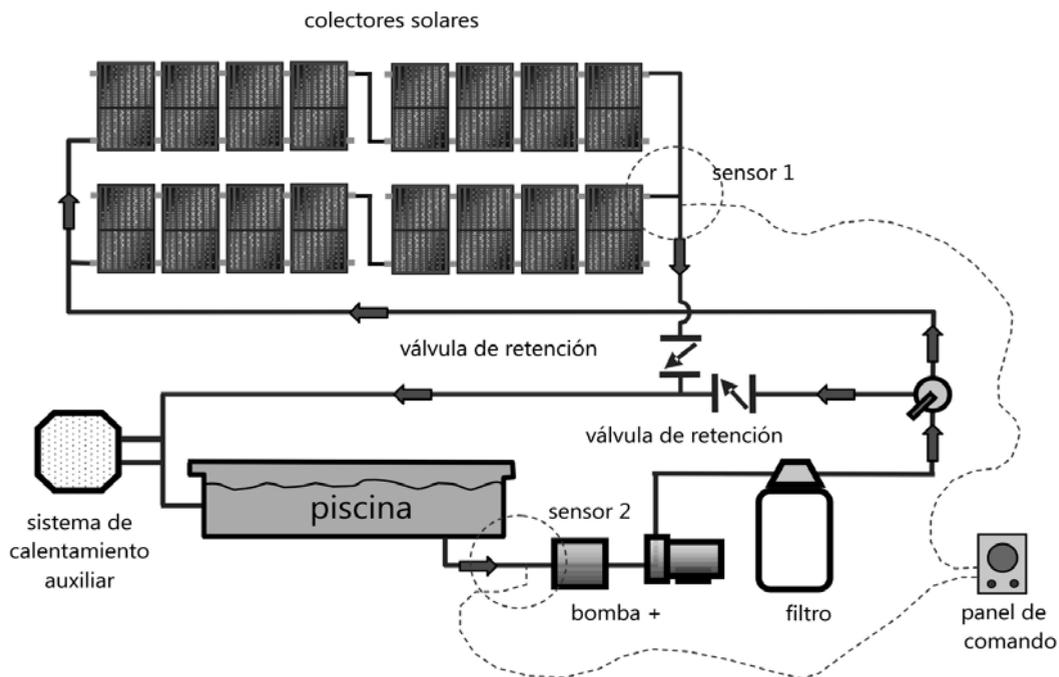


Figura 9.10 – Posición de Sensores

Normalmente, los cables de los sensores son cortos y debido a eso, es necesario colocar alargadores. No obstante, el tipo de cableado utilizado en los alargadores puede variar en función del tipo de sensor y recomendaciones del fabricante del sistema de comando eléctrico.

La opción de programación de diferencial de temperatura recomendada para automatización de la bomba hidráulica es la siguiente:

Diferencial de temperatura entre colectores solares y piscina para armar la bomba hidráulica de circulación: de 4 °C a 3,5°C.

Diferencial de temperatura entre colectores solares y piscina para desarmar la bomba hidráulica de circulación: de 2 °C a 1,5°C.

Es importante destacar que esta es una descripción sencilla del funcionamiento de la función principal de un cuadro de comando para calentamiento de piscina. Sin embargo, este cuadro puede ser más sofisticado en la medida en que el sistema de calentamiento empieza a tornarse más complejo y necesitar soluciones técnicas específicas.

## 9.7. Instalación, Seguridad y Mantenimiento de Sistemas de Calentamiento Solar - PISCINAS

La instalación de un sistema de calentamiento solar de piscina es relativamente sencillo. Sin embargo es fundamental que el equipo de instaladores haya pasado por una capacitación técnica y esté conciente respecto a los puntos relacionados con la seguridad. En

este módulo se tratarán los puntos de mayor relevancia en el proceso de instalación de un sistema de calentamiento solar, cuidados con la seguridad, mantenimiento y soluciones para los principales problemas.

### 9.7.1. Procesos Previos al Inicio de la Instalación

Este es el momento en que el equipo técnico debe planificar la ejecución de la instalación de calentamiento solar. Generalmente esta planificación empieza con un estudio detallado del proyecto ejecutivo y seguido de una visita técnica al local de la obra, donde todos los puntos analizados en la etapa de proyecto se analizarán nuevamente, pero con el objetivo de verificar los recursos que serán necesarios para la ejecución del servicio. Para ello se presenta a continuación una lista de observaciones que deben considerarse en esta etapa. Son ellas:

a. Seguridad en primer lugar. Antes de cualquier cosa es importante certificarse que el local

donde se realizará la instalación es seguro y, a continuación, analizar el tipo de EPP (equipo de protección personal) que será necesario para garantizar la protección del equipo técnico.

b. La facilidad de acceso al local de instalación de los colectores solares es muy importante. En caso que haya dificultades, es importante prever la construcción de andamios y/o pasarelas de acceso

c. Conozca el local de instalación de los colectores solares. Verifique si habrá necesidad de construcción de soporte metálico y/o analice las alternativas para fijación de los colectores

d. Aunque ya se haya verificado en la etapa de proyecto, es importante asegurar que el local no presenta problemas con relación a sombra y que la orientación e inclinación del local están adecuadas

e. Conozca el recorrido entre la sala de máquinas y el local de instalación de los colectores solares y analice las alternativas de fijación de la tubería de alimentación y retorno y los posibles obstáculos, que deberán contornarse a lo largo del recorrido

f. Conozca la sala de máquinas, el espacio disponible para trabajar y las dificultades para la inserción del sistema solar.

g. Verifique si la lista de material hidráulico, accesorios y herramientas está completa. La falta de uno de estos ítems puede resultar en la paralización de la obra, atraso en el plazo de entrega y pérdida de tiempo.

No hay una regla predefinida que prioriza etapas en la planificación de ejecución de la instalación de un sistema de calentamiento solar. Aunque sea común que las instalaciones empiecen por los colectores solares, pasando por la tubería de alimentación y retorno de los colectores y finalizando en la sala de máquinas.

### 9.7.2. Fijación de los Colectores Solares

Después de finalizar la etapa de instalación hidráulica de los colectores solares, es importante que, antes de empezar la próxima etapa del proceso, se realice su fijación. De esa forma el equipo no corre riesgos de ser llevado por vientos o temporales.

Algunos colectores solares disponibles en el mercado salen de fábrica con los puntos de fijación definidos en su propia estructura.

Para fijación de los colectores solares se recomienda utilizar alambres de cobre o acero galvanizado y abrazaderas o cintas perforadas de acero galvanizado. Además, es importante subrayar que los colectores solares de plástico presentan alto coeficiente de dilatación y por eso se recomienda que la fijación se realice solamente en el tubo maestro superior para dejar el tubo maestro inferior libre para la dilatación del material.

La fijación mal realizada de los colectores solares puede causar la formación de “ondulaciones” en las baterías de colectores y causar innumerables problemas de pérdidas en la interconexión hidráulica. Por ese motivo, la fijación

debe realizarse, como mínimo, en tres puntos (extremos y centro) de los colectores. Para ello, puede utilizarse una regla de aluminio para facilitar el alineamiento de la tubería maestra.

## 9.8. Puesta en Marcha de la Instalación

Al finalizar la instalación, es importante que se realice una inspección general en la obra antes de considerar terminado el servicio. A continuación están los principales puntos que deben ser verificarse:

a) Verifique si los registros y válvulas están ajustados e instalados correctamente, según la especificación del proyecto ejecutivo.

b) Verifique si la interconexión hidráulica entre colectores y entre baterías de colectores está correcta y sin riesgos de pérdidas.

c) Verifique si el sistema de drenaje está instalado correctamente.

d) Verifique si todo el circuito hidráulico está pegado y sin riesgos de pérdidas.

e) Verifique si todos los colectores solares están fijados correctamente.

f) Verifique si las válvulas rompe-vacío están instaladas correctamente y si presentan algún tipo de problema.

g) Verifique si los sensores de temperatura están instalados correctamente y si sus alargadores están bien hechos.

h) Verifique si el cuadro de comando eléctrico está instalado correctamente y si la alimentación eléctrica de la obra es compatible con el cuadro.

i) Verifique si la programación del controlador diferencial de temperatura está correcta.

## 9.9. Mantenimiento

El mantenimiento de un sistema de calentamiento solar es extremadamente sencillo, básicamente preventivo y fundamental para el buen funcionamiento del equipo. Existen algunas recomendaciones que son específicas de cada fabricante de calentador solar, sin embargo, independientemente se recomienda que el procedi-

miento de inspección presentado anteriormente se repita a cada 6 meses. Normalmente, las reventas especializadas en calentamiento solar tienen equipos técnicos capacitados para este tipo de prestación de servicio que, preferentemente, debe estar marcado desde la entrega de la obra.

### 9.9.1. Problemas, Causas y Soluciones

La tabla que publicamos en la siguiente página presenta los principales problemas, causas y

soluciones en instalaciones de calentamiento solar de piscinas.

Problema	Local	Causa	Acción
Pérdida	En la tubería	Pegamento mal realizado	Realizar nuevamente el pegamento
		Falta de ajuste	Ajustar las conexiones.
	En los paneles	Abrazaderas mal colocadas/conectadas	Recolocarlas limpiando los surcos y verificando la colocación perfecta del circuito.
	En el tubo maestro	Falla y fabricación	Entrar en contacto con el fabricante.
	En los tubos de elevación	Falla y fabricación	Entrar en contacto con el fabricante.
El agua no caliente	Piscina	Cuadro de comando desconectado	Conectar el cuadro
		Válvulas fuera de posición	Instalar las válvulas de acuerdo con el proyecto
		Sombra	Verificar poda de árboles
			Verificar local ideal para instalación
		Poco caudal de agua	Verificar filtro previo.
			Verificar filtro.
			Verificar bomba.
			Verificar obstrucción en la rejilla de fondo de la piscina.
	Verificar obstrucción en los paneles.		
Falta de energía	Verificar disyuntores.		
Falta de capa térmica	Colocar capa térmica.		
Tubos llenos de agua con sistema desconectado	Alimentación de los paneles	Registro del By pass cerrado	Abrir by pass de drenaje.
		Válvula rompedor trabada obstruida	Retirla y limpiarla
		Registros cerrados	Abrir registros según el proyecto.
		Retornos de la piscina cerrados.	Abrir los retornos según el proyecto.

# Anexo 1

## RADIACION SOLAR

# CÁLCULO DE LA RADIACIÓN SOLAR GLOBAL INCIDENTE SOBRE SUPERFICIE INCLINADA – PROMEDIO MENSUAL

Duffie y Beckman [1991] presentan, en detalles, varios modelos de estimación de la radiación solar en sus componentes directa y difusa, para promedios horarios, diarios y mensuales.

En el desarrollo de este curso, se adopta la metodología de cálculo de la radiación global en promedio

mensual, puesto que este cálculo permite elegir la superficie de un tejado más favorable a la instalación de los colectores solares, además del ahorro anual resultante del uso del calentamiento solar.

La ecuación propuesta por Duffie y Beckman [1991] para el cielo isotrópico es:

$$\overline{H_r} = \underbrace{\overline{H} \left( 1 - \frac{\overline{H}_D}{\overline{H}} \right)}_{1^\circ \text{ Término}} R_B + \underbrace{\overline{H}_D \left( \frac{1 + \cos \beta}{2} \right)}_{2^\circ \text{ Término}} + \underbrace{\overline{H} \rho_g \left( \frac{1 - \cos \beta}{2} \right)}_{3^\circ \text{ Término}}$$

Ecuación 4.13

Donde

$\overline{H_r}$ : Radiación solar global incidente en el plano inclinado, en promedio mensual.

$\overline{H}$ : Radiación solar global incidente en el plano horizontal, en promedio mensual.

$\overline{H}_D$ : Radiación solar difusa incidente en el plano inclinado, en promedio mensual.

$\rho_g$ : Reflectancia del entorno cercano del colector solar, cuyos valores están en la tabla 4.2 a continuación.

$R_B$ : Relación entre la radiación extra-terrestre incidente en el plano inclinado y en el plano, calculada por la ecuación 4.14:

$$R_B = \frac{(\pi/180 \omega'_s)(\text{sen} \delta \text{sen} \varphi \cos \beta - \text{sen} \delta \cos \varphi \text{sen} \beta \cos \gamma) + \text{sen} \omega'_s \cos \delta (\cos \delta \cos \beta + \text{sen} \varphi \text{sen} \beta \cos \gamma)}{\cos \varphi \cos \delta \text{sen} \omega'_s + (\pi/180 \omega'_s) \text{sen} \delta \text{sen} \varphi}$$

Ecuación 4.14

donde

$\omega'_s$ : corresponde al ángulo horario aparente en que ocurre la puesta del sol para una superficie inclinada. Su valor para el Hemisferio Sur se calcula por la ecuación:

$$\omega'_s = \text{mínimo} \left[ \begin{array}{l} \cos^{-1}(-\tan \varphi \tan \delta) \\ \cos^{-1}(-\tan(\varphi + \beta) \tan \delta) \end{array} \right]$$

Ecuación 4.15

En el Estudio de Caso A1 se calculó el ángulo horario de la puesta de Sol para una determinada ciudad, correspondiente a la primera línea de la matriz anterior. Ahora, este valor se recalculará para una

determinada superficie inclinada de un ángulo  $\beta$  en relación a la horizontal, es decir, dependiendo de su inclinación la superficie puede dejar de “ver” el Sol.

## Estudio de Caso 4.11

### Ángulo horario aparente para una superficie inclinada

Determine la hora de salida del Sol aparente para una superficie inclinada de  $20^\circ$  en relación a la

horizontal, instalada en una ciudad de Latitud  $\varphi = -15^\circ$ , los días de Solsticio de Verano e Invierno.

## Solución

	(Grados)	(Radianes)	
Latitud	-15	-0.262	<b>Solsticio de verano</b>
Declinación	-23.45	-0.409	
Inclinación Azimutal	20	0.349	
Superficie	180	3.142	
$\omega_s$	96.67	1.687	
$\omega'_s$	87.83	1.533	
$\omega'_s$ (mínimo)	<b>87.83</b>	<b>1.533</b>	

	(Grados)	(Radianes)	
Latitud	-15	-0.262	<b>Solsticio de invierno</b>
Declinación	23.45	0.409	
Inclinación Azimutal	20	0.349	
Superficie	180	3.142	
$\omega_s$	83.33	1.454	
$\omega'_s$	92.17	1.609	
$\omega'_s$ (mínimo)	<b>83.33</b>	<b>1.454</b>	

A continuación se presentan las planillas Excel correspondientes a los cálculos solicitados. Como en este programa las funciones trigonométricas se calculan para los ángulos expresos en radianes, se incluyeron esas conversiones.

a).- Solsticio de Verano: el Sol está al Sur de la ciudad. Por ello, la superficie inclinada no ve al Sol durante todo el período diurno. El

valor mínimo de  $\omega_s$  se determina por la segunda línea de la matriz.

b).- Solsticio de Invierno: el Sol está ahora al Norte de la ciudad. Por ello, la superficie inclinada ve al Sol durante todo el día, no siendo necesaria la corrección propuesta. Entonces el valor mínimo de  $\omega_s$  se determina por la primera línea de la matriz.

Material	$\rho_g$
Tierra	0,04
Ladrillo Rojo	0,27
Hormigón	0,22
Césped	0,2
Barro / Arcilla	0,14
Superficie Construcción Clara	0,6

Tabla 4.2 – Reflectancia de Materiales

Antes de continuar, se presupone una evaluación detallada de las ecuaciones 4.13 y 4.14.

En relación al 1° Término de la Ecuación 4.13:

Al reescribir la ecuación 3.4 a los valores mensuales de la radiación solar incidente, se obtiene:

$$\bar{H} = \bar{H}_D + \bar{H}_B \quad (4.16)$$

Todos los términos de esta ecuación se dividirán por la radiación global incidente en el plano horizontal en la forma:

$$\frac{\bar{H}_D}{\bar{H}} + \frac{\bar{H}_B}{\bar{H}} = 1 \quad (4.17)$$

o sea:

$$\frac{\bar{H}_B}{\bar{H}} = 1 - \frac{\bar{H}_D}{\bar{H}} \quad (4.17)$$

De esa forma se obtiene:

$$\bar{H}_B = \bar{H} \left( 1 - \frac{\bar{H}_D}{\bar{H}} \right) \quad (4.18)$$

El parámetro  $R_B$  (ecuación 4.13) permite la transformación de la radiación directa en el plano horizontal a la correspondiente en el plano de la superficie de trabajo. Por lo tanto, el significado físico del 1° Término de la ecuación 4.13 es el valor de la componente de la radiación directa incidente en el

plano inclinado  $\beta^\circ$  respecto a la horizontal.

En relación al 2º y 3º Términos de la Ecuación 4.13:

Los términos entre paréntesis corresponden a los factores de forma geométricos entre el plan inclinado y el cielo ( $F_{p\text{-cielo}}$ ) y entre la superficie y el suelo ( $F_{p\text{-suelo}}$ ), respectivamente.

## Estudio de A2

### Factores de Forma Geométricos

Determine los factores de forma geométricos entre una superficie inclinada de  $30^\circ$  y el cielo

( $F_{p\text{-cielo}}$ ) y entre esa superficie y el suelo ( $F_{p\text{-suelo}}$ ).

### Solución

Basta sustituir el valor del ángulo  $\beta = 30^\circ$  en las respectivas ecuaciones:

$$F_{p\text{-cielo}} = \left( \frac{1 + \cos \beta}{2} \right) = 0,933$$

$$F_{p\text{-suelo}} = \left( \frac{1 - \cos \beta}{2} \right) = 0,067$$

Es decir, debido a su inclinación de  $30^\circ$ , la superficie “ve” el 93,3% de la radiación proveniente

del cielo y sólo el 6,7% de la radiación traída del suelo.

Comentarios: Note que  $F_{p\text{-cielo}} + F_{p\text{-suelo}} = 1$ .

Así, el segundo término de la ecuación 4.13 significa la radiación difusa incidente en el plan inclinado y proveniente del cielo, considerado isotrópico. Mientras el tercer término corresponde a la radiación proveniente del entorno cercano de la superficie (albedo) dada por el

producto entre la radiación global incidente y la reflectancia del entorno corregida por el factor de forma geométrico entre el suelo y el plan inclinado. Los tres términos de la ecuación 4.13 están en separado representados en la Figura 4.20.



Fig. 4.20 Componentes de la radiación solar. Fuente ADEME 2000

A continuación, se presenta el “paso a paso” de la metodología de cálculo de la radiación solar global

incidente en el plan inclinado, en promedio mensual.

### Paso 1 - Cálculo de la radiación solar extraterrestre - $H_o$

$$\bar{H}_o = \frac{24 \times 3600 G_{sc}}{\pi} \left( 1 + 0,033 \cos \left( \frac{2\pi d}{365} \right) \right) (\cos\phi \cos\delta \text{sen}\omega_s + \omega_s \text{sen}\phi \text{sen}\delta)$$

**Paso 2** - Cálculo de la radiación solar global incidente en el plano horizontal -  $H$

En el caso que esa información no esté disponible en Atlas Solarimétricos, se recomienda su estimativa por el Modelo de Bennett [1965]. Su ecuación es expresa por:

$$\frac{\overline{H}}{H^{\circ}} = a + b \frac{\overline{n}}{N} + ch$$

Donde:

a, b, c: coeficientes empíricos observados y datos en la Tabla 4.3 determinados desde datos que se incluye a continuación

Mes	a	b	c
Enero	0.225	0.4812	0,0007
Febrero	0.221	0.5026	0,0006
Marzo	0.221	0.5142	0,0005
Abril	0.188	0.5574	0,0005
Mayo	0.197	0.5423	0,0004
Junio	0.235	0.4780	0,0004
Julio	0.264	0.4386	0,0004
Agosto	0.291	0.3768	0,0006
Septiembre	0.260	0.4242	0,0006
Octubre	0.235	0.4744	0,0005
Noviembre	0.207	0.4816	0,0007
Diciembre	0.237	0.4343	0,0007

Tabla 4.3 - Coeficientes empíricos de correlación de Bennett Modificada

**Paso 3** - Cálculo de la radiación solar difusa incidente en el plano horizontal -  $H_D$

Modelos más comunes para decomponer la radiación solar en sus componentes directa y difusa, se

basa en el índice de claridad en promedio mensual  $K_T$ , definido por la ecuación:

$$K_T = \frac{H}{H^0}$$

Donde:  $H$  es la radiación global diaria media mensual y  $H^0$  es la radiación extraterrestre, ambas incidentes en superficie horizontal y ya definidas anteriormente.

Collares-Pereira y Rabi, citados por Duffie y Beckman (1991), propusieron una forma de calcular la media mensual de la componente difusa, sobre la base de la media mensual del índice de claridad.

$$H_d/H = 0,775 + 0,00606(\omega_s - 90) - [0,505 + 0,00455 * (\omega_s - 90)] * \cos(115K_T - 103) \quad (4.22)$$

**Paso 4.-** Cálculo de la razón  $R_B$  con la ecuación 4.13

**Paso 5.-** Cálculo de  $H_T$  con la ecuación 4.14

Nota: en la Ec. 4.22,  $H_d$ ,  $H$  y  $K_T$ , son medias mensuales de los respectivos valores que representan.

$(\omega_s - 90)$

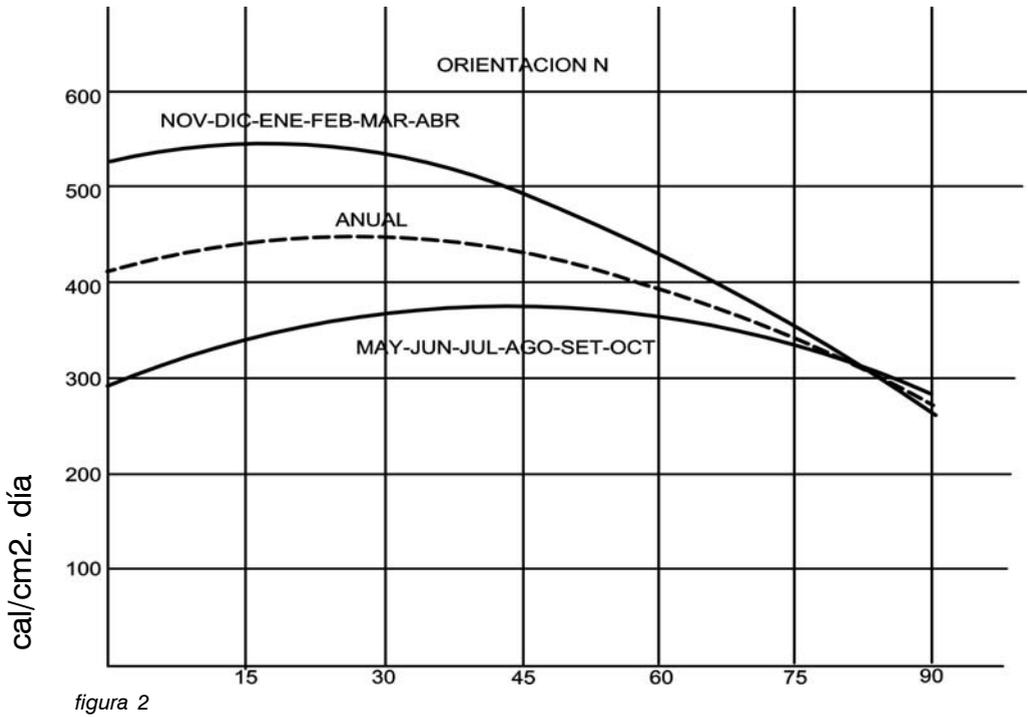
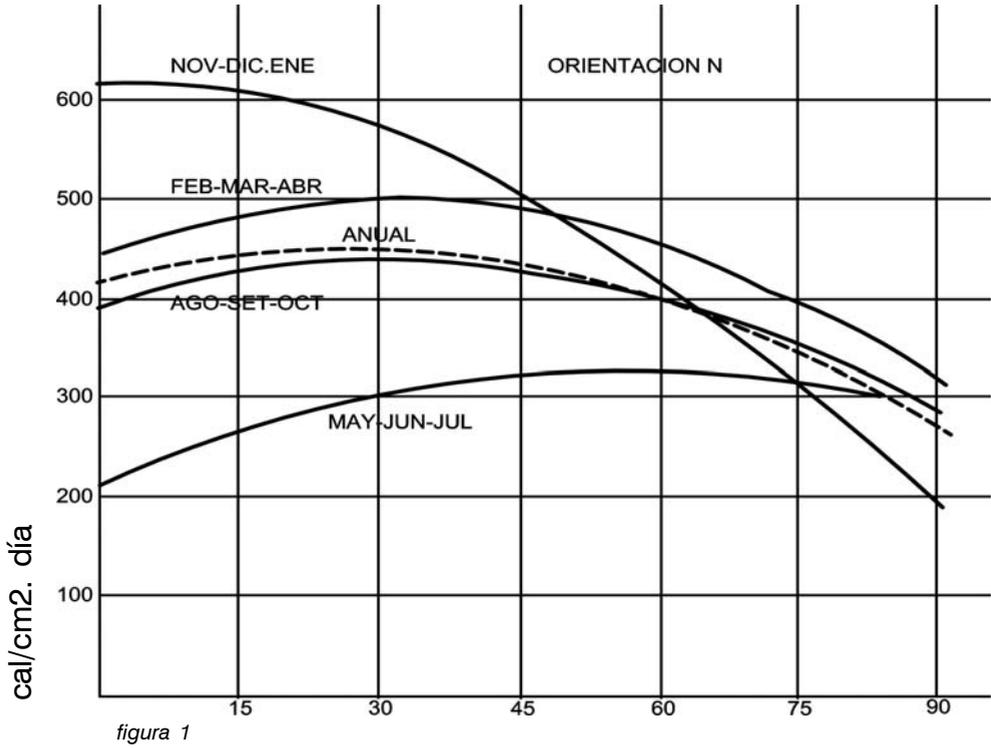
## Tablas de irradiación.

Las Tablas que se presentan a continuación fueron publicadas en el trabajo “Año solar típico para el Uruguay” realizado por J.L.Duomarco y C.A.Luongo. A

continuación se transcribe en forma textual el primer párrafo de la presentación del trabajo publicado en 1979.

*Ante la inminencia del advenimiento de la era de la energía solar en el Uruguay, se han recabado y procesado los datos meteorológicos relevantes en la simulación y estudio de los sistemas solares en el país.*

*Los de insolación disponibles corresponden al período 1967 - 1977 obtenidos en la estación agro-meteorológica de la Estanzuela en el departamento de Colonia y al período 1977 - 1978 obtenidas en la estación de climatología de la Facultad de Arquitectura en Montevideo, operada en forma conjunta por el Instituto de la construcción de edificios de la Facultad de Arquitectura, el Instituto de física de la Facultad de Ingeniería y el Departamento de astronomía de la Facultad de Humanidades.*



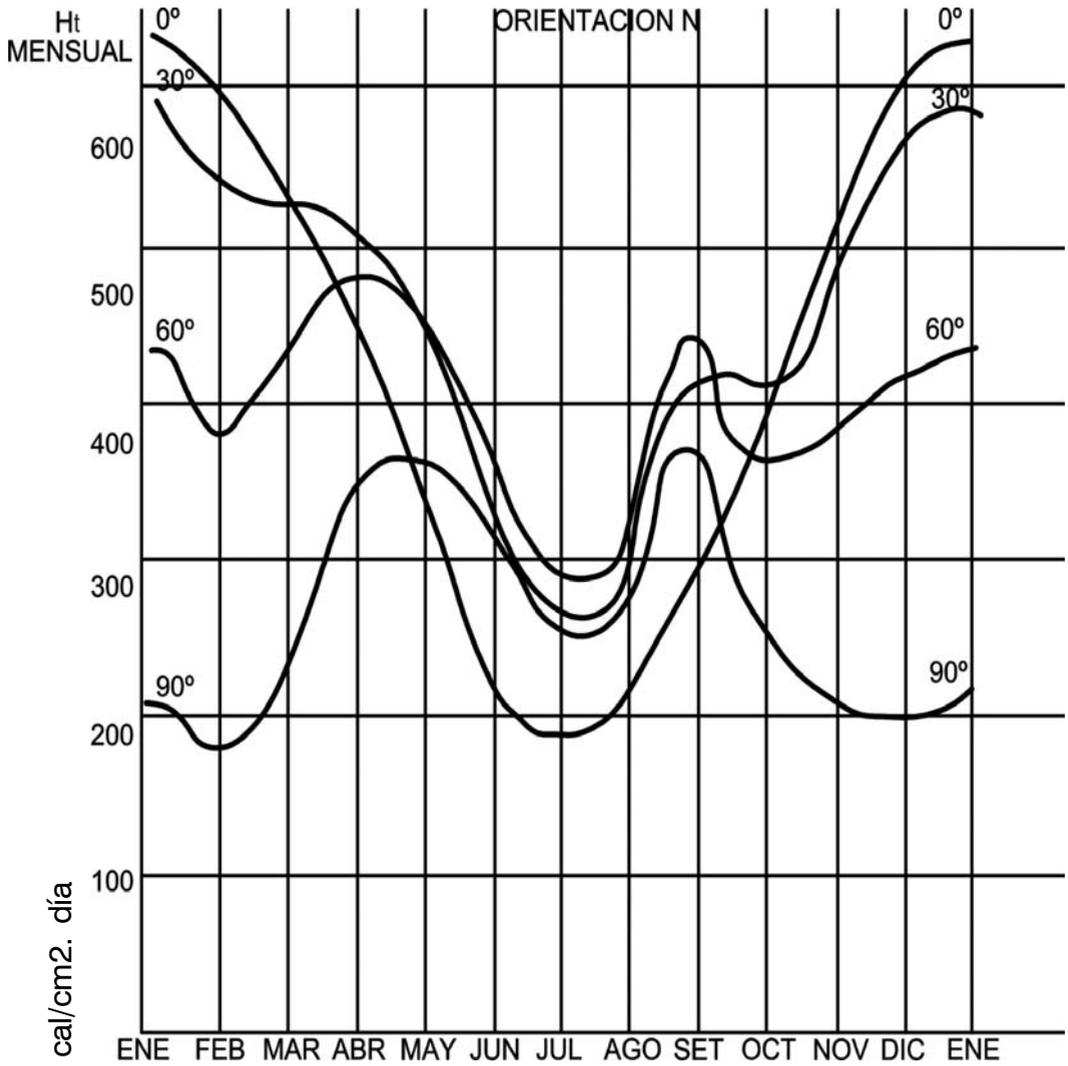


figura 3 - Valores medidos

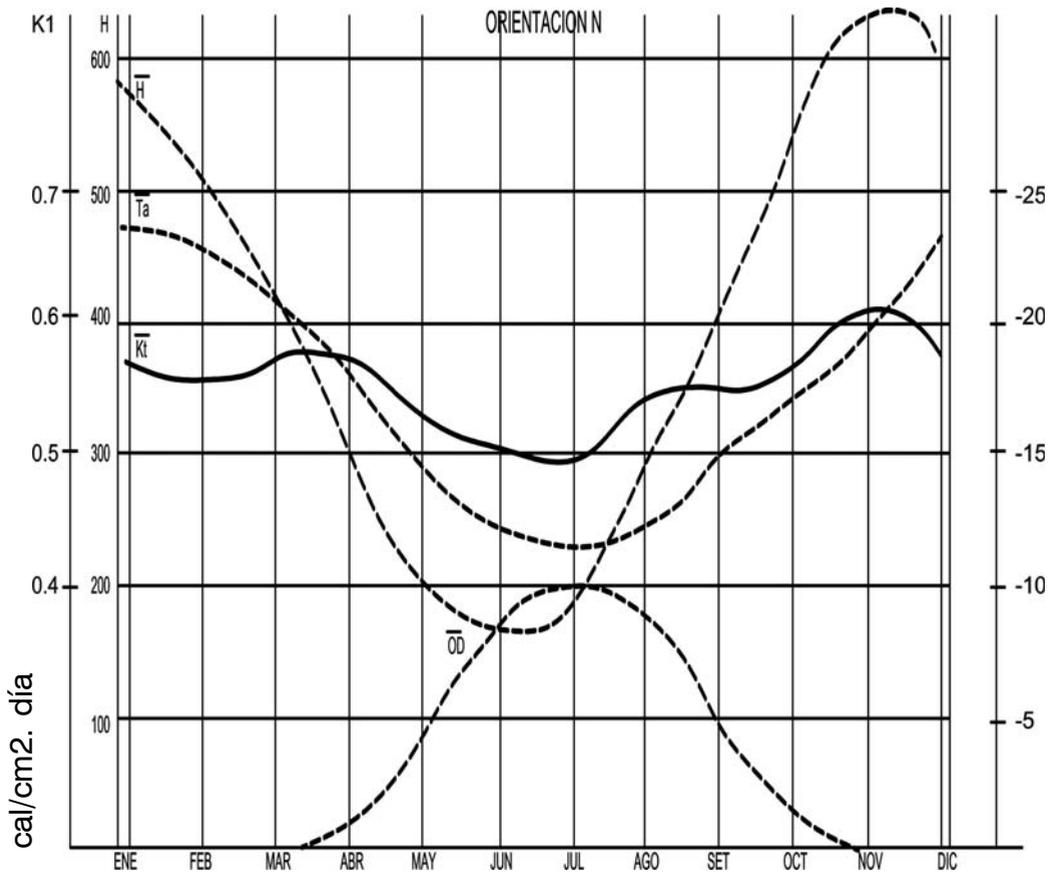
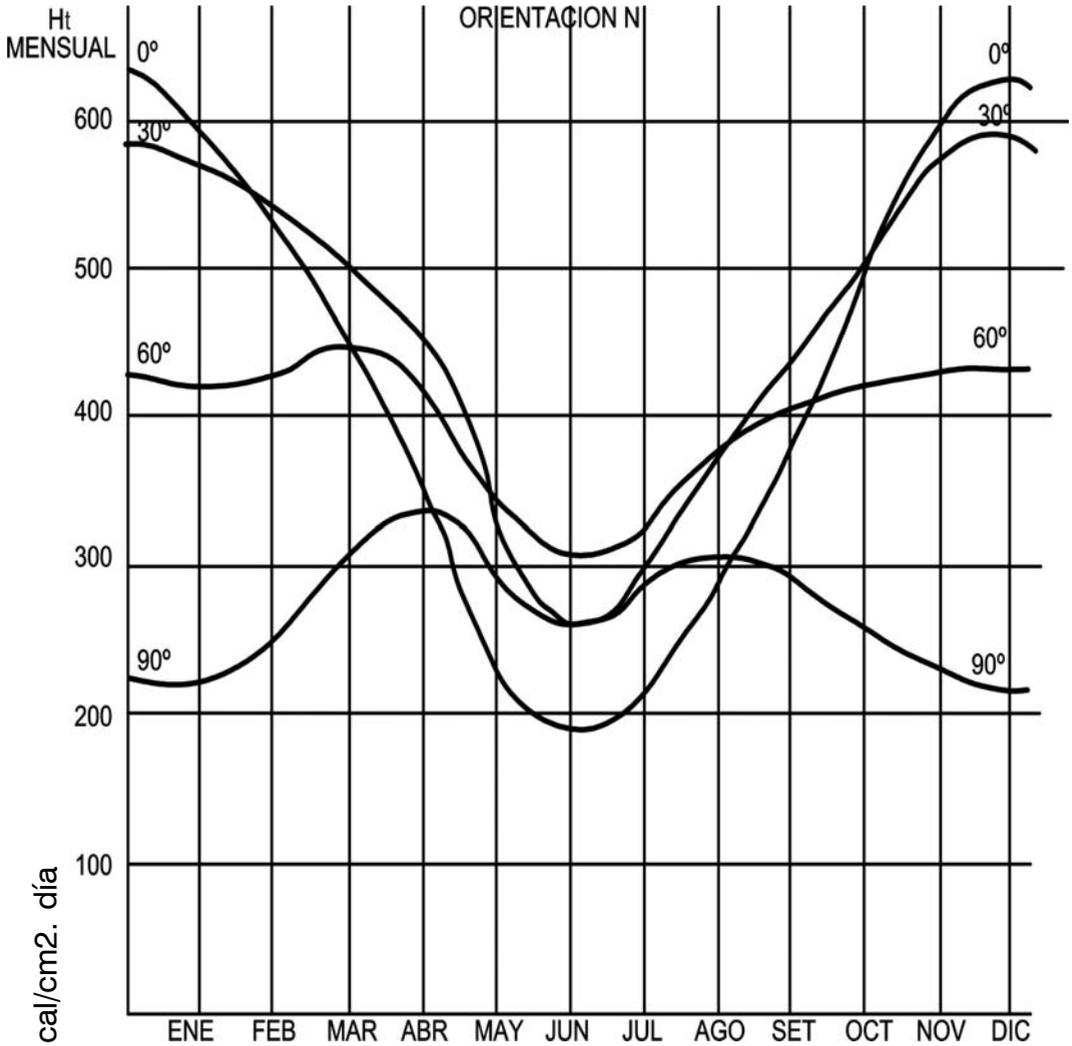


figura 4



Datos de Fig 5, son valores calculados

## Anexo 2

# HORA SOLAR, LOCAL Y LEGAL

La hora solar o tiempo solar verdadero se determina por el ángulo horario del astro suponiendo que la trayectoria de  $360^\circ$  se cumple en 24 horas y que las 12 corresponde al instante en que el sol cruza el meridiano del lugar.

El tiempo comprendido entre dos pasos consecutivos del sol por el meridiano lugar es variable. Para medir el tiempo en unidades iguales a partir de los movimientos del sol se ha creado el tiempo solar medio. Los días solares medios tienen todos la misma duración, que es igual al promedio anual de los días solares verdaderos.

Se llama hora local a la determinada por la posición real del sol en el cielo, se divide entonces también en 24 horas correspondiendo la hora 12 al momento en que el sol medio cruza el meridiano del lugar. La relación entre la hora solar y la hora local está dada por una gráfica en donde se ingresa la longitud del lugar y la fecha correspondiente. La siguiente ecuación,  $HS = HL \pm E$  en donde HS es la hora solar, HL la hora legal y E un valor expresado en minutos horarios. Para el día 15 de octubre en la ciudad de Salto por ejemplo, tenemos:  $E = 20\text{min} + 18\text{min} = 38\text{min}$ , esto significa que el sol cruzará al meridiano lugar

( $HS = 12:00$ ) a la hora legal 11:22. O dicho de otra manera, cuando el reloj marca las 12 (hora legal) el sol aún no ha llegado a cruzar el meridiano lugar, demorará 38 minutos para hacerlo.

La hora local no sirve como medida del tiempo en un país por cuanto sería diferente para las localidades ubicadas en distintos meridianos y además depende de la fecha del año, así por ejemplo la diferencia horaria entre la ciudad de Punta del Este y la ciudad de Colonia es de aproximadamente 12 minutos solo por ubicarse geográficamente en distinta longitud.

Para eso se ha creado la hora legal que se establece de acuerdo a una convención internacional y a disposiciones nacionales. La primera indica que la hora legal para un país se regula por la hora local para Greenwich y (longitud  $0^\circ$ ), la diferencia entre ambas debe ser en horas enteras fijadas según la distancia angular entre los respectivos meridianos. Uruguay se encuentra ubicado dentro del huso horario que está cuatro horas al oeste de Greenwich aunque ha adoptado el de tres horas. Es decir: nuestros relojes señalan exactamente tres horas menos que la hora local de Greenwich la misma

que la local correspondiente al meridiano de  $45^\circ$ .

La disposición adoptada hace que el sol cruce por el Uruguay siempre después de la hora legal 12, esa disposición permite un mejor aprovechamiento de la luz diurna además de un mejor

aprovechamiento del calor natural en invierno.

Por lo tanto la hora solar para un punto de nuestro país tendrá una diferencia con la hora solar correspondiente al meridiano de  $45^\circ$ , igual a la diferencia angular entre ambos meridianos tomará razón de una hora cada  $15^\circ$ .

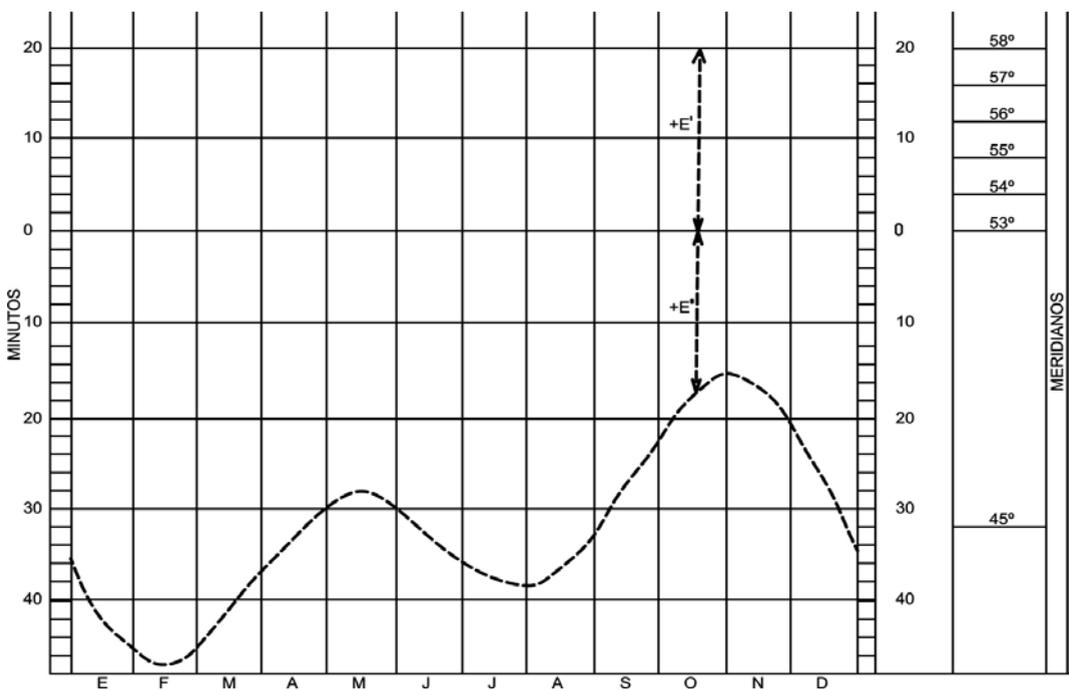


Figura a.2.1

La gráfica de la figura (a.2.1) permite relacionar la hora solar y la hora legal para cualquier localidad del Uruguay. Este cálculo es muy

importante ya que es una forma indirecta de determinar con una precisión adecuada la ubicación del norte geográfico.

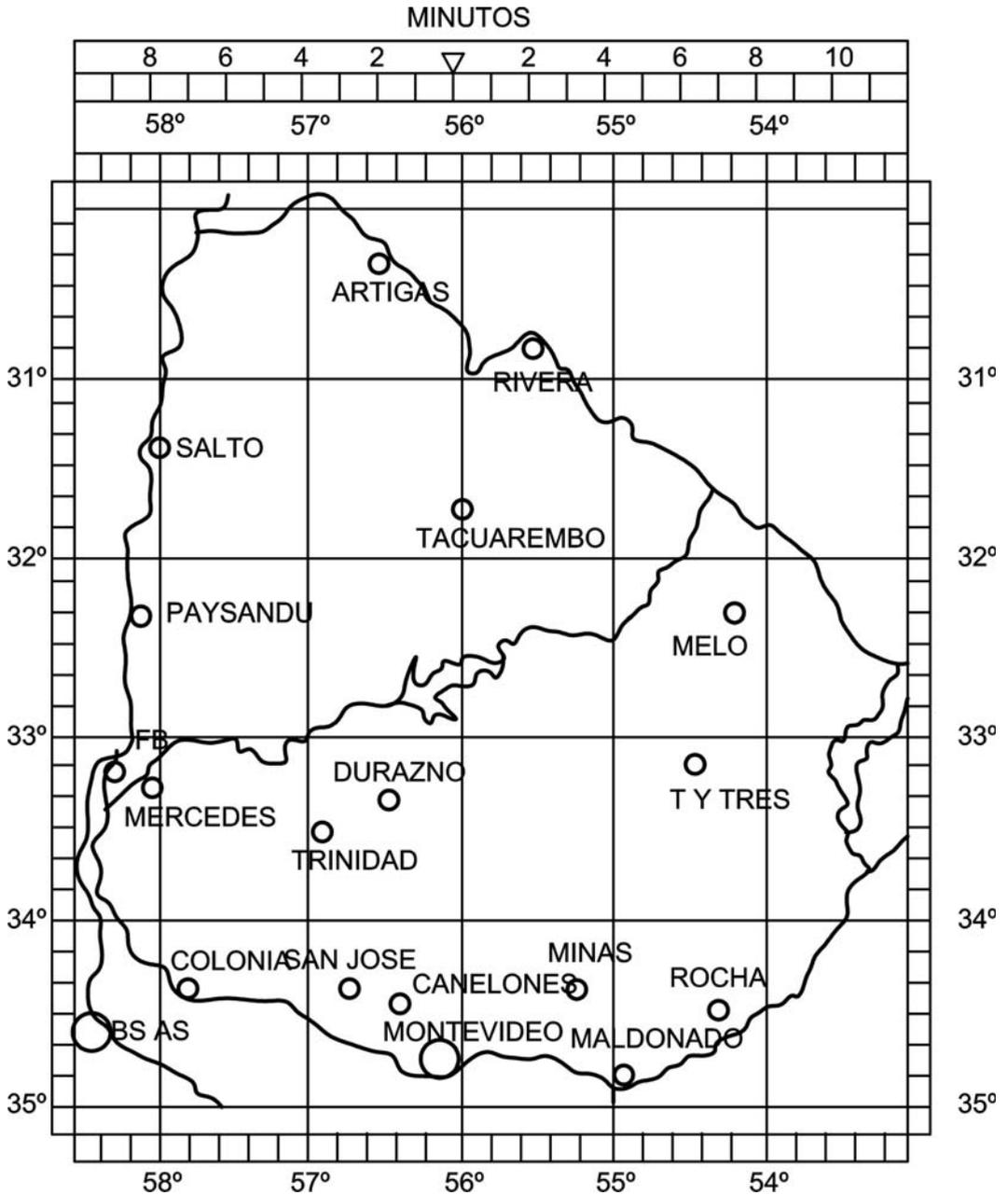


figura a.2.2

## Anexo 3

# ANALISIS DETALLADO DEL TANQUE ACUMULADOR SOLAR

## Análisis detallado del balance energético del tanque acumulador solar.

El mismo depende de la energía que entra procedente de los colectores, de la energía que sale y de la energía que se pierde del propio tanque. Es por eso que la aislación térmica del tanque resulta

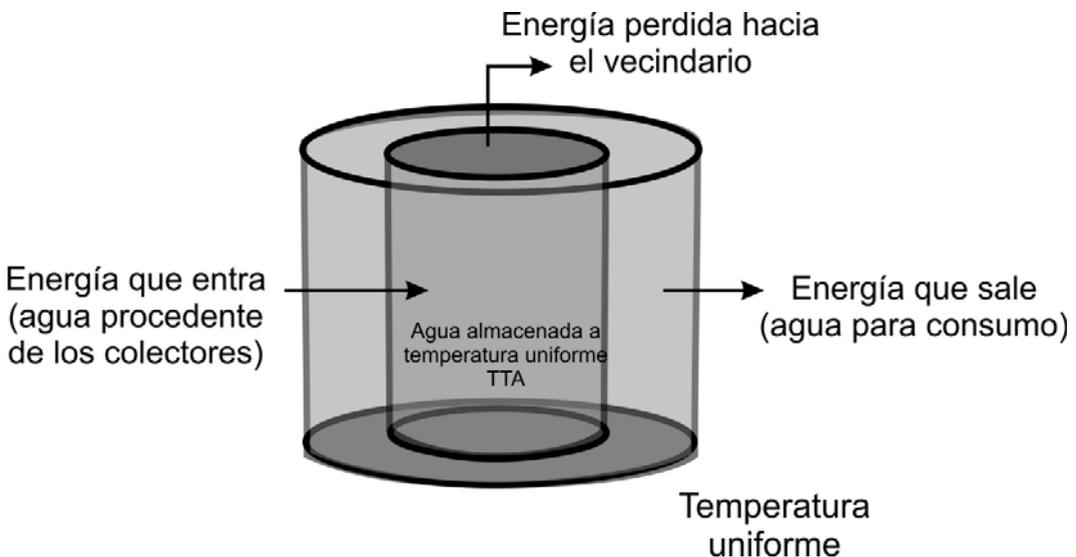
ser clave en la eficiencia del sistema ya que si el tanque no tiene aislamiento suficiente gran parte de la energía captada por los colectores se disipará sin llegar a ser utilizada.

### Balance térmico de los tanques acumuladores.

Para el tanque *no-estratificado* o *completamente mezclado*, mostrado en la Figura 3.a.1, que contiene una masa (m) de agua a

temperatura uniforme ( $T_{RT}$ ), dependiente del tiempo (t). El balanceo de energía en el tanque establece que:

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{Tasa de energía para} \\ \text{el interior del TA} \end{array} \right\} - \left\{ \begin{array}{l} \text{Tasa de energía hacia} \\ \text{afuera del TA} \end{array} \right\} = \left\{ \begin{array}{l} \text{Tasa de variación de} \\ \text{energía dentro del TA} \end{array} \right\}$$



3.a.1 Transferencia de calor en el tanque térmico de almacenamiento de agua

Considere:

$q_{ENT}$  es la tasa de energía transferida al interior del tanque, proveniente de los colectores solares

$q_{SALIDA}$  es la tasa de energía transferida hacia afuera del tanque que incluye la tasa de energía asociada al agua caliente

consumida ( $q_{CONS}$ ) y a la tasa de pérdida de energía al ambiente ( $q_{PER}$ ), a través del aislante térmico.

Así, la ecuación para el balance de energía en el tanque térmico puede escribirse de la siguiente forma:

$$q_{ENT} - (q_{CONS} + q_{PER}) = mc_p \frac{dT_{TA}}{dt}$$

Donde  $c_p$ : es el calor específico a presión constante del agua, en las aplicaciones prácticas está considerado constante e igual a 4,18kJ/kg °C.

Aplicándose nuevamente el concepto de circuito térmico equivalente, la tasa de pérdida de energía para el ambiente ( $q_{PER}$ ) puede escribirse de la siguiente forma:

$$q_{PERD} = \frac{T_{RT} - T_{Viz}}{R_T} \quad (3.a.2)$$

Siendo

$T_{VIZ}$ : la temperatura del aire alrededor del tanque térmico y que, en algunas situaciones prácticas, no coincide con la temperatura ambiente.

$R_T$ : es la resistencia térmica total, correspondiente a la resistencia asociada con el paso de

calor por conducción en la pared de los cuerpos internos y externo (despreciable para materiales metálicos) y en el aislante del tanque, y también a la pérdida de calor por convección entre la protección externa y los alrededores.

La inversa de la resistencia térmica se conoce como *conductancia térmica global*, siendo representada por el producto  $(UA)_{RT}$ , es decir:

$$\frac{1}{R_T} = (UA)_{RT} \quad (3.a.3)$$

Así, la ecuación 6.2 puede reescribirse como sigue:

$$q_{PERD} = (UA)_{RT} (T_{RT} - T_{Viz}) \quad (3.a.4)$$

El valor de la conductancia térmica global puede ser evaluado bajo ensayos experimentales normalizados.

## Estudio de Caso 3.A.1

Un tanque térmico contiene 1000 Kg de agua. Inicialmente su temperatura es igual a 30°C. La temperatura de los alrededores es de 21°C y la conductancia térmica global informada por el fabricante para el tanque es igual a 7,5W/°C.

Las tasas instantáneas de salida de energía para consumo y de entrada de energía en el tanque son, respectivamente, 3,1 kW y 9,2 kW. ¿Cuál es la tasa inicial de variación de la temperatura del tanque?

### Solución:

Considerándose el calor específico del agua  $c_p = 4,18 \text{ kJ/kg } ^\circ\text{C}$  y sustituyéndose los valores

numéricos apropiados en la ecuación 3.a.1, se tiene:

$$q_{ENT} = 9,2 \text{ kW}$$

$$q_{CONS} = 3,1 \text{ kW}$$

$$q_{PERD} = 7,5 \times 10^{-3} \frac{\text{kW}}{^\circ\text{C}} (30 - 21)^\circ\text{C} = 0,0675 \text{ kW}$$

Es decir:

$$[9.2 - (3.1 + 0.0675)]kW = 1000 kg \times \frac{4.18 kJ}{kg \text{ } ^\circ C} \times \frac{dT_{RT}}{dt}$$

Como  $1kW = 1kJoule/s$ , se obtiene:

$$\frac{dT_{RT}}{dt} = 0,00144 \text{ } ^\circ C/s$$

Que equivale a  $5,2^\circ C$  por hora.

Para determinar la temperatura del tanque como una función del tiempo, la ecuación 3.a.1 debe integrarse en el tiempo. Como los datos de radiación son disponibles usualmente en base horaria, el intervalo de tiempo más

comúnmente usado en esa integración también es para cada hora\*. El Estudio de Caso 3.a.2 ilustra como el balance de energía en el tanque puede usarse para lograr la temperatura del tanque térmico como función del tiempo.

## Estudio de Caso 3.a.2

Un tanque térmico contiene 1000 Kg. de agua. Inicialmente su temperatura es uniforme e igual a  $30^\circ C$  y el período total de evaluación es de 6 horas. La temperatura de los alrededores es de  $21^\circ C$  y la conductancia térmica global informada por el fabricante para el tanque es igual a  $7,5W/^\circ C$ .

Los valores integrados a lo largo de 1 hora, de la energía que viene de los colectores solares para agregarse al tanque y de la energía sale por el consumo de agua caliente están mostrados en la siguiente tabla:

HORA	1	2	3	4	5	6
$q_{ENT}$ (MJ)	16	17	17	15	13	5
$q_{CON}$ (MJ)	0	10	8	0	0	18

Calcule la temperatura del agua en el tanque térmico al final de cada hora.

\* A los efectos de simplificar la integración se asume que, en una hora, la velocidad  $dT/dt$  puede considerarse constante, a pesar de no serlo. La resolución de la ecuación diferencial sin estas simplificaciones se hace mucho más compleja

## Solución:

Reescriba la ecuación 3.a.1 en forma de diferencia finita, solucionándola para la temperatura

$$T_{RT, final} = T_{RT, inicio} + \frac{\Delta t}{m c_p} [q_{ENT} - q_{CONS} - (UA)_{RT} (T_{RT} - T_{Viz})]$$

Donde los subíndices (final) e (inicio) corresponden a cada intervalo de tiempo

$$T_{RT, final} = T_{RT, inicio} + \frac{1 \text{ hora}}{1000 \text{ kg} \times \frac{4180 \text{ J}}{\text{kg} \cdot ^\circ\text{C}}} \left[ q_{ENT} - q_{CONS} - 7.5 \frac{\text{J}}{\text{s}} \times 3600 \text{ s} \times (T_{RT, inicio} - 21) \right]$$

Donde la constante 3600 segundos que multiplica el factor  $(UA)_{RT}$  proveniente de la integración en el intervalo de 1 hora.

Las unidades de energía tras la integración están expresadas en Joule y el calor específico del agua

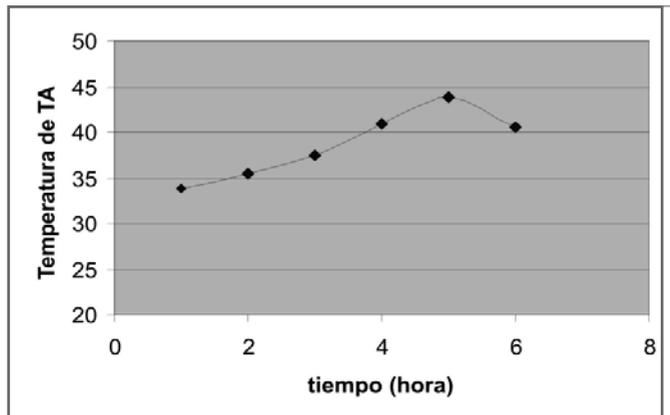
del tanque al final de un incremento de tiempo  $\Delta t = 1$  hora, es decir:

Integrándose todas las tasas de transferencia de calor y la pérdida térmica del tanque para el período de 1 hora, se tiene:

$c_p$  es igual a 4180 J/kg °C. Acuérdesse que, 1MJ = 1000.000 Joule.

La evolución de los valores obtenidos para la temperatura al final de cada intervalo de tiempo está mostrada en la tabla y en el gráfico siguiente:

HORA	TTA, inicio (°C)	TTA, final (°C)
1	30	33.8
2	33.8	35.4
3	35.4	37.4
4	37.4	40.9
5	40.9	43.9
6	43.9	40.6



¿Cómo se explica La reducción de la temperatura del agua en el tanque al final de la sexta hora?

Se constata que, en esa hora la energía que sale proveniente del

consumo de agua caliente es superior que la energía que entra, asociada al agua proveniente de los colectores. Por ello, la energía del agua almacenada disminuirá.



## Anexo 4

### TABLAS

#### PERDIDAS DE CARGA ÁBACO DE FAIR –WHIPPLE-HSIAO

# PERDIDAS DE CARGA LONGITUDES EQUIVALENTES PARA VARIOS FITTINGS Y ACCESORIOS

**MATERIAL: PLASTICO o COBRE**

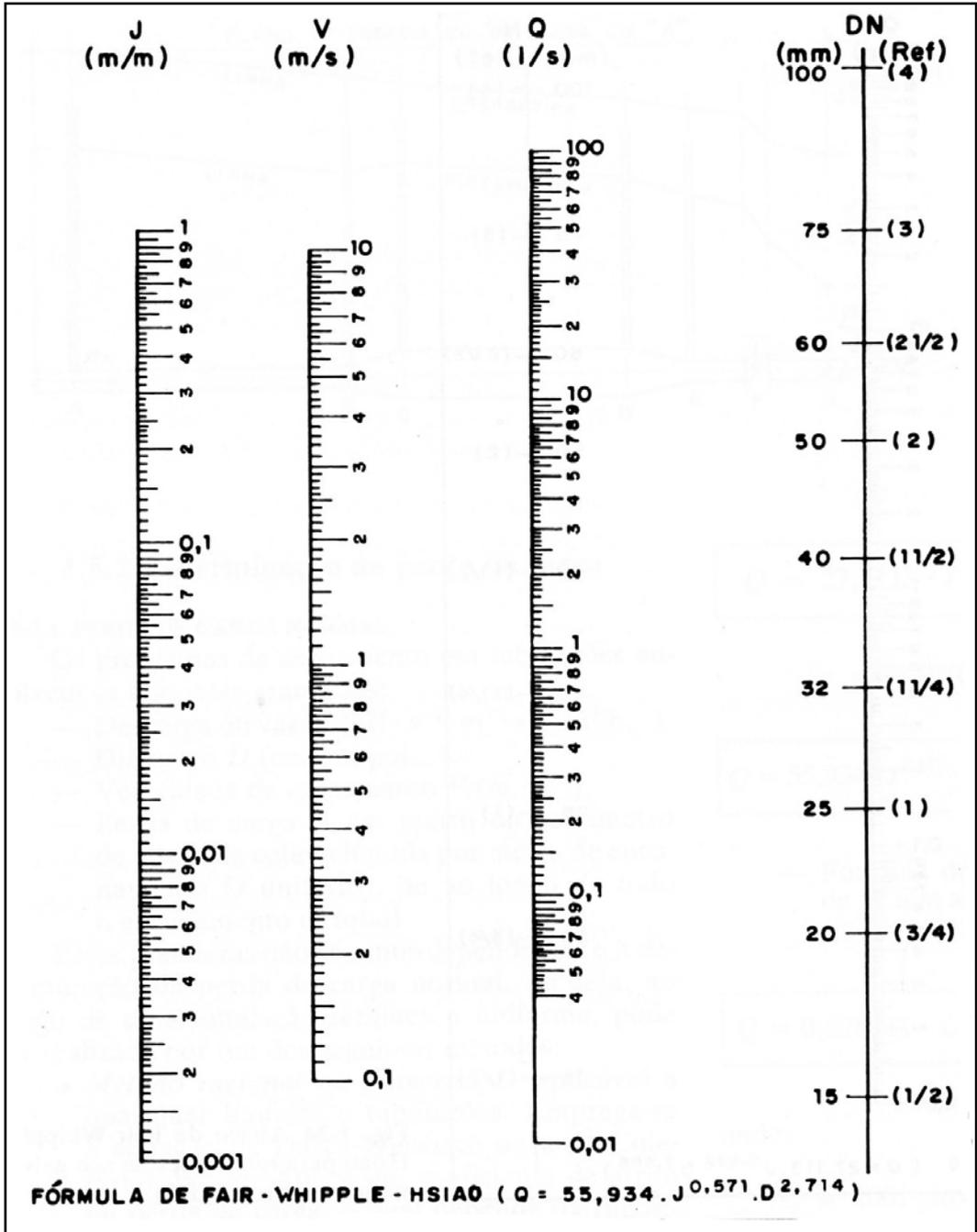
DN	codo 90	codo 45	curva 90	curva 45	tee directa	tee lateral	tee bilateral	entrada brusca	salida brusca	LLP	VR
1/2	1,1	0,4	0,4	0,2	0,7	2,3	2,3	0,3	0,8	0,1	2,5
3/4	1,2	0,3	0,5	0,3	0,8	2,4	2,4	0,4	0,9	0,2	2,7
1	1,5	0,7	0,6	0,4	0,9	3,1	3,1	0,5	1,3	0,3	3,8
1 1/4	2	1	0,7	0,5	1,5	4,6	4,6	0,6	1,4	0,4	4,9
1 1/2	3,2	1,3	1,2	0,6	2,2	7,3	7,3	1	3,2	0,7	6,8
2	3,4	1,6	1,3	0,7	2,3	7,6	7,6	1,5	3,3	0,8	7,1
2 1/2	3,7	1,7	1,4	0,8	2,4	7,8	7,8	1,6	3,5	0,9	8,2
3	3,9	1,8	1,5	0,9	2,5	8	8	2	3,7	0,9	9,3
4	4,3	1,9	1,6	1	2,6	8,3	8,3	2,2	3,9	1	10,4
5	4,9	2,4	1,9	1,1	3,3	10	10	2,5	4,9	1,1	12,5
6	5,4	2,6	2,1	1,2	3,8	11,1	11,1	2,8	5,5	1,2	13,9

# PERDIDAS DE CARGA LONGITUDES EQUIVALENTES PARA VARIOS FITTINGS Y ACCESORIOS

## MATERIAL: HIERRO GALVANIZADO

DN	codo 90	codo 45	curva 90	curva 45	tee directa	tee lateral	tee bilateral	entrada brusca	salida brusca	LLP	VR
1/2	0,4	0,2	0,3	0,2	0,3	1	1	0,2	0,4	0,1	1,1
3/4	0,6	0,3	0,4	0,2	0,4	1,4	1,4	0,2	0,5	0,1	1,6
1	0,7	0,4	0,5	0,2	0,5	1,7	1,7	0,3	0,7	0,2	2,1
1 1/4	0,9	0,5	0,6	0,3	0,7	2,3	2,3	0,4	0,9	0,2	2,7
1 1/2	1,1	0,6	0,7	0,3	0,9	2,8	2,8	0,5	1	0,3	3,2
2	1,4	0,8	0,9	0,4	1,1	3,5	3,5	0,7	1,5	0,4	4,2
2 1/2	1,7	0,9	1	0,5	1,3	4,3	4,3	0,9	1,9	0,4	5,2
3	2,1	1,2	1,3	0,6	1,6	5,2	5,2	1,1	2,2	0,5	6,3
4	2,8	1,5	1,6	0,7	2,1	6,7	6,7	1,6	3,2	0,7	8,4
5	3,7	1,9	2,1	0,9	2,7	8,4	8,4	2	4	0,9	10,4
6	4,3	2,3	2,8	1,1	3,4	10	10	2,5	5	1,1	12,5

# ÁBACO DE FAIR -WHIPPLE-HSIAO PARA TUBERÍAS DE COBRE O PLÁSTICO



## Nota de los autores

Este manual se realizó especialmente para el curso de “Energía solar térmica e instalaciones asociadas”. Este curso fue diseñado para capacitar a docentes de la Universidad del Trabajo del Uruguay en la temática de la energía solar térmica. El contenido del mismo es técnico y a la vez práctico como corresponde a un manual de estas características y busca ser un material base para futuros escritos, manuales y libros en esta disciplina que indudablemente es necesario desarrollar en nuestro país. Es también un ejemplo de la cooperación imprescindible entre todos los actores del quehacer nacional, y regional.

### *El Estado:*

a través del proyecto de eficiencia energética con los aportes del Banco Mundial, el GEF (Global Environmental Facility), UTE y el Ministerio de Industria, Energía y Minería.

### *La Educación:*

a través de la Universidad del Trabajo del Uruguay como instrumento directo de formación de profesionales en el área de esta tecnología emergente en el país y la Facultad de Arquitectura de la Universidad ORT en la generación de este manual, el diseño, armado y dictado del curso “Energía solar térmica e instalaciones asociadas”.

### *La Integración Regional:*

con la participación en la redacción de este manual y el dictado del curso de un experto brasileño aportando una visión del tema desde la práctica profesional y de la experiencia de un mercado con muchos años de actividad en la disciplina y una industria floreciente en este ramo.

Quienes hemos participado en este proyecto volcamos en él toda nuestra energía, voluntad y saber, como aporte al mejor uso de los recursos naturales y la construcción de un país sustentable en beneficio de nuestra gente. Esta tarea no hubiera sido posible sin el apoyo de las instituciones que con orgullo representamos.

Arq. Andrés Eliseo CABRERA  
Ing. Quím. Pablo Franco NOCETO  
Ing. Carlos Felipe DA CUNHA FARIA



## Bibliografía

ABRAVA (Associação Brasileira de Refrigeração, Ar condicionado, Ventilação e Aquecimento, abril 2008. Manual de Capacitação em Projetos de Sistemas de Aquecimento Solar.).

Da Cunha Farias C.F, et al.:, 2008 Manual de Sistemas de Calentamiento de Agua con Energía Solar.

Rivero, Roberto.: 1989. Asoleamiento en Arquitectura. Div. Publicaciones y Ediciones de la UDELAR. Montevideo.

Neila González, F. J.: 2004. Arquitectura Bioclimática. Editorial Munilla-Leria Madrid – España

Duomarco, J.L.; Luongo C.A.: 1979. Año Solar “Típico” para el Uruguay. Div. Publicaciones y Ediciones de la UDELAR. Montevideo.

Duffie, J.A.; Beckman, W.A.: 1991 Solar Engineering of Thermal Processes, 2nd Edition, John Eiley & Sons.

IDAE (Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía). Revisión enero 2009. Instalaciones de Energía Solar Térmica. Pliego de Condiciones Técnicas de Instalaciones de Baja Temperatura. Madrid.

UNIT-ISO 9488:1999 (adopción UNIT 2009). Energía Solar – Vocabulario.

PROGENSA-CENSOLAR. 6ª edición.:2001. Instalaciones de Energía Solar. Sevilla.

### Páginas web

<http://www.ngdc.noaa.gov/geomag/>

Página de National Geophysical Data Center (USA) que contiene una herramienta para hallar declinaciones magnéticas en distintos puntos del planeta.



# Indice

Capítulo 1	
<b>SOL “El astro Rey”</b> .....	pág. 3
Evaluación del recurso solar.	
Radiación Solar.	
Asoleamiento, principios fundamentales.	
El norte magnético y el norte geográfico	
Capítulo 2	
<b>COLECTORES SOLARES Y LOS PRINCIPIOS DE LA TRANSFERENCIA DE CALOR</b> .....	pág. 33
Mecanismo de la transferencia de Calor	
Propiedades ópticas	
El colector solar plano	
Eficiencia. Balance térmico	
Colectores de tubo de vacío	
Capítulo 3	
<b>TANQUES TERMICOS Y LOS PRINCIPIOS DE LA TRANSFERENCIA DE CALOR</b> .....	pág. 51
Características Constructivas	
Geometría y Forma de operación	
Balance de Energía	
Capítulo 4	
<b>MÉTODOS DE DIMENSIONAMIENTO</b> .....	pág. 61
Determinación del Perfil de Consumo	
Evaluación del Volumen Almacenado	
Determinación del Área Colectora.	
Capítulo 5	
<b>MÉTODO DE LA CARTA-F</b> .....	pág. 73
Metodología de Cálculo Ábaco de	
Determinación de la Fracción Solar	

Capítulo 6

**INSTALACIONES DE PEQUEÑO PORTE** ..... pág. 83

Termosifón

Principios de Funcionamiento

Desafíos y Soluciones de Instalación

Circulación Forzada

Capítulo 7

**INSTALACIONES DE MEDIANO Y GRAN PORTE** ..... pag. 111

Circulación Forzada Etapas del Proyecto Ejecutivo.

Asociación entre Colectores y Tanques

Equilibrio Hidráulico

Capítulo 8

**INSTALACIÓN, MANTENIMIENTO Y SEGURIDAD** ..... pág. 141

Interpretación del Proyecto Ejecutivo

Almacenamiento y Transporte de Equipos

EPPs y Herramientas Accesorios

Mantenimiento Preventivo y Correctivo

Capítulo 9

**CALENTAMIENTO SOLAR DE PISCINA** ..... pág. 163

Balance de Energía Proyecto

Aspectos Constructivos Instalación Hidráulica

Instalación Mantenimiento Preventivo y Correctivo

Anexo 1 **RADIACIÓN SOLAR** ..... pág. 201

Anexo 2 **HORA SOLAR, LOCAL Y LEGAL** ..... pág. 215

Anexo 3 **ANÁLISIS DETALLADO DEL TANQUE**

**ACUMULADOR SOLAR** ..... pág. 219

Anexo 4 **TABLAS** ..... pág. 227

PERDIDAS DE CARGA

ÁBACO DE FAIR –WHIPPLE-HSIAO

**NOTA DE LOS AUTORES** ..... pág. 229

**BIBLIOGRAFÍA** ..... pág. 231