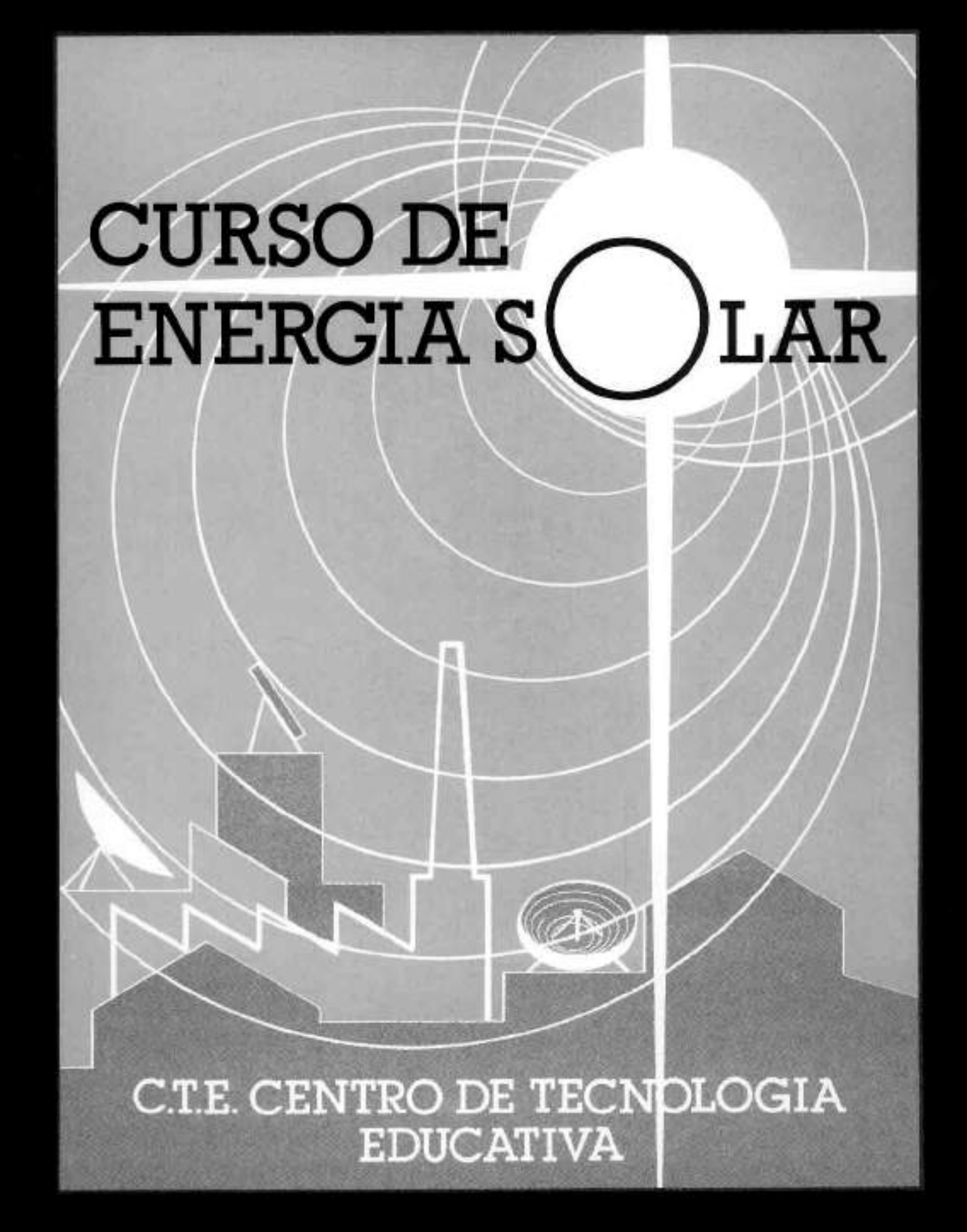




CURSO DE ENERGIA SOLAR

C.T.E. CENTRO DE TECNOLOGIA
EDUCATIVA

**CURSO
DE
ENERGIA
SOLAR**

TOMO 3

ENERGIA SOLAR

El presente Curso de Energía Solar, especialmente pensado para la enseñanza a distancia, ha sido desarrollado por el siguiente equipo de profesionales:

- **Textos:** Jaume Ribot i Martin, *Ingeniero Industrial, ex profesor de la Universidad Politécnica de Barcelona, miembro de ISES (International Solar Energy Society).*
- **Dibujos:** Antonio Escuder Torres.
- **Ilustraciones humorísticas:** Pere Rovira Castellà y Jordi Sempere.
- **Fotografías:** Jaume Ribot y archivo de CTE.
- **Maquetación y montaje:** Roser Quinquillà Pedro.
- **Supervisión didáctica:** José L. Barón Sesé.

© CTE-Centro de Tecnología Educativa, S.A.
C/. Balmes, 357 08006-Barcelona

Tercera edición, febrero 1994
ISBN Obra completa: 84-7608-054-9
ISBN Tomo 3: 84-7608-051-4
D.L. B-5992-1994

Impreso en Imprimeix, S. Coop. Ltda.
C/. Eduardo Maristany, 100 Badalona (Barcelona)

Prohíbida la reproducción total o parcial

SUMARIO

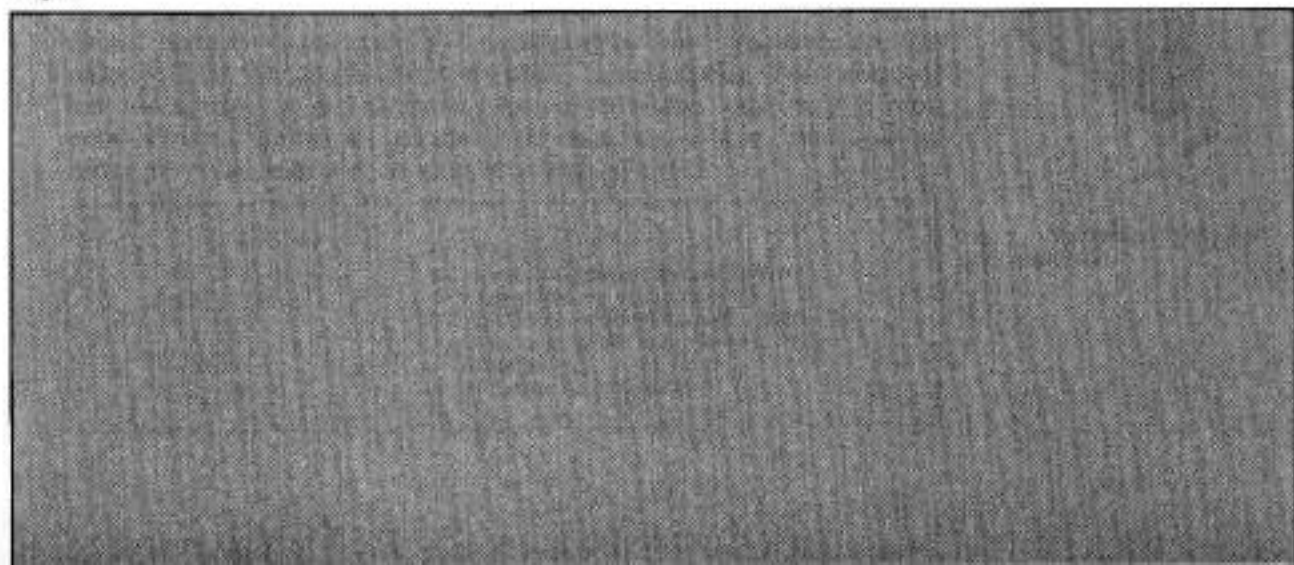


	Pág.
Lección 10. El rendimiento energético de un panel solar plano. Aspectos generales. Energía útil obtenida en un panel. Ensayos de homologación. Recta de rendimiento energético de un colector solar. Consideraciones útiles de la recta de rendimiento. Datos de interés.	5
Lección 11. La elección de un panel solar plano. Aspectos generales a tener en cuenta a la hora de elegir un panel plano. Aspectos particulares para una correcta elección de un panel solar plano: diseño, tamaño y peso; acabado; cubierta; material y forma del circuito hidráulico; superficie selectiva; aislante térmico; marco exterior y/o caja; fijaciones; conexiones; elementos de cierre; accesibilidad. Collectores planos especiales.	23
Lección 12. El acumulador de calor. Acumulador de calor. La estratificación. El intercambio de calor solar. El calefactor auxiliar. El aislamiento del acumulador. Acumulador solar para aire. Datos de interés.	41
Lección 13. Descripción de una instalación solar de agua caliente sanitaria. Descripción de una instalación de agua caliente sanitaria. Instalaciones por circulación natural (termosifón). Pérdida de carga en una instalación. Tuberías. Purgadores. Vasos de expansión. Valvulería. Colocación de las sondas de temperatura. El sistema auxiliar de calentamiento. Datos de interés.	61





LECCION 10



10. EL RENDIMIENTO ENERGETICO DE UN PANEL SOLAR PLANO

INTRODUCCION

Examinados ya con detalle los paneles planos de aire y de líquido, vamos a ver ahora un tema interesante: el rendimiento energético de un panel solar plano, que será, junto con su coste y otras características que analizaremos en la lección siguiente, lo que nos decidirá a utilizar un tipo u otro de panel solar.

ASPECTOS GENERALES

Ya sabemos que al exponer un panel solar a los rayos del Sol, aquél se calienta. En realidad, se calienta primero la placa colectora, la cual transmite el calor por **conducción** hasta el líquido que circula por su interior, o por **convección** si es un panel de aire.

La **conducción** de calor se efectúa a través de un cierto espesor de material de una **superficie** de paso de este calor (que es energía a fin de cuentas) y en un intervalo de tiempo. La conducción de calor depende de la diferencia de temperaturas a ambos lados del espesor del material. La mayor o menor facilidad de conducir el calor viene determinada por el **coeficiente de transmisión de calor** (λ). En materiales buenos conductores (en general los metales), λ es elevado. En materiales que son malos conductores, como el corcho, la lana de vidrio, etc., λ es reducido. La energía conducida vale: (Fig.1)

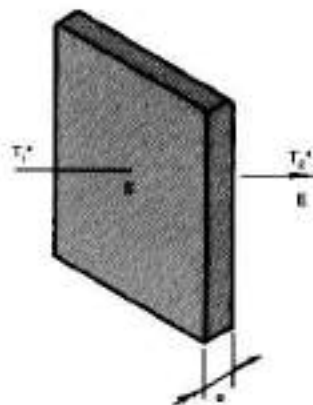


Fig. 1.— Transmisión del calor por conducción.

$$E = \frac{\lambda S (T_1' - T_2') t}{e}$$

- E = Energía (J)
- λ = Coef. transmisión de calor (W/m °K)
- S = Superficie de transmisión (m²)
- T₁' = Temperatura del lado más caliente (°C)
- T₂' = Temperatura del lado más frío (°C)
- t = Tiempo (s)
- e = Espesor de material (m)

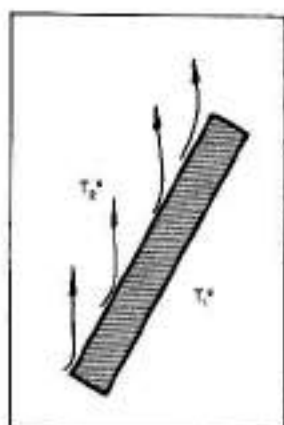


Fig. 2.— Transmisión del calor por convección.

La transmisión de calor por **convección** se basa, como ya dijimos, en el hecho de calentar un cuerpo sólido a un fluido (líquido o gas) en contacto con él. Como consecuencia del calentamiento del fluido, su densidad varía. El fluido puede entonces separarse del cuerpo sólido por sí mismo, ascendiendo en el caso de que se caliente o descendiendo en el caso de que se enfríe, debido a la acción de la gravedad, o bien puede conseguirse esta separación de forma forzada, mediante un flujo de fluido impulsado por bombas o ventiladores (Fig.2)

En el primer caso estamos ante una **convección natural** y en el segundo es una **convección forzada**. La convección forzada es mucho más eficiente desde el punto de intercambio energético.

Las fórmulas que rigen la transmisión de calor por convección son simples, pero el coeficiente de transmisión de calor por convección (α) depende de muchos parámetros como la velocidad del fluido, la inclinación, la rugosidad, la densidad, la presencia de aletas, etc., factores que hacen que la determinación del valor de α sea muy compleja. Si se conoce α , el valor de la energía transmitida por convección vale:

$$E = \alpha s (T_1 - T_2) t \quad \alpha = \text{coef. convección (W/m}^2 \text{ } ^\circ\text{K)}$$

En el caso de una placa solar, y fijándonos en un panel de líquidos del tipo de chapa colectora ondulada, la distribución de temperaturas sobre la misma en condiciones normales de funcionamiento no es uniforme. Podemos considerar dos distribuciones: una en el mismo sentido que los tubos por donde circula el líquido y otra perpendicular a aquélla.

La distribución de temperaturas a lo largo del canal de circulación de líquido es una curva ascendente asintótica. Crece mucho en la parte inferior y poco en la superior. Por su parte, la distribución de temperaturas en el sentido perpendicular a la dirección de los canales de fluido presenta un máximo en el punto intermedio entre los dos canales y disminuye a medida que se aproxima a los canales de paso del líquido.

Durante el tramo de canal la temperatura permanece prácticamente constante, debido a que la transmisión de calor es muy buena en esta zona (Fig.3)

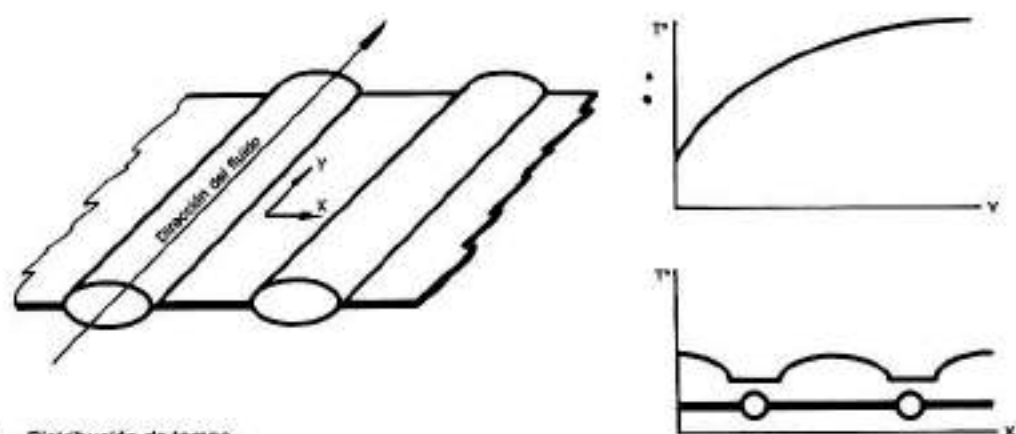


Fig. 3.— Distribución de temperatura en la placa colectora.

ENERGIA ÚTIL OBTENIDA EN UN PANEL

La expresión que relaciona la energía útil obtenida en un panel solar es una fórmula compleja, siendo igualmente complejas las ecuaciones que relacionan la transferencia de calor.

La cantidad de energía útil vale exactamente:

$$E = F S [I (\tau \alpha) - U (T_e - T_a)] t$$

E = Energía útil extraída (J)

F = Factor de eficacia de intercambio de calor entre la placa y el fluido.

S = Superficie útil del colector (m^2)

I = Irradiación en W/m^2

τ = Coeficiente de transmitancia de la cubierta transparente.

α = Absorbancia de la placa colectora.

U = Coeficiente global de pérdidas ($W/m^2 \text{ } ^\circ K$)

T_e = Temperatura de entrada del fluido al colector.

T_a = Temperatura ambiente.

t = Tiempo en segundos.

De hecho, el valor de la energía útil se puede obtener fácilmente midiendo el caudal y la diferencia de temperatura a la entrada y salida del colector. Si consideramos el colector en **estado estacionario**, y los valores de la



irradiación y pérdidas son constantes, la energía útil obtenida de un colector solar vale:

$$E = Q \times C_e \times (T_s - T_e) \times t$$

E=	Energía en (J)
Q=	Caudal másico (kg/s)
Ce=	Calor específico (J/K ^o K)
Ts=	Temperatura de salida
Te=	Temperatura de entrada
t=	tiempo

De esta forma podríamos calcular, en el supuesto de que el valor de la irradiación y las pérdidas sean constantes, diversos valores de la energía útil obtenida, que podremos obtener simplemente variando el caudal. Observaremos que para caudales grandes la diferencia de temperatura entre la entrada y la salida es pequeña, pero la energía útil obtenida es grande.

Por el contrario, para pequeños caudales la energía obtenida es pequeña, mientras que la temperatura de salida es alta.

Podemos representar estos valores en un gráfico de energía útil/temperatura de salida, obteniendo una curva decreciente, de la que deducimos que el panel solar es **más eficiente** (proporciona más energía) cuando **trabaja a poca temperatura**. Por lo tanto, para necesidades tales como el calentamiento del agua de piscinas (30^o), un panel solar sería altamente eficiente, mientras que si el panel solar lo destinamos a calentar agua para calefacción a 80^o C, proporcionaría muy poca energía (Fig. 4)

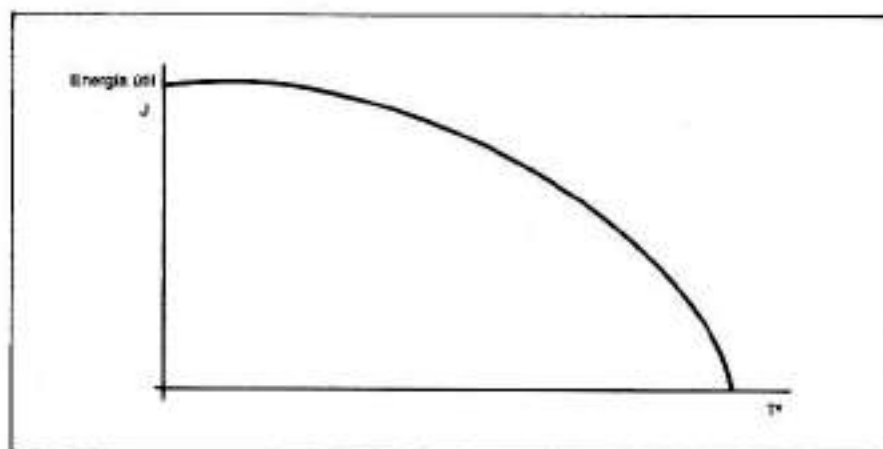


Fig. 4.— Relación entre la energía útil y la temperatura de salida del fluido en paneles planos.



Se llama **rendimiento** de un colector solar al cociente entre la energía útil y la energía captada. La energía útil es la que procede del Sol menos una serie de pérdidas que son:

- La producida en la superficie transparente (τ)
- La producida en la absorción de la energía de la placa colectora (α)
- La producida por el ángulo de incidencia
- La producida por la ineficacia de la transmisión térmica entre la placa colectora y el líquido (F). (Aquí intervienen el coeficiente de transmisión de calor por conducción (λ) y el coeficiente de transmisión de calor por convección (α))
- La producida por el fondo, laterales, y cubierta, que dependerán de la temperatura ambiente, viento, etc. (U).

Todo ello hace necesario que deba conocerse el valor del rendimiento energético de un colector mediante la llamada **recta de rendimiento**, que expresará el valor del rendimiento para toda la gama de temperaturas de trabajo de un colector solar.

ENSAYOS DE HOMOLOGACION

Los colectores solares deben ensayarse en bancos de pruebas, situados en laboratorios apropiados, a efectos de comprobar su **rendimiento** y su **durabilidad**.

La prueba de **rendimiento** de un colector solar es un ensayo relativamente rápido de realizar. No así los ensayos de **durabilidad**, en los que se pretende averiguar cuánto tiempo puede funcionar un colector solar sin que se deteriore. Los ensayos de durabilidad pueden requerir años de exposición al Sol en condiciones de trabajo normales o aceleradas. Son también sumamente interesantes para conocer que le pasará al colector al cabo de un cierto tiempo, y han adquirido importancia recientemente debido al hecho de que ciertas marcas de paneles solares sufrían serias averías tras períodos de exposición al Sol muy breves (algunos de pocas semanas). Afortunadamente, estas marcas ya han desaparecido del mercado, por lo que los paneles solares que hoy día se comercializan ofrecen una cierta calidad en este aspecto, aunque en muchos casos deberían mejorar bastante.



Debido a la larga duración de las pruebas de durabilidad en tiempo real, se acostumbra a realizar pruebas **aceleradas**.

La prueba **acelerada** consiste en someter al colector solar a situaciones mucho más duras de las que encontrará habitualmente, como altas temperaturas, radiación ultravioleta, calentamientos y enfriamientos bruscos, sobrepresiones, lluvia dirigida, humedad, polvo, etc., observando su comportamiento. En razón de la experiencia que se tenga sobre estas cuestiones se puede hacer una estimación del tiempo medio de funcionamiento.

En principio, un colector solar debe tener una vida útil de al menos 15 años, siendo deseable que fuese de 20 años. Estos valores (20 años de servicio) los tienen paneles solares bastante antiguos, fabricados en Israel con materiales normales como chapa y tubos de acero. El que un panel solar tenga una vida útil de 20 años no quiere decir que a los 20 años de servicio esté ya inservible; puede seguir funcionando muchos años más, como también haberse averiado unos cuantos años antes. Este es un valor medio y debe tenerse en cuenta que, por lo común, los paneles precisan un cierto **mantenimiento**, generalmente una limpieza periódica de los mismos o bien un cambio periódico de la junta de goma, que, a causa de las altas temperaturas y la radiación ultravioleta del Sol, se deteriora.

Para la medición del **rendimiento energético** de un colector solar, éste se dispone en condiciones de funcionamiento, pudiendo ser al **aire libre** o en un **simulador** (Fig.5).

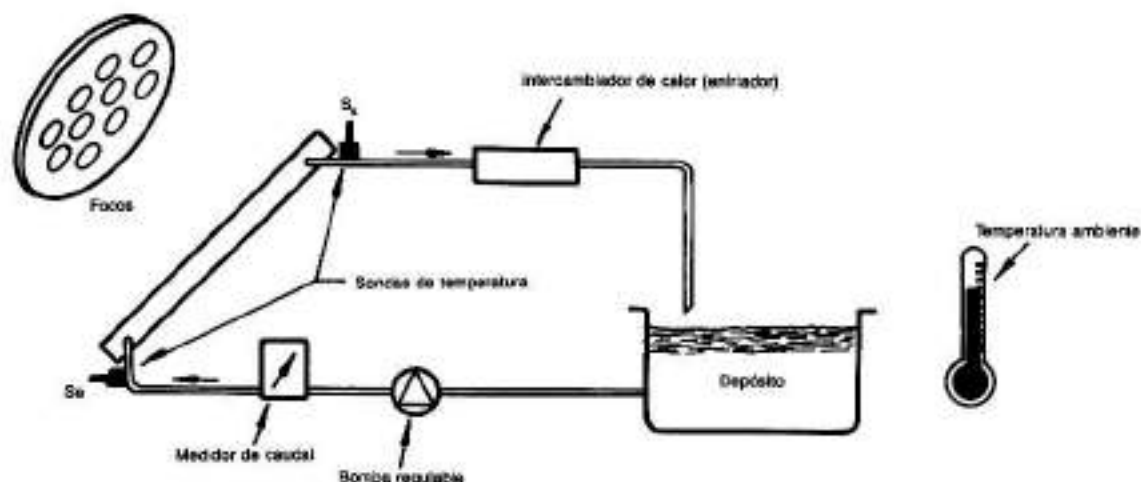


Fig. 5.— Ensayo para medir el rendimiento de un panel solar con un simulador.

En las pruebas al **aire libre** deben escogerse **días despejados y sin viento**. En estas condiciones, el colector es colocado sobre un soporte de inclinación y orientación variables, situándose de forma que quede perpendicular a la dirección de la radiación solar (o próxima a la perpendicular).

El colector es conectado a un circuito de fluido en el que se mide el caudal circulante, la temperatura de entrada, la temperatura de salida, la temperatura ambiente, la irradiación (para lo cual se coloca un piranómetro con la misma inclinación que el colector), y la velocidad del viento (que si supera un cierto valor, anulará la validez del ensayo).

Como no siempre se dispone de días despejados con poco viento, se utilizan **simuladores**, que consisten en una habitación convenientemente acondicionada donde un potente conjunto de focos luminosos sustituye al Sol. Estos focos contienen diversos tipos de lámparas (halógenas, vapor de mercurio corregido, infrarrojas, etc.), a fin de obtener una calidad de luz similar a la del Sol.

Una vez alcanzado el estado estacionario —que viene dado fundamentalmente porque la **temperatura de salida no varía**— se efectúa una medición del valor de la irradiación, temperatura de entrada, temperatura de salida, caudal y temperatura ambiente, obteniéndose fácilmente el valor del **rendimiento instantáneo** como:

$$\eta = \frac{P}{I S} = \frac{\text{potencia útil}}{\text{potencia incidente}}$$

Obtenido este valor, se **varía el caudal**, se espera a que se alcance el estado estacionario y se efectúa otra serie de mediciones. Esto se repite el número de veces necesario para obtener unos cuantos valores que permitan trazar la recta de rendimiento (Fig.6).

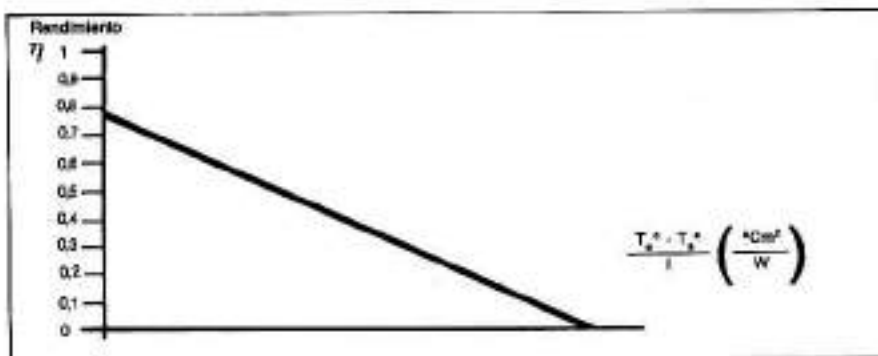


Fig. 6.— Recta de rendimiento de un panel solar.

RECTA DE RENDIMIENTO ENERGETICO DE UN COLECTOR SOLAR

Si en la ecuación general de la obtención de la energía útil suponemos constantes los valores de F (transmisión de calor de la placa al fluido) y de U (pérdidas del colector), al representar el rendimiento obtendremos una recta. La experiencia demuestra que F y U son constantes en un gran intervalo de situaciones de trabajo de un colector solar.

El rendimiento instantáneo vale:

$$\eta = \frac{F(\tau\alpha) - F U (T_e - T_a)}{I}$$

Estos valores se pueden expresar directamente en una gráfica que exprese el rendimiento en función del valor $(T_e - T_a)/I$. En esta gráfica la pendiente de la recta ($\text{tang } \theta$) coincide con el valor de $-FU$ y la ordenada (valor del eje vertical) en el origen es igual a $F(\tau\alpha)$. Si embargo, se prefiere utilizar en lugar de la diferencia entre la temperatura de entrada y la ambiente dividido por el valor de la irradiación la **temperatura media** del fluido en el interior menos la temperatura ambiente dividido por el valor de la irradiación. La temperatura media es el resultado de la media aritmética entre la temperatura de entrada y la de salida:

$$T_m = \frac{T_e + T_s}{2}$$

La utilización de una gráfica rendimiento $(T_m - T_a)/I$ sigue dando una recta, y es la que figura en los **catálogos** de colectores solares (Fig.7). En España todos los colectores **homologados** tienen una recta de rendimiento perfectamente determinada.

La ventaja de representar la recta de rendimiento en función de $(T_m - T_a)/I$ reside en que conociendo el caudal, la superficie de captación y el calor específico del fluido, se pueden obtener de forma sencilla los valores de FU y de $F(\tau\alpha)$ a partir de la pendiente de la recta ($\text{tang } \theta$) y del valor de la ordenada en el origen (eje vertical).

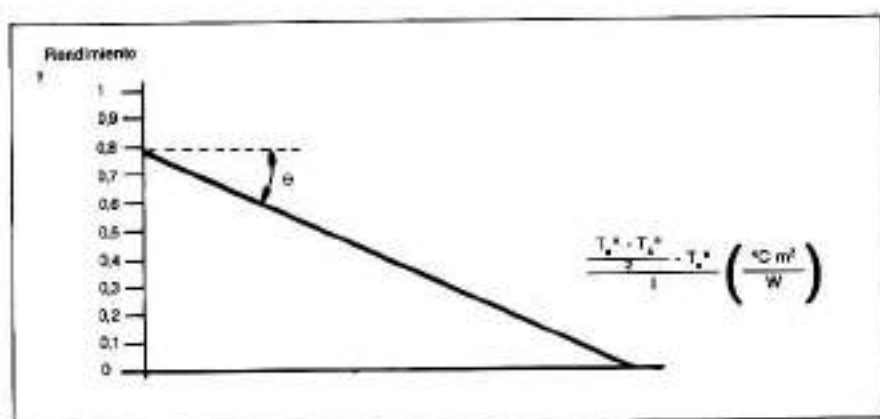


Fig. 7.— Recta de rendimiento de un panel solar, en su presentación habitual.

En efecto, puede demostrarse que llamando al siguiente valor:

$$K = \left[\frac{G \cdot C_e}{G \cdot C_e - \frac{\tan \theta}{2}} \right]$$

G = Caudal másico por unidad de superficie del colector (Kg/s m^2)
 C_e = Calor específico del fluido ($\text{J/Kg}^\circ \text{K}$)
 θ = Angulo de pendiente de la recta (es siempre negativo)

(K es siempre menor que 1)

El valor de FU es igual a $-K \tan \theta$
 y que $F(\tau\alpha)$ es igual a $K \times$ valor de la ordenada en el origen

El valor del caudal másico por unidad de superficie suele ser un valor **bastante fijo**, que para el caso del agua es de unos 0.012 Kg/s m^2 y para el caso del aire de 5 a 20 l/s m^2 de colector. Alterar estos valores en más o en menos conduce a una disminución de la eficacia del colector solar.

Como se observa, la gráfica que relaciona la temperatura media es ventajosa, pues nos permite poder variar los valores de caudal másico por unidad de superficie y/o calor específico del fluido y poder ver cómo varían los valores de FU y $F(\tau\alpha)$.

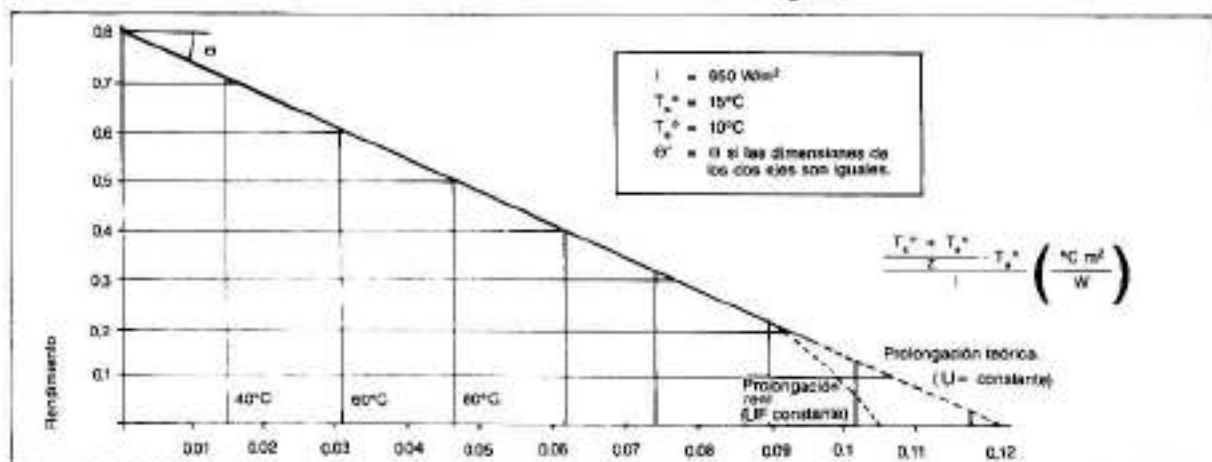
La aparente complejidad de estas ecuaciones y la también aparente falta de significado físico no deben preocuparnos por el momento, ya que en la lección en la que se calculan instalaciones solares veremos la enorme utilidad de estos valores. De momento debemos aprender a obtener estos valores (FU y $F(\tau\alpha)$) a partir de la recta de rendi-

miento proporcionada por el fabricante. Recordemos que en los **colectores homologados** este valor (recta de rendimiento) es un **dato público** (no es secreto) y, por lo tanto, el fabricante debe proporcionárnoslo. La conveniencia de utilizar colectores homologados es evidente, puesto que la Administración concede una **subvención** a aquellas instalaciones que utilicen colectores homologados.

Veamos un ejemplo de obtención de los valores de FU y $F(\alpha)$. Lo hacemos sobre la recta de rendimiento de un colector comercializado en España. La gráfica es del tipo habitual, o sea, relaciona el rendimiento con el valor $(T_m - T_a)/I$.

En primer lugar deberemos hallar la pendiente de la recta. La pendiente puede hallarse con un transportador de ángulos en el caso de que las divisiones en los ejes sean **iguales**. Esto, generalmente, no es así, por lo que deberemos prolongar, en caso necesario, la recta de rendimiento hasta que corte a los dos ejes, obteniendo entonces los valores de corte X e Y (Fig.8).

Fig. 8.— Recta de rendimiento de un panel solar.



El valor Y es el **rendimiento máximo** del panel. Esto ocurre cuando la temperatura de salida es prácticamente igual a la de entrada (lo que exige un caudal muy elevado). El valor del punto X corresponde a la **temperatura de salida máxima** que puede proporcionar el panel con un caudal nulo (y por lo tanto con rendimiento nulo). Obsérvese que la curva ha de proporcionar tres valores imprescindibles: la **irradiación**, la **temperatura ambiente** y la **temperatura de entrada del fluido en el panel**.

Podemos obtener el valor de la temperatura máxima a la salida del colector, simplemente despejando el valor de T_{s0} :

$$T_{s_{max}}^2 = 2 (X + 2 T_a^2 - T_a^2)$$

El valor de la pendiente ($\tan \Theta$) es:

$$\tan \Theta = \frac{-Y}{X} \quad (\Theta \text{ es siempre un ángulo negativo})$$

En nuestro caso, el valor de Y es de 0.8 y el valor de X= 0.12. La irradiación en el momento de realizar la prueba era de 650 w/m², la temperatura ambiente de 15° C y la de entrada de líquido al panel de 10° C. Por lo tanto:

$$T_{s_{max}}^2 = 2 \times 650 \text{ W/m}^2 \times 0.12 \frac{\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C}}{\text{W}} + 2 \times 15^\circ - 10^\circ \text{C} = 176^\circ \text{C}$$

$$\tan \Theta = \frac{-0.8}{0.12} = -6.66 \quad \Theta = -81.46^\circ$$

NOTA: El valor de 176° C de temperatura máxima lleva implícito la condición de que tanto F como U son constantes. F sí suele serlo, pero U (que son las pérdidas del panel por convección y radiación) sólo es aproximadamente constante en la zona normal de trabajo del panel solar. Al alcanzar el panel temperaturas tan elevadas, U aumenta considerablemente, por lo que la recta de rendimiento se curva hacia abajo en su parte inferior. Una buena estimación es suponer que la temperatura máxima es un 80% del valor aquí obtenido (aproximadamente unos 140° C).

Si suponemos un caudal másico por unidad de superficie de 0.012 Kg/s m², utilizando agua (calor específico = 4180 J/Kg °K), podemos obtener el valor de la constante:

$$K = \frac{G C_p}{\left(G C_p \cdot \frac{\tan \Theta}{2} \right)} = \frac{0.012 \text{ kg/s m}^2 \times 4180 \text{ J/kg } ^\circ\text{C}}{0.012 \text{ Kg/s m}^2 \times 4180 \text{ J/kg} \cdot \left(-\frac{6.66}{2} \right)} = 0.94$$

Por lo tanto, el valor FU es de :

$$FU = -K \tan \Theta = 0.94 \times -6.66 = 6.26 \text{ w}^\circ\text{K}$$

y el valor de F ($\epsilon \alpha$) es de:

$$F(\epsilon \alpha) = K y = 0.94 \times 0.8 = 0.75$$

En la lección que trata el cálculo de una instalación seguiremos con este ejemplo y veremos la utilidad de estos valores.

CONSIDERACIONES UTILES DE LA RECTA DE RENDIMIENTO

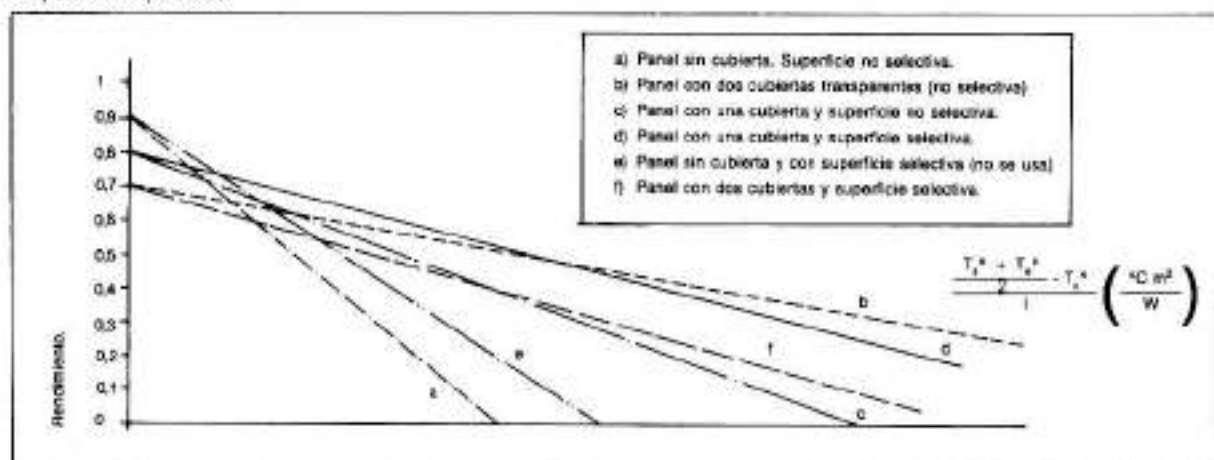
Hemos visto que una de las utilidades de la recta de rendimiento es la obtención del valor $F(\tau\alpha)$, que es un coeficiente adimensional que determina la eficacia con que la energía solar es transferida al fluido.

Observemos que este coeficiente incorpora el valor de F , que dependerá de la forma y características de la distribución del circuito hidráulico de la placa colectora, así como del material empleado. El valor de la transmitancia (τ) depende de las características de la cubierta transparente, sin importar cual sea el material: vidrio, plástico, etc., ni el número de ellas. Asimismo, está incorporado el valor de la absorbancia (α).

Por otra parte el coeficiente FU incorpora el valor U de pérdidas del colector. Estas pérdidas dependen, en buena parte, del valor de la emitancia (ϵ). Por consiguiente, en estos parámetros está incluido el valor de la selectividad α/ϵ , puesto que tanto α como ϵ son valores que afectan a $F(\tau\alpha)$ y a FU , respectivamente.

Veamos algunos casos especiales como consecuencia de alterar la transmitancia y la selectividad (Fig.9)

Fig. 9.— Rectas de rendimiento de paneles especiales.



A) PANEL SOLAR SIN CUBIERTA TRANSPARENTE

En este caso, el valor de la transmitancia (τ) es igual a 1, por lo que respecto a un panel idéntico con cubierta transparente, se tendrá que:

$$F(\tau\alpha) > F(\tau\alpha) \text{ ya que } \tau < 1$$

Ahora bien, el valor de $F(\tau\alpha)$ representa el valor de la ordenada en el origen, por lo que como este valor es mayor en un panel sin cubierta, el rendimiento a las bajas temperaturas de salida de este panel es mayor que en un panel cubierto.

Sin embargo, al aumentar la temperatura de salida del fluido, las pérdidas U aumentan enormemente anulando rápidamente el efecto beneficioso de la falta de cubierta transparente. La recta de rendimiento tendrá una pendiente grande y el panel no podrá alcanzar temperaturas elevadas. Este tipo de panel está especialmente indicado para el calentamiento de piscinas (hasta 40°C).

B) PANEL SOLAR CON VARIAS CUBIERTAS TRANSPARENTES

En este caso, el valor de la transmitancia es el producto de la transmitancia de las distintas cubiertas transparentes, por lo que la transmitancia global (τ) será sensiblemente inferior a 1, e inferior al caso de un panel con una sola cubierta. Por esta razón, el valor de la ordenada en el origen será pequeño y el rendimiento a baja temperatura también. En cambio, las pérdidas U serán muy pequeñas, por lo que al aumentar la temperatura de salida del fluido este efecto se compensará sobradamente, y el panel podrá alcanzar temperaturas elevadas con rendimientos aceptables. Este tipo de panel se usará en aplicaciones que requirieran temperaturas altas (hasta 80°C).

C) PANEL SOLAR CON SUPERFICIE NO SELECTIVA

En este caso el valor de $F(\tau\alpha)$ es el mismo que en un panel de superficie selectiva (se supone que los coeficientes de absorbancia son iguales, así como sus otras características). Por lo tanto, la recta de rendimiento partirá

del mismo punto que en un panel con superficie selectiva.

Sin embargo, debido a su alta emitancia (ϵ), sus pérdidas (representadas por U) serán elevadas, especialmente a medida que la temperatura de salida del fluido aumente, con lo que este panel no podrá alcanzar temperaturas demasiado altas, aunque eso sí, más elevadas que el panel sin cubierta.

Este tipo de panel es indicado en aplicaciones que no requieran grandes temperaturas, como por ejemplo agua caliente en zonas cálidas hasta 60° C.



D) PANEL SOLAR CON SUPERFICIE SELECTIVA

Ya hemos visto que el valor de $F(\tau\alpha)$ es el mismo en un panel con superficie selectiva que no selectiva. Por lo tanto, la recta de rendimiento partirá del mismo punto que la de un panel no selectivo.

Las pérdidas por emitancia (ϵ) (englobadas en U) serán muy reducidas, por lo que este panel trabajará eficientemente en la zona de temperaturas elevadas. Este tipo de panel será indicado en aplicaciones de tipo general, como agua caliente sanitaria, calefacción, etc. (hasta 80°C).

Además de estas cuatro posibilidades existen otras dos posibles combinaciones tales como:

- Panel sin cubierta con superficie selectiva (no se usan porque además de no tener sentido esta combinación, al estar la superficie selectiva sin cubierta, se degradaría rápidamente).



- Panel con varias cubiertas y superficie selectiva (se usa para obtener temperaturas especialmente elevadas (hasta 100 °C), pero son paneles muy caros y pesados).

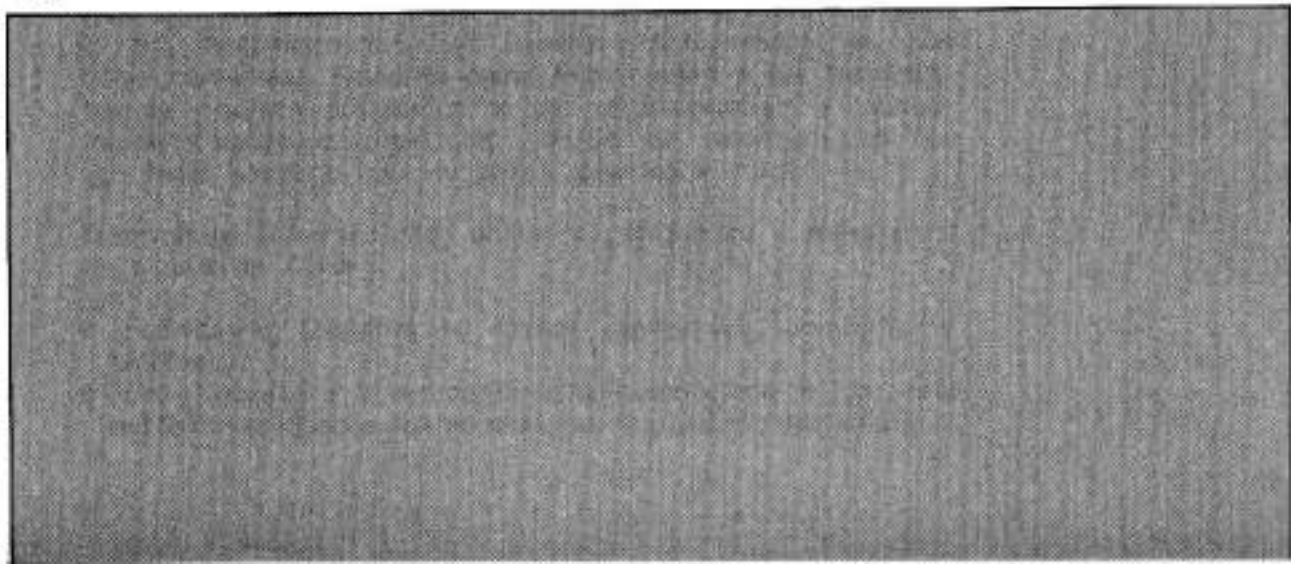
DATOS DE INTERES

COEFICIENTES DE TRANSMISION DE CALOR DE METALES W/m°C (ENTRE 0 y 100°C)

Acero 1% C	45
Fundición de hierro	46
Hierro forjado	60
Acero inoxidable 18/8	17
Cobre	350
Zinc	111
Níquel	60
Plata	418
Plomo	34
Aluminio	204
Bronce	188
Latón (70% Cu+30% Zn)	100
Metal del Almirantazgo(bronce)	113
Constatán	26



LECCION 11





11. LA ELECCION DE UN PANEL SOLAR PLANO

INTRODUCCION

Vamos a ver en esta lección la forma de elegir un panel solar plano en función de numerosos aspectos, que examinaremos con gran minuciosidad. Esta lección no pretende explicar cómo ha de ser el panel plano ideal, sino exponer las ventajas e inconvenientes de las diversas modalidades de diseño de paneles solares que hay actualmente en el mercado.

ASPECTOS GENERALES A TENER EN CUENTA A LA HORA DE ELEGIR UN PANEL PLANO

Supongamos que tenemos que realizar una instalación de energía solar. Aparte de otras preocupaciones, como el cálculo de la misma, la compra del acumulador o el coste económico, probablemente nuestra mayor preocupación será la de saber elegir el tipo de panel solar apropiado y, concretamente, un modelo determinado de una firma comercial. Podemos pedir información a los fabricantes de equipos solares o a sus distribuidores y acabar teniendo sobre la mesa un montón de catálogos en los que todos aseguran que su panel solar es el mejor.

Empecemos a seleccionar entre los catálogos y busquemos los siguientes datos:

- Fabricante (Nombre o marca comercial, domicilio y teléfono).
- Homologación (si el panel está homologado o no; sólo están homologados los paneles de fabricación nacional)



- Precio por metro cuadrado de superficie total (ello implica conocer el precio del panel y sus dimensiones exteriores)
- Garantía (si existe algún tipo de garantía o no; los paneles homologados tienen una garantía de tres años).
- Servicio Post-Venta (si el panel en caso de avería, fuera del período de garantía, se podrá reparar)
- La recta de rendimiento (que nos afectará al tipo de instalación).

Respecto al fabricante, puede ser que el nombre o marca nos sea conocido o no. Hacia mediados de los años 70 aparecieron numerosos fabricantes, sin demasiada solvencia, que afortunadamente hoy en día han desaparecido como tales (generalmente eran pequeños talleres de planchistería mecánica, que acabaron arruinándose). Actualmente los fabricantes de paneles solares suelen ser empresas que fabrican los paneles como otro producto más de una amplia gama de fabricaciones. Así, por ejemplo, empresas que fabrican armarios metálicos de oficina o grandes electrodomésticos fabrican también paneles solares.

Debemos comprobar (o al menos tener cierta idea) de que el domicilio de la empresa y/o el lugar donde se fabrican o montan los componentes de los paneles solares ofrece cierta seriedad. Es decir, los paneles se fabrican o montan en una nave industrial y no en un cuarto trastero, la empresa tiene teléfono y figura en las páginas amarillas de la guía telefónica, etc.

Hay que decir, que a veces, pequeños fabricantes que realizan casi artesanalmente un panel solar, ofrecen calidades muy superiores a otras marcas de gran renombre.

Si el panel es español, debe entonces elegirse uno que esté **homologado**, ya que la subvención que concede la Administración sólo se da en el caso de usar colectores homologados. Los fabricantes informan de la homologación en sus catálogos y debe constar en ellos la fecha de publicación de la homologación en el Boletín Oficial del Estado.

Los paneles de fabricación extranjera no son homologados, pero no debemos a priori descartarlos por este motivo. Sí, en cambio, **descartaremos** todo panel solar **español** que no esté homologado.

A continuación, examinaremos el precio por metro cuadrado de panel solar, considerando la superficie total. Los

precios no suelen figurar en los catálogos y deberemos preguntarlo, indicando aproximadamente la cantidad de paneles que deseáramos comprar, pues si se compran en gran número, los fabricantes o distribuidores hacen descuentos. Dividiendo el precio de cada panel por su superficie total obtendremos el precio por metro cuadrado.

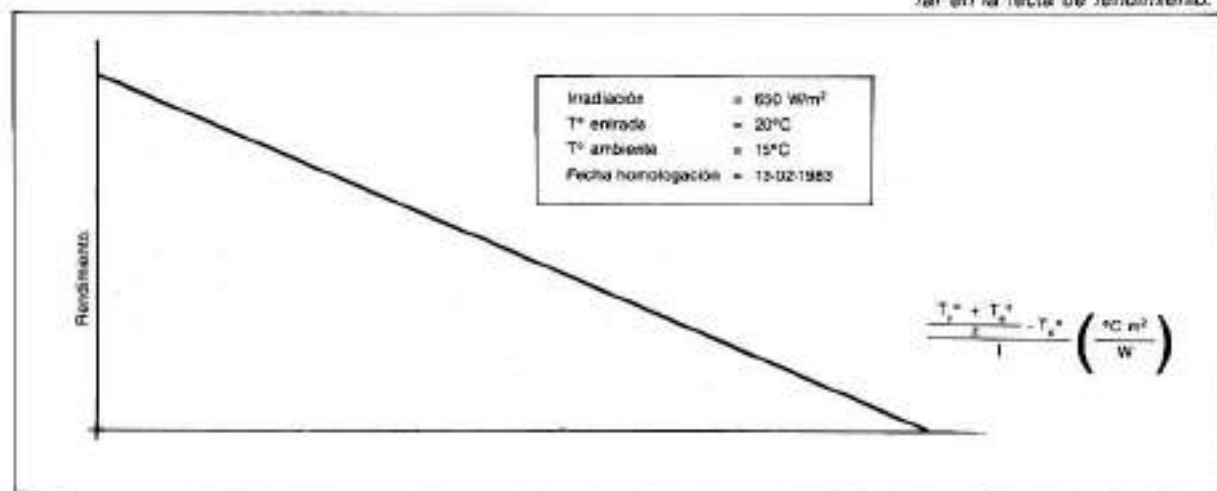
El precio por metro cuadrado de panel solar es bastante variable, oscilando entre las 15.000 y 30.000 ptas/m², para paneles solares corrientes.

Si el panel está homologado, tiene una garantía de 3 años. La homologación supone una cierta seguridad sobre la garantía que ofrece el fabricante, pues, en caso de incumplimiento, la Administración puede retirar la homologación, hecho que al fabricante no le interesa que ocurra en absoluto.

El Servicio Post-Venta debe garantizar las posibles averías o mantenimiento preventivo de la instalación. Las averías más frecuentes son la rotura de cristales, que el circuito hidráulico de un panel se rompa, que pierda estanqueidad y entre agua de lluvia en el interior del panel, etc.

La recta de rendimiento suele figurar en los catálogos. Debemos comprobar que el valor del eje horizontal esté en unidades m² °C/W y no en función de la temperatura de salida (Fig.1). Asimismo, es imprescindible conocer el valor de la irradiación (I) de la temperatura ambiente (T_a) y la temperatura de entrada de líquido colector (T_e) en el momento que se hizo el ensayo de rendimiento. Si estas dos últimas temperaturas no se conocen exactamente podemos suponerlas entre 10 y 25° C, sin que afecte excesivamente.

Fig. 1.— Valores que deben figurar en la recta de rendimiento.



Ahora debemos buscar el valor de unidades $m^2 \text{ } ^\circ\text{C}/\text{W}$ que corresponde con la temperatura de trabajo que deseemos, dando a la I , T_a y T_e los valores anteriores de referencia. Los valores usuales de T_e s son:

● Calentamiento de piscinas	40° C*
● Agua caliente	60° C
● Calefacción por suelo radiante	50° C
● Calefacción por convectores	80° C

De esta forma obtendremos un determinado rendimiento para cada tipo de panel diferente. Lógicamente, tendremos preferencia por aquellos que ofrezcan un mayor rendimiento. Así, si deseamos calentar una piscina, seleccionaremos aquellos tipos de paneles que con una temperatura de salida de 40° C nos proporcionen el máximo rendimiento, mientras que si es para una instalación de calefacción por convectores, precisaremos paneles que a 80° C tengan un rendimiento aceptable. (Fig. 2).

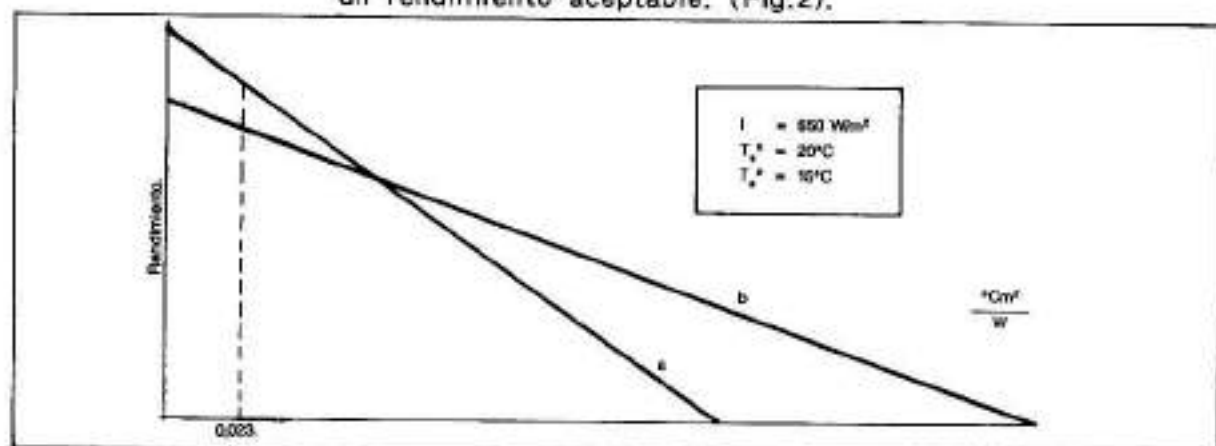


Fig. 2.— Punto del valor de $^{\circ}\text{Cm}^2/\text{W}$ para una temperatura de salida de 40° C. El panel (a) tiene mayor rendimiento que el (b).

Hechas estas averiguaciones sobre los catálogos, a buen seguro ya habremos desechado algunos y habremos seleccionado otros, y en algunos casos estaremos indecisos.

ASPECTOS PARTICULARES PARA UNA CORRECTA ELECCION DE UN PANEL SOLAR PLANO

Con los catálogos poca cosa podemos hacer, aunque podemos saber de qué material está hecho el circuito hidráulico.

co, la disposición de las conexiones y tal vez el material de la caja y cubierta. Este es el momento de **dirigirnos** al fabricante, distribuidor o aprovechar una exposición, feria, etc. para poder **ver y tocar** el panel solar.

Los catálogos pueden ser **engañosos**, pues distorsionan la realidad en un sentido u otro. Si no se tiene experiencia o no se conocen de antemano, es muy conveniente examinar los paneles personalmente y hacer las preguntas que creamos conveniente a la persona que nos lo señale.

DISEÑO, TAMAÑO Y PESO

Generalmente, todos los paneles solares planos consisten en un paralelepípedo, caracterizado por las tres dimensiones: largo, ancho y grueso (Fig.3). La disposición más general es la **vertical**, es decir, el lado menor se coloca horizontal, recorriendo el circuito hidráulico la placa colectora de abajo a arriba. Esta disposición vertical suele ser más eficiente para conseguir temperaturas más elevadas y es más barata de fabricar, en la mayoría de los casos, por lo que es la más general. Existen paneles que se colocan al revés, es decir con el lado mayor horizontal (apaisados). Esta disposición **horizontal** se presta más a paneles sin excesivos requerimientos de altas temperaturas, pero suele ser más cara y la distribución del fluido en su interior no suele ser tan eficiente.

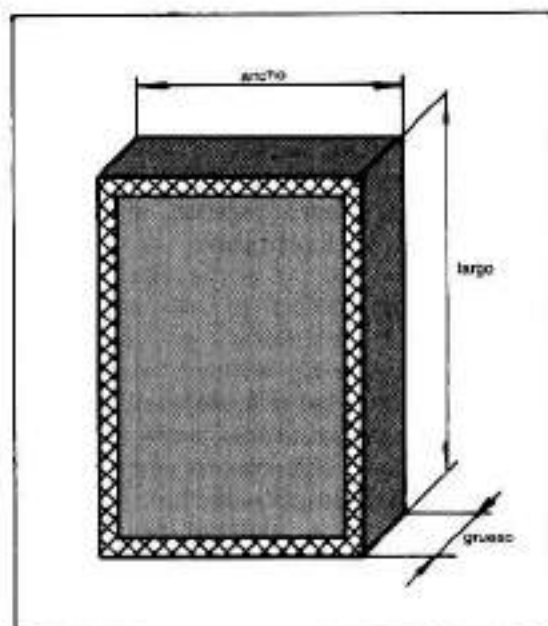


Fig. 3.— Dimensiones exteriores de un panel solar plano.

Existen también paneles solares cuadrados, que tienen características intermedias, pero que en general son más pequeños en superficie que los rectangulares (Fig.4).

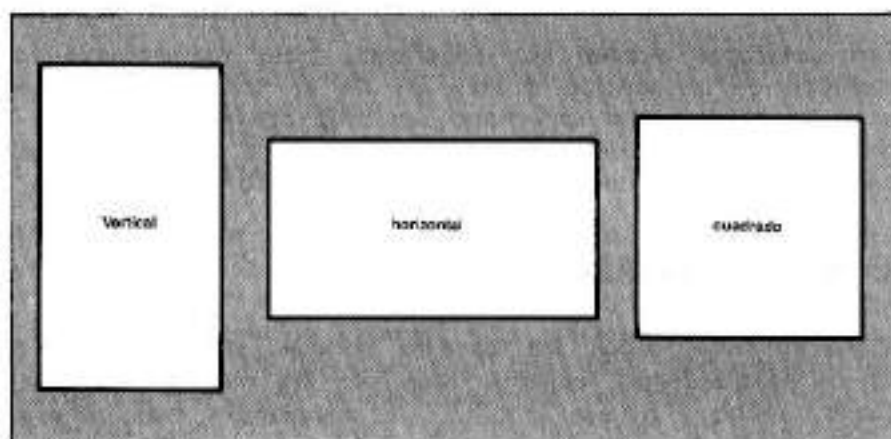


Fig. 4.— Disposiciones de los paneles solares planos.

Hay, finalmente, paneles especiales con la cubierta curvada, con espejos en el interior, etc. que se estudian en el último apartado de esta lección.

El tamaño de los paneles es un dato importante. Las dimensiones estandarizadas son de 2 x 1 m de largo x ancho, lo que permite disponer de aproximadamente 1,8 a 1,9 m² de superficie útil por panel solar. Paneles de mayor tamaño son **difíciles de transportar**, mientras que si son más pequeños el efecto de las **superficies inútiles** del marco, las conexiones entre ellas, etc. aumentan considerablemente, especialmente en instalaciones de un cierto tamaño.

El peso es otro factor a tener muy en cuenta. Ya dijimos que el peso ideal es de unos 30 kg/m² de panel, que asegura una cierta rigidez, al tiempo que el peso total de los paneles es aceptable.

ACABADO

Nos fijaremos ahora en el aspecto exterior del panel. Este debe tener un aspecto agradable a la vista; debemos comprobar que el marco exterior es uniforme en toda su longitud, que la placa colectora no presenta raspaduras, desconchaduras o abolladuras, que los elementos de cierre son uniformes a todo lo largo del panel, que los orificios para las conexiones estén limpios y perfectamente sellados y, en general, que no se aprecie ninguna "chapuza".

CUBIERTA

La cubierta puede ser de vidrio o plástico. En general, son preferibles las cubiertas de vidrio. En los paneles de 2 x 1 m, suelen haber dos vidrios, uno que cubre la parte inferior y otro para la superior. En paneles más pequeños puede haber un solo vidrio. Un panel de 2 x 1 m o mayor con un solo vidrio es **desaconsejable**, pues este vidrio, aunque suele ser de mayor espesor, está más expuesto a **romperse** por dilataciones, pedrisco, vientos huracanados, etc. (Fig.5).

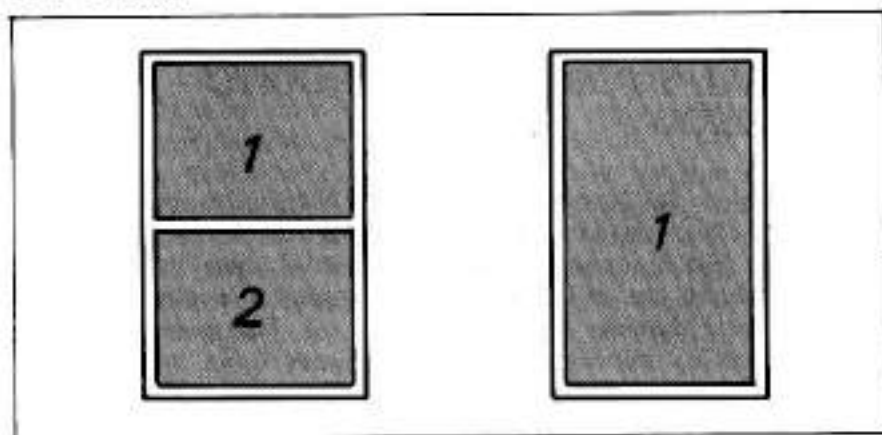


Fig. 5.— Panel solar con un vidrio y con dos vidrios.

El vidrio puede ser del tipo solar o normal (transparente). El de tipo solar es pulido en su cara interior y ligeramente rugoso en la exterior. Esto se hace para aumentar el cono de apertura útil (que es en este caso, mayor de 120°). Este tipo de vidrio está comercializado en España y cada vez tiene más aceptación.

El colector puede tener dos cubiertas; en este caso el colector es **especial** para obtener altas temperaturas.

Si la cubierta es de **plástico** deberemos ir con más cuidado. Los plásticos más utilizados son el **policarbonato** y el **Tedlar**. Si utiliza policarbonato, lo reconoceremos por su enorme transparencia, pero deberemos averiguar si ha sido tratado para resistir a la **radiación ultravioleta**. Las láminas de policarbonato, tienen un espesor similar a las de vidrio, pero en general los plásticos se comportan **peor** que el vidrio en relación con el "**efecto invernadero**."

Si la cubierta es de **Tedlar**, lo reconoceremos por el hecho de ser ligeramente **mate** y por su **falta de rigidez**. El Tedlar es una película de 0,1 mm. de espesor de fluoru-

ro de polivinilo. El Tedlar es el plástico que mejor comportamiento tiene: tiene una transmitancia tanto para la radiación solar como para la infrarroja lejana bastante aceptable (aunque el vidrio es mejor), es inmune a la radiación ultravioleta, resiste altas temperaturas y a pesar de su pequeño espesor, es altamente resistente a impactos, golpes, etc. hasta el extremo que un hombre puede andar sobre la cubierta de Tedlar de un colector sin dañarla (cosa impensable en cubierta de vidrio o policarbonato). A pesar de ello, el Tedlar se usa poco debido a su elevado precio y a las dificultades que entraña la fijación del mismo en el panel (cosa que no ocurre con una lámina rígida).

MATERIAL Y FORMA DEL CIRCUITO HIDRAULICO

El material y la forma del circuito hidráulico son importantes por dos motivos: el material del circuito hidráulico (aluminio, cobre, acero, acero inoxidable) nos determinará el material de las tuberías y del depósito acumulador en el caso de líquidos, ya que debido a los problemas de corrosión no es conveniente utilizar materiales muy distintos entre sí, como, por ejemplo, cobre y acero galvanizado.

Por su parte, la forma del circuito hidráulico y su diseño (serie, paralelo, tubos, canalículos) determina la presión máxima de utilización (Fig.6). Los circuitos en serie de tubos son los más resistentes, siguiéndole luego los circuitos en paralelo, también de tubos. Los circuitos más sensibles a sobrepresiones son los formados por canalículos hechos en la propia placa, ya sea por soldadura de dos placas estampadas entre sí o por una placa Roll-Bond. (En los catálogos suele venir indicada la presión máxima de servicio).

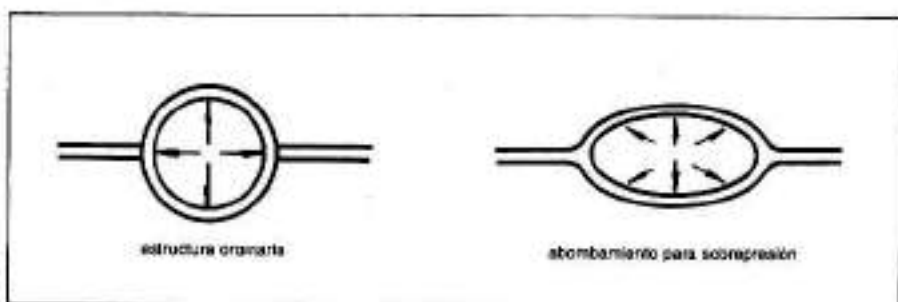


Fig. 6.— Los circuitos hidráulicos formados por tubos son más resistentes a las sobrepresiones.

En general, son preferibles los circuitos en **paralelo**, así como los formados por tubos independientes de la placa

colectora (que son más seguros), aunque la transmisión de calor sea en estos casos un poco peor.

SUPERFICIE SELECTIVA

La superficie selectiva requerirá seguidamente nuestra atención. Debemos comprobar que el pigmento negro sea totalmente **uniforme** en toda la superficie de la placa colectora, sin la presencia de zonas más brillantes o más mates. Asimismo, deberemos comprobar que no existe ningún agrietamiento, irregularidad, etc. en la misma. Según el sistema de tratamiento elegido y los materiales (pintura, electrodeposición, tratamiento químico), los componentes del pigmento selectivo pueden reaccionar con el metal base o con la humedad del aire, degradándose, o bien despegándose del mismo y saltando. Este punto es sumamente delicado y no estará de más preguntar acerca de las garantías que tiene el recubrimiento, tanto si es selectivo como si no. Finalmente, recordemos que la selectividad, especialmente si es muy elevada ($s > 5$), puede perder características rápidamente con el paso del tiempo y disminuir a valores inferiores de los previstos.

AISLANTE TERMICO

A continuación de la placa colectora nos encontramos con el aislante térmico. Aquí debemos comprobar la presencia del **reflector**, una hoja de aluminio brillante, pegada encima del aislante en la parte que mira a la placa colectora. El reflector, como su nombre indica, es un espejo térmico que refleja otra vez hacia la placa la radiación que ésta emite por debajo, por lo que su presencia aumenta el rendimiento energético de un panel solar respecto a otro idéntico sin ella. (Fig.7).

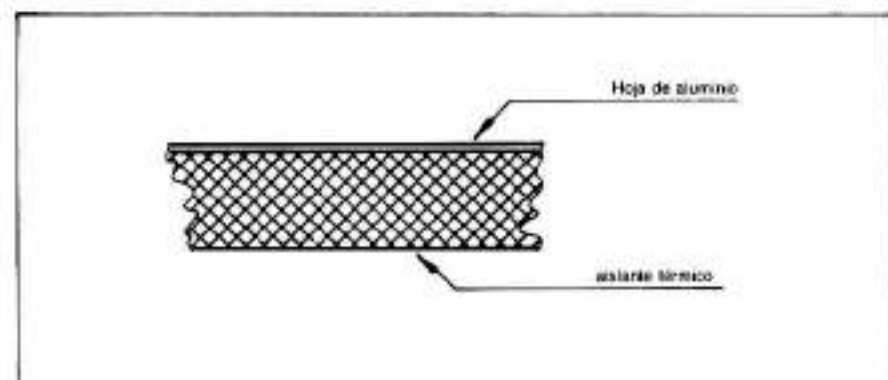


Fig. 7.— Aislamiento térmico.

El aislante debe tener un grosor apropiado (**nunca inferior** a 3 cm y preferentemente 5 cm y más. Cuanto mayor es el espesor de aislante, tanto mejor, pues las pérdidas del panel serán reducidas. Un dato muy importante y que suele pasar por alto es comprobar que el aislante **continúa** por los cuatro laterales del panel solar (Fig.8). A veces, por razones estéticas y para aproximar más la superficie total a la de abertura (es decir, hacer el marco más estrecho), los fabricantes no ponen aislante en esta zona; esto es especialmente grave en el lateral superior, donde debido a la convección interna, el material estará muy caliente, con pérdidas elevadas. Una simple inspección a través de la cubierta transparente nos evidenciará si existe aislante (que generalmente estará tapado por una chapa metálica por razones estéticas) o si es imposible que éste exista debido al escaso espesor del marco.

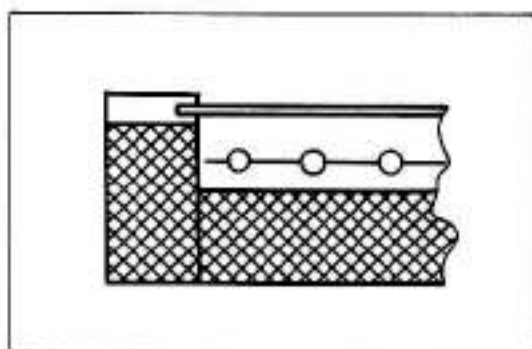


Fig. 8.— El aislante térmico debe colocarse también en el marco.

El tipo de aislante es muy importante, ya que los aislantes son materiales fibrosos que tienen tendencia a absorber humedad.

La humedad puede infiltrarse en un panel a partir del aire atmosférico o por entrada directa de agua, por ejemplo, de lluvia. Los aislantes húmedos **pierden** sus propiedades aislantes y se vuelven buenos conductores del calor. Por esta razón deberemos asegurarnos que el aislante elegido por el fabricante no tenga estos problemas.

MARCO EXTERIOR Y/O CAJA

Todo lo anteriormente descrito se introduce en una caja, la cual puede ser de una sola pieza o bien compuesta de un marco y de una placa de fondo independiente (que generalmente es una plancha de acero galvanizado) (Fig.9). Ya hemos dicho que es conveniente que el marco tenga

algunos centímetros de grosor, con objeto de tener aislante térmico en su interior.

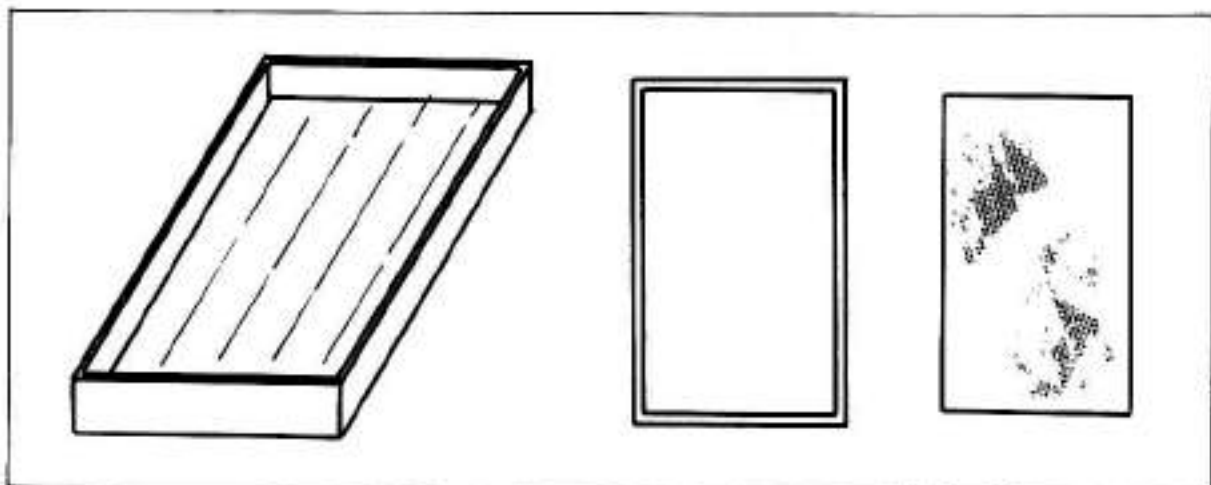


Fig. 9.— Caja completa, marco y plancha del fondo.

La caja puede ser metálica o de algún material como poliéster reforzado con fibra de vidrio (material, este último, con que se fabrican embarcaciones). Si la caja es metálica, es preferible que conste de un marco y de una placa de fondo independientes. Los materiales más utilizados para el marco son el acero inoxidable y el aluminio anodizado, por su resistencia a la corrosión. Los marcos de acero pintado no son convenientes, pues acaban oxidándose tarde o temprano. El marco es el elemento donde se apoyan todos los componentes del panel solar, por lo que es conveniente que sea **muy rígido**. En acero inoxidable los cuatro laterales pueden soldarse entre sí, mientras que en aluminio anodizado se atornillan.

Si la caja es de poliéster, ésta suele ser de una sola pieza, pudiendo a veces llevar refuerzos de alambre en algunas zonas, especialmente en el marco, y con dibujos y nervaduras en el fondo para darle más rigidez mecánica.

FIJACIONES

Debemos a continuación examinar las **fijaciones** del panel. Hay paneles que las llevan incorporadas, mientras que en otros los mismos fabricantes proporcionan unas piezas sencillas que los sujetan por las esquinas.

Es importante destacar que las fijaciones deben ser **robustas y sencillas**. Todas aquellas fijaciones compuestas de piezas complicadas y más o menos ingeniosas conducen a

que tengamos que depender de unas piezas exclusivas y caras.

CONEXIONES

Los tubos de **conexión**, ya vimos que podían presentarse de tres maneras diferentes: por los laterales derecho e izquierdo, por los laterales superior e inferior y por la parte posterior. Lo normal es que estas conexiones estén **roscadas** a fin de acoplar allí el racord apropiado. No obstante, hay algunos que son lisos y están previstos para ser soldados o para colocar un manguito de plástico. En general, las conexiones roscadas son preferibles sobre las demás, ya que pueden permitir el rápido desmontaje de un panel y la sustitución por otro.

En el caso de que la conexión sea por la parte posterior hay que verificar que el tubo de salida está **lo más alto posible**, e incluso si no es perpendicular a la placa de fondo sino inclinado hacia arriba (hecho que es preferible) para poder dar salida a las posibles burbujas de aire.

ELEMENTOS DE CIERRE

El panel, en general, debe ser estanco, principalmente a la lluvia. Por otra parte, los paneles a lo largo de las 24 horas del día están sometidos a fuertes calentamientos y enfriamientos que hacen que sus materiales se dilaten de forma apreciable. Ello obliga a disponer de elementos de cierre que garanticen la estanqueidad, pero permitan las dilataciones. Esto se consigue mediante juntas de caucho especial y/o de siliconas.

Estos materiales deben colocarse a lo largo del perímetro de la cubierta transparente, en los ángulos de aquellos marcos que sean de cuatro piezas no soldadas, junto a los elementos de fijación y en las conexiones (Fig.10).

Los elementos de cierre pueden **degradarse** con el tiempo debido a las altas temperaturas y a la radiación ultravioleta. Los tipos de caucho más usado son el **Etileno-propileno** y el **EPOM**. Las **siliconas**, que pueden teñirse del color que se desee, son en general más resistentes que los cauchos.

Un cierre defectuoso origina un problema muy común después de una lluvia o de unos días con mucha humedad:

el agua entra dentro del panel solar, bien sea directamente (lluvia) o en forma de vapor de agua.

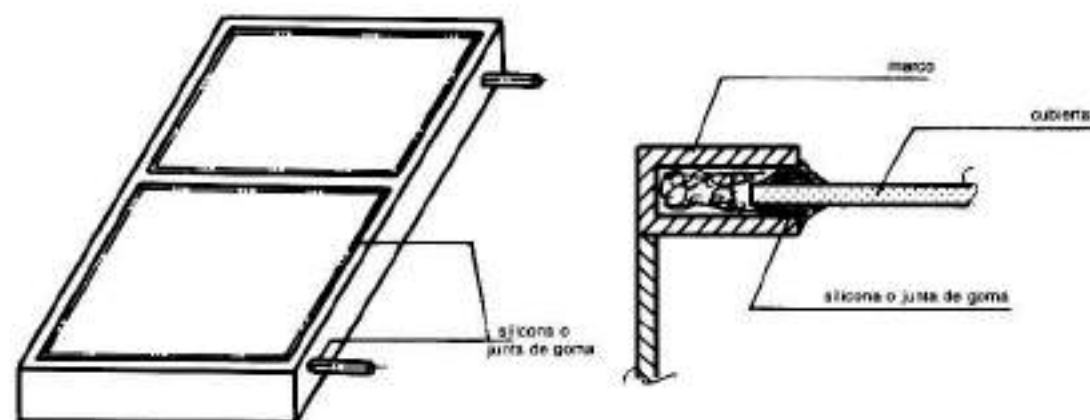


Fig. 10.— Elementos de cierre (gomas y siliconas).

Mientras que el vapor de agua existente dentro del panel solar esté por encima del **punto de rocío** no pasará nada, pero en caso contrario el agua condensará en forma de **vaho**, preferentemente en la parte interior de la cubierta transparente (Fig.11)

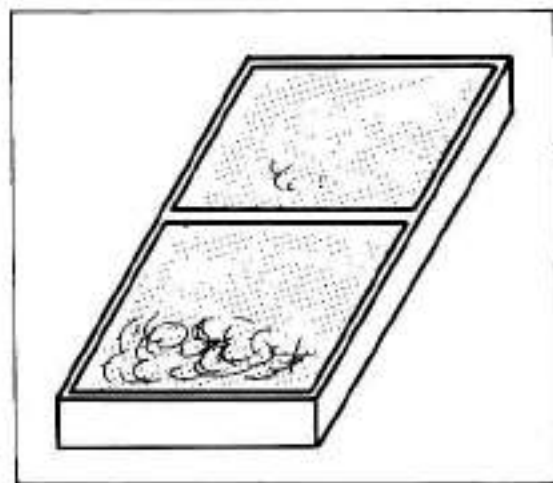


Fig. 11.— Empañamiento interior de un panel solar.

El **empañamiento** del panel tiene lugar preferentemente de noche, cuando la temperatura es baja, y en las zonas inferiores del panel. El vaho formado no deja pasar la radiación solar, por lo que el panel solar no se calienta. Al no calentarse el panel solar, el vaho no se desvanece y el rendimiento energético es bajo. Este fenómeno se ve acentuado si el material aislante es buen absorbente de humedad. La presencia de humedad es **peligrosa**, pues puede provocar la oxidación de la placa colectora y la degradación de la superficie selectiva.

El empañamiento se evita haciendo algún orificio en la parte posterior del panel, al abrigo del agua de lluvia. En general, un panel solar debe ser **estanco** al agua de lluvia, pero no necesariamente hermético, siendo preferible que posea una cierta ventilación por la parte posterior del mismo.

ACCESIBILIDAD DEL PANEL SOLAR

Finalmente, debemos fijarnos en un detalle de suma importancia: la **accesibilidad** de las diferentes partes del panel solar y su posible desmontaje. En este sentido son preferibles aquellos paneles que estén atornillados o que puedan desmontarse con cierta facilidad.

Hay paneles en los que, una vez contruidos, resulta imposible hacer cualquier reparación sin romperlos. La accesibilidad es especialmente importante en el caso de la **cubierta transparente**, ya que este elemento es el más vulnerable debido a su fragilidad. Por ello, el panel debe estar construido de tal forma que se pueda cambiar la cubierta fácilmente, incluso sin necesidad de desmontarlo ni desconectarlo del circuito hidráulico.

Igual recomendación debe hacerse para el resto de componentes, aunque en este caso deberemos desmontarlo y desconectarlo del circuito hidráulico.

Con estas ideas, a buen seguro ya disponemos de elementos de juicio más que suficientes para hacer una elección acertada del tipo de panel solar que deseamos instalar.

Para ello deberemos evaluar los pros y contras de cada marca, teniendo bastante claro que **no existe** ningún panel que cumpla todos los requisitos de perfección que hemos expuesto.

COLECTORES PLANOS ESPECIALES

Algunos paneles planos especiales presentan la cubierta (de plástico) **curvada**. Esto se hace así para aumentar el cono de apertura útil, pues, al estar curvada, la radiación solar incide más perpendicularmente sobre la cubierta. Su

comportamiento es similar a un panel normal, pero suelen tener mejor rendimiento y son más caros (Fig.12).

Para calentamiento de piscinas se han desarrollado unos colectores de **caucho negro**, que constan simplemente de la placa colectora con un haz de tubos en paralelo y dos tubos colectores. Estos colectores se guardan **enrollados** (son flexibles) y, cuando conviene su uso, se desarrollan y se colocan (a veces sobre el mismo suelo) como si fueran una alfombra, conectándose la entrada y salida al agua de la piscina mediante una bomba. Recordemos que este tipo de colectores ha de tener el caudal de circulación elevado (Fig.13).



Fig. 12.— Panel solar de cubierta curvada.

MARCA: INISOLAR (panel de caucho)

DIMENSIONES EXTERIORES: 3.000 x 756 mm

SUPERFICIE UTIL: 2,36 m²

PESO EN VACIO: 10,6 kg

PANEL CAPTADOR: Caucho EPDM (monómero-dieno-etileno-propileno)

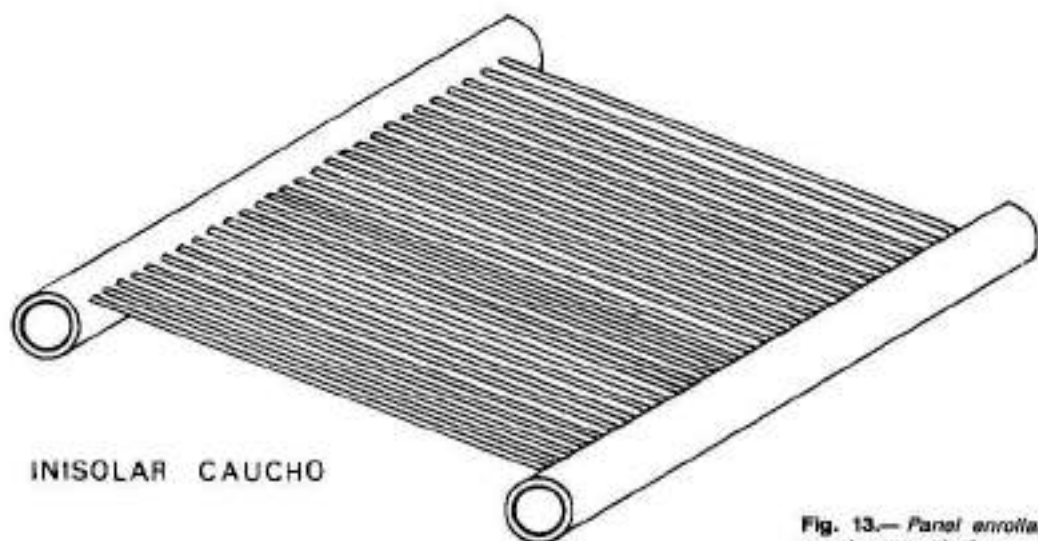


Fig. 13.— Panel enrollable de caucho para piscinas.

Para aplicaciones a muy alta temperatura (100° C) existen unos colectores con **espejos**, que están dentro de una caja como si de un panel plano se tratase.

Debido a la **alta curvatura del espejo** y a la forma del **absorbedor** (que sustituye a la placa colectora), este tipo de colectores **no** precisa realizar el seguimiento del Sol como ocurre con los colectores de concentración. No

obstante, tienen la propiedad de captar solo radiación directa, por lo que poseen menor rendimiento que los normales. No obstante, debido a la concentración que realizan los espejos, pueden tener a temperaturas altas rendimientos superiores que sus homólogos planos de doble cubierta y superficie selectiva (Fig.14).

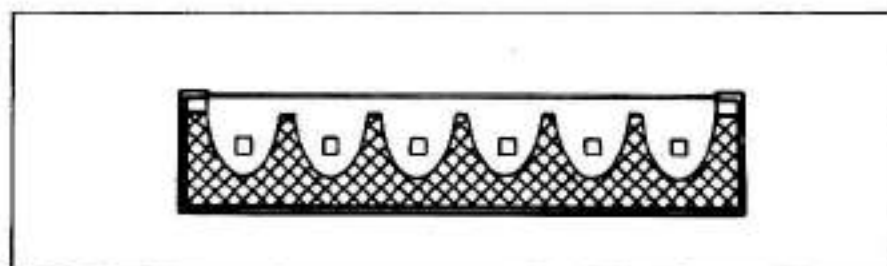
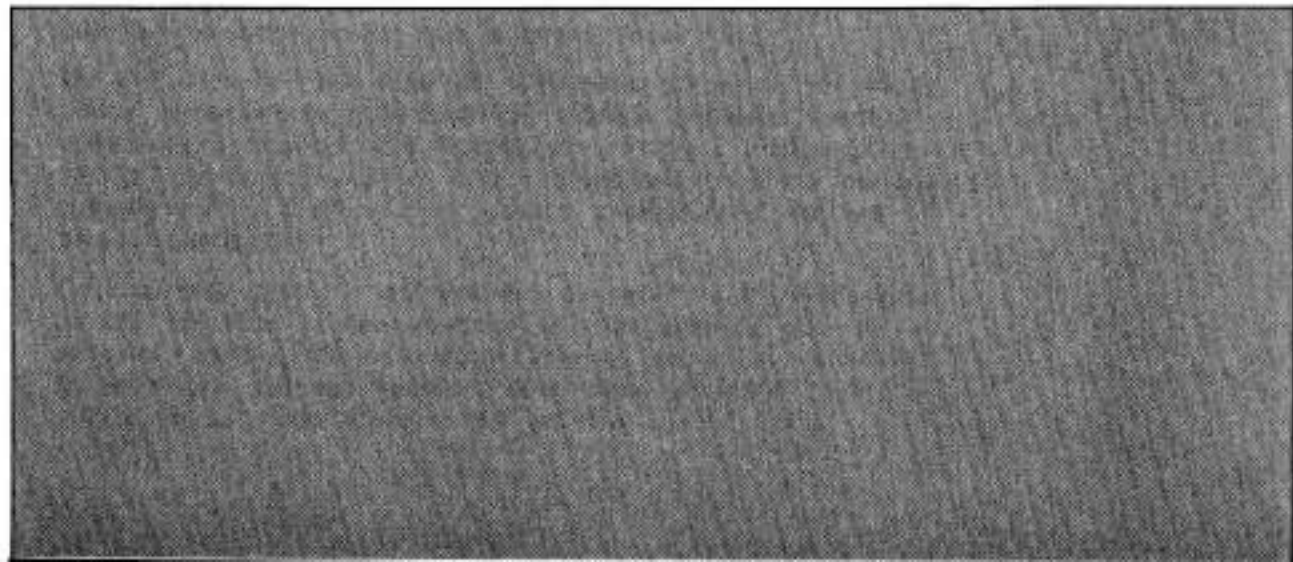


Fig. 14.— Panel de espejos de alta curvatura

LECCION 12



12. EL ACUMULADOR DE CALOR

INTRODUCCION

Siguiendo con nuestro estudio detallado de las diferentes partes que componen una instalación solar, veremos ahora un punto de suma importancia y que no siempre es considerado como se merece: el acumulador de calor, de cuyo diseño depende en buena parte la eficacia de una instalación de Energía Solar.

ACUMULADORES DE CALOR

Dado que la energía solar no es constante (alternancias del día y de la noche, días nublados, etc), mientras que el consumo diario sí lo es, se precisa disponer de sistemas que permitan almacenar este calor para cuando sea necesario.

Es evidente que en días despejados se producirá una captación importante de energía solar, especialmente en las horas centrales del día, mientras que en un día nublado (muy tapado) el panel solar estará tan sólo algunos grados centígrados por encima de la temperatura ambiente. Por otra parte, los consumos tampoco son regulares a lo largo del día, concentrándose en ciertas horas, mientras que hay períodos en los que el consumo es nulo.

De ahí, pues, la necesidad de **almacenar** el calor. El calor puede almacenarse guardando un **líquido caliente** (generalmente agua casi siempre tratada con aditivos anticongelantes y anticorrosivos) o bien calentando objetos sólidos (generalmente piedras), los cuales calientan a su vez el aire circundante.

En cualquier caso, un acumulador de calor es un **recipiente** dentro del cual la temperatura es más elevada que en el exterior. Para poder conseguir que el calor no atravesase la envoltura del acumulador, éste debe aislarse térmicamente de un modo efectivo del exterior.

Los acumuladores de calor, pueden colocarse en cualquier sitio: los pequeños (hasta 1 m^3) pueden estar en una habitación, en un armario, en la buhardilla, etc. Los medianos (hasta 10 m^3) pueden situarse en el garaje, sótano, etc., mientras que los grandes (más de 10 m^3) suelen situarse en compartimentos especiales para ello, o bien enterrados o semienterrados en el suelo. Aparte de la capacidad calorífica, el volumen, el peso, etc., dos aspectos son importantes en el diseño del acumulador:

- La temperatura de trabajo
- Las pérdidas de calor

Los acumuladores tienen una gama de temperatura de trabajo que está en función de su utilización. Por ejemplo, para agua caliente sanitaria no deben sobrepasar los 60°C , mientras que para calefacción mediante conveectores deben ser temperaturas más altas (unos 80°C).

Si deseamos acumuladores para temperaturas de más de 100°C , deberemos utilizar, preferentemente, un **aceite térmico** que resista sin descomponerse temperaturas elevadas, recordemos que temperaturas de más de 100°C se consiguen a buen rendimiento con colectores de concentración.

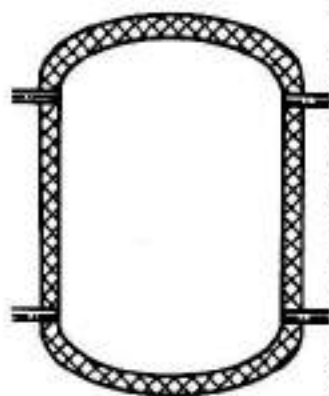


Fig. 1.— Acumulador de calor para líquidos.

Los acumuladores **pierden calor** a través de sus paredes. Generalmente (excepto en el caso de acumuladores enterrados), los acumuladores están apoyados mediante unos soportes de poca superficie, por lo que la transmisión de calor al suelo a través de ellos es despreciable. Los acumuladores pierden calor por conducción a través del recipiente y del aislante, y por convección y radiación entre la capa exterior y el aire o espacio circundante (Fig.1).

Las pérdidas por conducción (que se aprecian por estar la pared exterior del acumulador a una cierta temperatura) se evitan disponiendo del conveniente **espesor** de aislante térmico apropiado, mientras que las pérdidas por convección y radiación se evitan forrando exteriormente el acumulador de materiales **lisos** y **poco emisivos** como la plancha de aluminio.

Como se observa, si el acumulador está forrado exteriormente con un material concreto, las pérdidas de calor dependen del espesor y tipo de aislante térmico, de su superficie lateral y de la diferencia de temperatura entre el interior y el exterior. Por estas razones, los acumuladores de calor **no** deben estar a la **intemperie** (expuestos al

viento, que hace aumentar las pérdidas por convección), ni mucho menos en lugares sombríos y fríos al aire libre.

Para disminuir las pérdidas de calor, los acumuladores deben ser lo más **compactos** posible, siendo preferidas las formas esféricas. Ahora bien, como la forma esférica es difícil de trabajar, los acumuladores suelen hacerse **cilíndricos**. En estos casos, el cilindro que a igual volumen tiene menos superficie lateral es aquél en que el diámetro es igual a la altura. No obstante, ya veremos que debido al fenómeno de la **estratificación** esta forma no es conveniente, siendo preferible que la altura sea superior al diámetro.

Ya hemos dicho que en el caso de líquidos (generalmente agua) la capacidad calorífica del depósito es proporcional a la masa de líquido, a su calor específico y a la diferencia de temperatura en que deseemos operar. Así, un depósito de 1000 Kg de agua a 60°C, podrá ceder una energía al enfriarlo hasta 40°C de:

$$E = 1000 \text{ kg} \times 4180 \frac{\text{J}}{\text{kg } ^\circ\text{C}} \times (60 - 40)^\circ\text{C} = 83.6 \text{ MJ}$$

Si después de que toda el agua se ha enfriado a 40°C la enfriamos a 20°C, volverá a ceder otros 83.6 MJ, pero tal vez este segundo paso (paso de 40 a 20°C) no nos será tan útil.

Supongamos que esta agua caliente se emplea para unas duchas (por ejemplo, de un polideportivo) y que tenemos el agua inicialmente a 60°C y está lloviendo (no hay captación de energía solar). Mientras el acumulador gaste los 83.6 MJ iniciales (paso de 60 a 40°C), el agua está caliente. Sin embargo, al gastar los 83.6 MJ siguientes, dará lugar a que el agua salga templada y finalmente fría, con la consiguiente irritación de los deportistas.

Veamos, pues, que sólo es utilizable una **fracción** de la capacidad calorífica del acumulador. Este acumulador tendría una energía hasta llegar al punto de congelación de: $3 \times 83.6 \text{ MJ} = 250.8 \text{ MJ}$ (de 60 a 0°C).

Si siguiéramos extrayendo energía, congelaríamos el agua sin variar la temperatura de 0°C, obteniendo en este caso una energía igual al producto de la masa por el **calor de fusión**, que en el caso del agua es de 334 KJ/Kg, con lo

* La temperatura máxima a la que se puede soportar el agua caliente de la ducha sobre la piel sin quemarse es de unos 45 a 50°C.

que la energía extraída al congelar los 1000 Kg de agua sería de:

$$1000 \text{ Kg} \times 334 \text{ KJ/Kg} = 334 \text{ MJ}$$

Este valor es superior a toda la energía extraída del acumulador al haberlo enfriado de 60 a 0°C.

Los calores de fusión suelen ser **elevados**, por lo que si tenemos alguna sustancia que funda a la temperatura apropiada (por ejemplo 50°C), podríamos disponer de un acumulador mucho más pequeño, más barato y con menos superficie lateral.

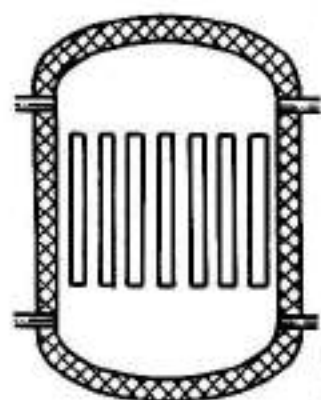


Fig. 2.— Acumulador de calor con tubitos de sustancia fusible en su interior.

Estas sustancias, por ejemplo parafina, se colocan en **tubitos** dentro del depósito (Fig.2). Supongamos que disponemos de una sustancia que funda a 50°C. Si la temperatura inicial del acumulador es baja, esta sustancia está en estado **sólido**. Al aumentar la temperatura y sobrepasar ligeramente los 50°C, ésta se **funde** absorbiendo calor e impidiendo que la temperatura del acumulador aumente significativamente por encima de los 50°C. Sólo cuando toda la sustancia se ha fundido, la temperatura del depósito aumentará por encima de los 50°C. Al ceder calor (por ejemplo, al gastar agua caliente), la temperatura del acumulador desciende, y al quedar por debajo (aunque sea levemente) de 50°C, empieza el espesamiento de la sustancia, que va cediendo calor hasta su total **solidificación**, momento en el cual la temperatura del acumulador empieza ya a estar ostensiblemente por debajo de 50°C.

A pesar de estas ventajas, la incorporación de sustancias fusibles en el interior de los acumuladores no se utiliza demasiado debido a la complicación que representa y al elevado coste de la sustancia fusible con relación al agua.

Para acumuladores de agua, el volumen de acumulación recomendado debe estar comprendido entre 37.5 y 300 litros de agua por cada metro cuadrado de panel solar. El valor óptimo está situado hacia unos 75 l/m², y es el que se toma preferentemente.

Volúmenes menores de 75 l/m² hacen bajar el rendimiento de los paneles, mientras que volúmenes superiores son innecesarios, ya que no aumentan al rendimiento excepto en una fracción insignificante.

La superficie del intercambiador de calor, puede ser, como dato orientativo, de $0,2 \text{ m}^2/\text{m}^2$ de panel solar.

LA ESTRATIFICACION

Ya dijimos que los cuerpos al elevar su temperatura disminuyen su densidad. Esto ocurre especialmente con el agua y el aire. La consecuencia de este fenómeno es que al estar una masa de agua o aire sometida a la acción de la gravedad, la zona más caliente tiende a situarse en la parte superior y la fría en la inferior.

Evidentemente, **nunca** conseguiremos de una masa templada y homogénea separarla en sus componentes caliente y frío, porque ello atenta contra principios físicos establecidos, pero si lentamente provocamos la entrada de fluido caliente por la parte superior del acumulador y de frío por su parte inferior, observaremos que ambos fluidos (el frío y el caliente) no muestran la más mínima tendencia a homogeneizarse y a igualar sus temperaturas, sino todo lo contrario: a separarse.

Los factores fundamentales que mantienen la separación de los fluidos calientes y fríos son la diferencia de densidad y la altura.

Consideremos un acumulador de agua. El agua caliente procedente de los paneles solares entra por la parte superior, mientras que sale del depósito por la parte inferior.

Supongamos que partimos de un instante en que todo el depósito está lleno de agua fría. Al empezar a circular el agua por los paneles solares, éste se calienta y va entrando en el depósito por la parte superior. Como el resto del depósito está lleno de agua fría, el agua caliente se mantiene en la parte superior por tener menos densidad que el agua fría. A medida que más y más agua se calienta, el agua caliente "empuja" hacia abajo al agua fría; el proceso finaliza cuando todo el depósito está lleno de agua caliente.

Supongamos que ahora realizamos un consumo de agua caliente: extraemos agua caliente de la parte superior del depósito, mientras que la misma cantidad que extraemos

se incorpora por la parte inferior, procedente de la red. En este caso, el agua fría "empuja" hacia arriba a la caliente (Fig.3).

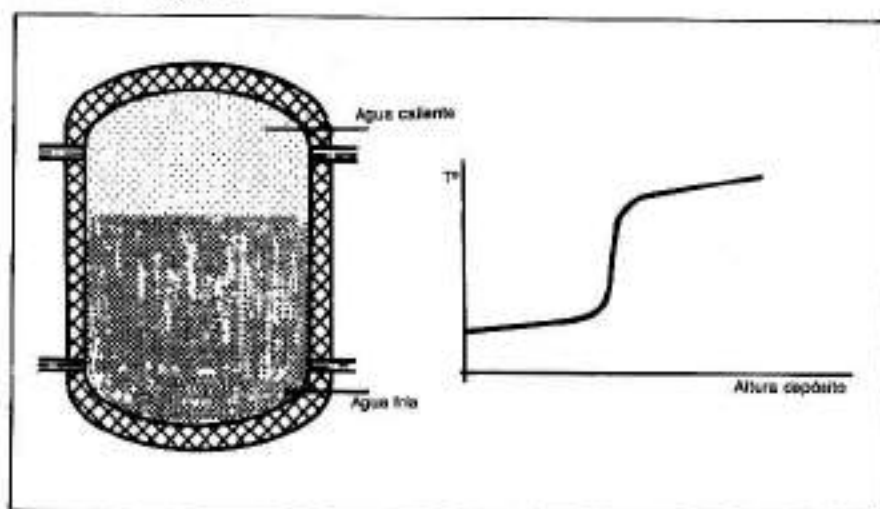


Fig. 3.— Estratificación. Representaciones física y gráfica.

La zona de transición entre el agua fría y la caliente es **muy estrecha** (unos pocos cm). Debido a que el agua caliente está encima de la fría **no hay convección** posible, por lo que las pérdidas de calor a través de la zona de transmisión se efectúan por **conducción**. Ahora bien, el agua y la mayoría de los líquidos usados son malos conductores del calor, por lo que este tipo de transmisión de calor no es muy eficiente y las zonas calientes y frías permanecen **separadas**. Además de la conducción de calor por la propia masa de agua, intervienen otros dos factores que favorecen la mezcla del agua fría y caliente:

- La conducción del calor a través de las paredes del depósito (especialmente importante si éste es metálico).
- La agitación del agua del depósito.

Ya se vió que el caudal óptimo a través de paneles solares era de unos 0.012 Kg/s m^2 ; es un valor que corresponde a unos 50 litros por hora y m^2 , aproximadamente, para agua. Aún disponiendo de un número considerable de paneles solares estos caudales no son excesivos. Además, las tuberías colectoras suelen ser de **diámetro elevado**, por lo que la velocidad del agua en su interior es reducida. No obstante, a veces se dispone de unos **deflectores** que sirven para evitar que el agua entre dentro del depósito a gran velocidad y produzca turbulencia interior. Los deflectores sí que deben colocarse en la entrada de agua de la

red, ya que generalmente ésta tiene mayor presión y las tuberías son de menos diámetro, lo que favorece la entrada en **chorro** del agua dentro del depósito, la agitación interna y la mezcla del agua fría y caliente (Fig.4).

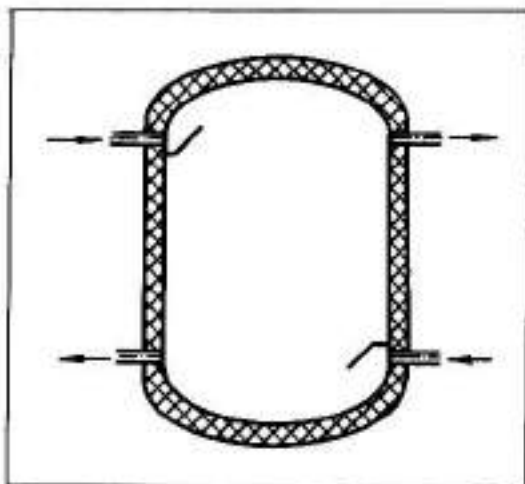


Fig. 4.— Acumulador de calor con deflector.

Ya dijimos que era conveniente que los depósitos tuvieran la **mínima** superficie exterior para evitar al máximo las pérdidas de calor, y que en el caso de depósitos cilíndricos esto era así cuando el diámetro era igual a la altura. Ahora bien, la estratificación es más eficiente cuanto **mayor** es la altura del depósito, puesto que, además, la columna de agua interior hace disminuir la superficie de conducción en la zona de transición.

Por todo ello, la relación entre la altura y el diámetro de un depósito acumulador para agua, debe valer entre 2 y 2.5, con el fin de conseguir un óptimo resultado.

EL INTERCAMBIADOR DE CALOR SOLAR

Por diversas razones ya expuestas en lecciones anteriores, tales como peligro de congelación, corrosión (en especial si el agua potable es salina o blanda), etc. se prefiere que el líquido que circule por los paneles solares sea **diferente** al de consumo. En este caso hay un **circuito cerrado** que recorre los paneles, formado por agua con aditivos anticongelantes y anticorrosivos, y otro u otros circuitos formados por el agua de consumo y/o un líquido intermedio.

Vemos, pues que existen tres posibilidades respecto a la incorporación de un intercambiador de calor:

- Acumulador sin intercambiador
- Acumulador con un intercambiador
- Acumulador con dos intercambiadores (Fig.5)

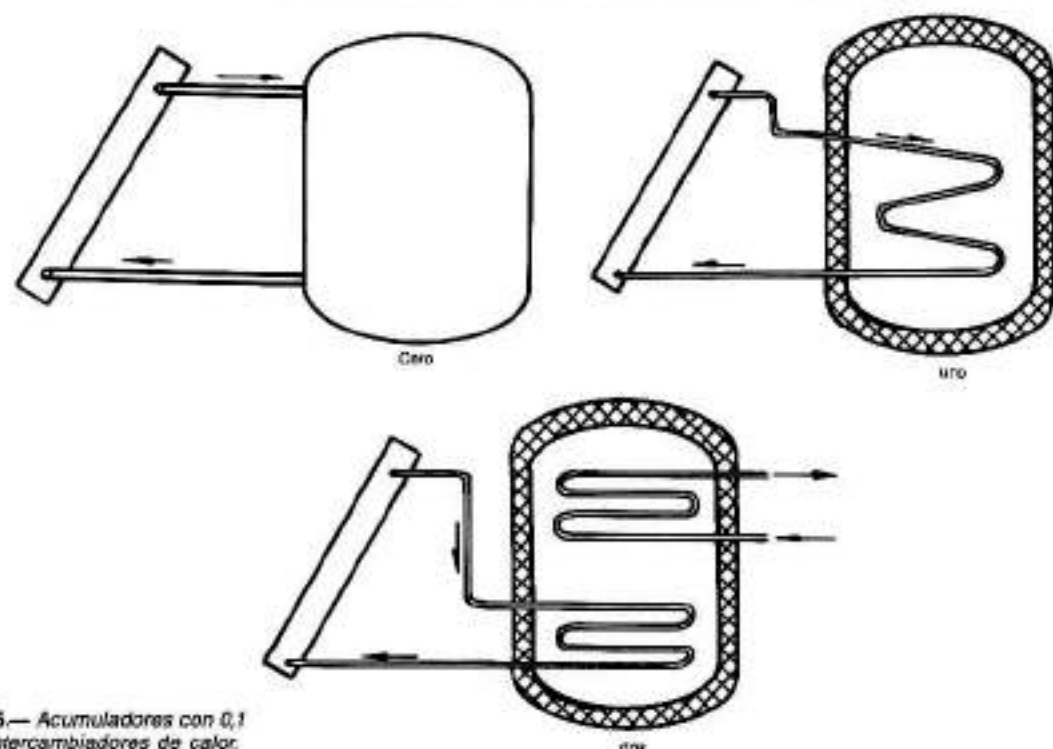
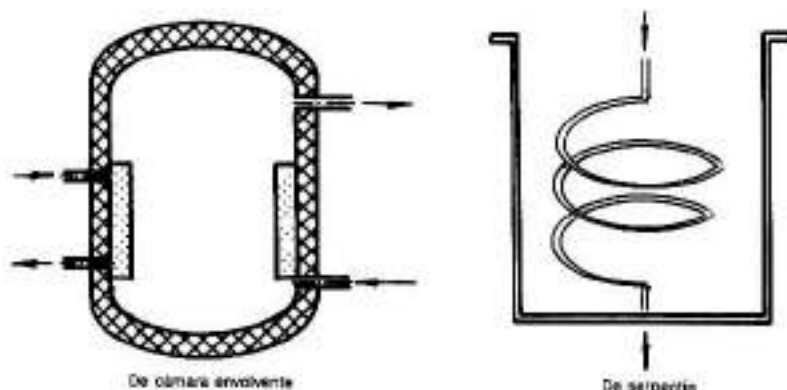


Fig. 5.— Acumuladores con 0, 1 y 2 intercambiadores de calor.

Un **intercambiador de calor** es un aparato que posee una gran superficie de un material buen transmisor de calor. Existen de muchos tipos: de tubos, de placas, de serpentín, de cámara envolvente, etc. (Fig.6)



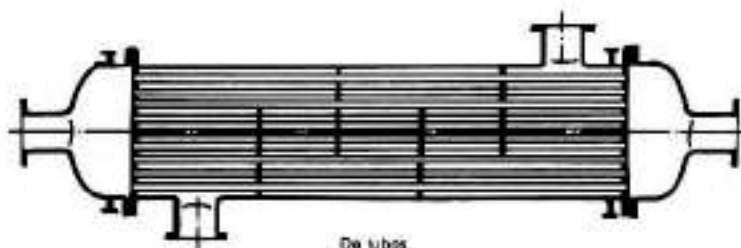


Fig. 6.— *Diversos tipos de intercambiadores de calor.*

Por la parte interior del intercambiador circula el líquido que deseamos enfriar y por la exterior otro líquido que es el que deseamos calentar (o viceversa). El resultado es que hay un intercambio efectivo de calor entre los dos fluidos.

Uno de los intercambiadores de calor más simple es un **serpentín**, el cual consiste en un tubo metálico (generalmente de cobre o latón -materiales que conducen muy bien el calor- pero que también puede ser de acero). Este tubo, liso o con aletas, está enrollado de forma que da un determinado número de vueltas como si fuera un muelle cilíndrico. El serpentín se coloca dentro del recipiente lleno de líquido que se desea calentar o enfriar, y se hace pasar otro líquido caliente o frío por el interior del mismo. El intercambio de calor se produce gracias a la gran superficie lateral del tubo. La cantidad de energía intercambiada depende de la superficie de intercambio, del espesor de la pared y de una cierta diferencia media de temperaturas, y, finalmente, del hecho de si los fluidos circulan en el mismo sentido o no. En general todos estos factores se unen en el llamado **factor de eficacia del intercambiador**, que es un coeficiente que expresa el porcentaje medio de energía transmitida. Así, un intercambiador con un factor de eficacia para unas condiciones determinadas de 0.9, quiere decir que transmite el 90% de la energía.

Las instalaciones sin intercambiador sólo pueden utilizarse en **regiones cálidas**, junto al mar, etc. donde no se han de temer heladas, con aguas potables adecuadas, colectores, acumulador y tuberías de materiales homogéneos. Este tipo de instalaciones da un gran rendimiento, pero no son aconsejables para un uso generalizado.

Las instalaciones con un intercambiador son las más comunes. Este intercambiador se coloca de forma que circule por él el líquido que pasa por el interior de los paneles solares, convenientemente tratado con **anticongelan-**

tes, anticorrosivos y probablemente con un colorante cuya misión es evidenciar cualquier posible fuga a través del intercambiador de calor.

El acumulador se llena con el agua potable de consumo. De esta forma se evita totalmente el peligro de heladas, al tiempo que toda la instalación del lado de los paneles solares está protegida por el anticorrosivo. Este tipo de instalación, como se observa, **no protege** de un modo eficiente el acumulador contra la posible corrosión del metal del que está hecho (en caso de que sea metálico, que es lo más corriente) derivada del agua potable de consumo. No obstante, este esquema es adecuado en zonas con aguas duras o semiduras que no sean muy corrosivas.

Para evitar la corrosión del metal se pueden tomar diversas medidas, que se explicarán en detalle en la lección 18. Algunas de estas medidas son que el depósito del acumulador no sea metálico, que sea de acero inoxidable, colocar un ánodo de sacrificio de magnesio o aluminio, etc.

La eficacia de transmisión del calor es, en este caso, peor que en el anterior, puesto que tenemos el coeficiente de transmisión de calor del intercambiador.

Esta disposición, con un intercambiador, también podría tenerse haciendo que el líquido tratado ocupase todo el acumulador y por el intercambiador de calor circulase el líquido de consumo. Sin embargo, esta disposición tiene algunos inconvenientes; el más importante de ellos es el precio del litro de agua tratada. No es lo mismo utilizar, por ejemplo, 25 litros para llenar el interior de los paneles, el intercambiador y las tuberías, que utilizar 500 litros para llenar todo el depósito. Además, el calor específico del agua tratada es **menor**, por lo que la capacidad calorífica del depósito sería menor.

La solución **ideal**, la más cara también la más segura, es utilizar dos intercambiadores. Una disposición típica de este sistema es disponer el intercambiador por el que circula el líquido de los paneles en la parte inferior del depósito y el intercambiador de consumo en la parte superior; el depósito puede estar lleno de agua, tratada **ligera**mente con anticorrosivos e incluso sin tratar. Esta agua que llena el depósito permanece en él indefinidamente (no se ha de renovar), por lo que cualquier agresividad que tuviera desaparece a los pocos días de funcionamiento. En este caso el rendimiento global de la instalación es

menor (es decir, para conseguir la misma cantidad de energía solar se precisarán más paneles), pero la instalación es enormemente segura y puede durar muchos años sin problemas de corrosión. Esta disposición es aconsejable en poblaciones con aguas corrosivas.

EL CALEFACTOR AUXILIAR

Hemos visto ya cómo es el depósito acumulador en el caso de utilizar agua. Ahora bien: la capacidad de almacenamiento de energía del acumulador es limitada (depende de su volumen, aportación solar, consumo, pérdidas, etc.), por lo que es necesario proveerse de algún sistema que permita seguir disponiendo de agua caliente, a la temperatura apropiada si la aportación solar se reduce o el consumo aumenta exageradamente. No tendría ninguna gracia que después de dos o tres días seguidos nublados, al irnos a duchar el agua estuviera fría.

La energía auxiliar que compensa la pérdida de captación de la energía solar durante los días nublados puede ser obtenida mediante electricidad, gas o gasóleo.

En las instalaciones pequeñas se acostumbra a colocar una **resistencia eléctrica** incorporada con un termostato. Esta resistencia se coloca en la parte superior del depósito acumulador, dejando, sin embargo, un volumen de agua entre esta resistencia y la parte superior del depósito tal que permita cubrir las necesidades usuales del agua caliente (Fig. 7).

Esta resistencia calentará solamente el volumen de agua que tenga encima de ella, permaneciendo fría (o templada) la parte del depósito inferior a ella. En caso de que se consuma agua, el agua fría "empuja" a la calentada por la resistencia, enfriándose el termostato, con lo que se activa de nuevo la resistencia eléctrica. Si, por el contrario, empieza a lucir el Sol, el agua caliente que llega por arriba "empuja" hacia abajo al agua fría, quedando el termostato caliente y, por tanto, desactivada la resistencia eléctrica. Las potencias eléctricas oscilan entre los 1000 y 3000 W y se utilizan siempre en instalaciones pequeñas. Es importante **controlar el termostato**. El punto óptimo suele estar a unos 45° C. Temperaturas superiores del valor de disparo del termostato harían que la resistencia

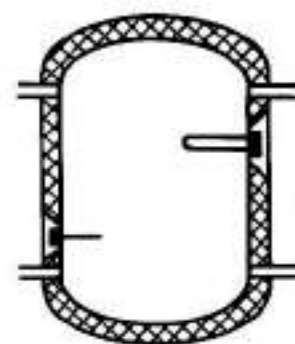


Fig. 7.— Resistencia eléctrica y termostato en un acumulador.

trabajase excesivamente **calentando agua** que podría calentar el Sol. Temperaturas inferiores hacen que el agua caliente, en días nublados, esté a temperaturas bajas.

En instalaciones medianas puede utilizarse un **calentador de gas**. Existen varias maneras de poder hacer la conexión. Lo mejor es utilizar un esquema similar al utilizado por la resistencia eléctrica, que se sustituye por otro serpentín por el que circula el agua caliente procedente del calentador de gas, accionada por una bomba que está en el mismo calentador. (Estos calentadores con bomba se llaman **calderas murales**). Al igual que en el caso anterior debe dejarse un volumen apropiado, que incluirá en su totalidad el serpentín de consumo, si lo hubiera. (Fig. 8).

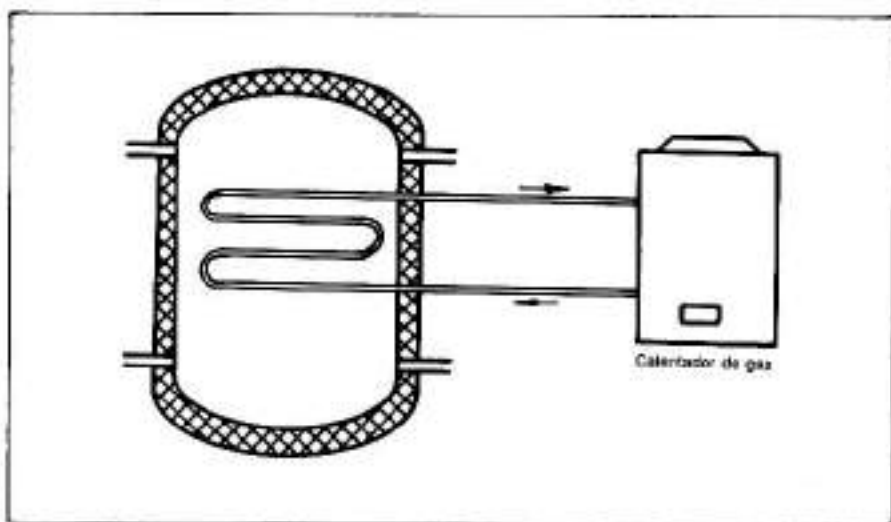


Fig. 8.— Disposición de un intercambiador de energía auxiliar.

Existen otras dos posibilidades de conexión del calentador auxiliar: en **serie** o en **paralelo** con el consumo. La disposición en **serie** consiste en hacer pasar el agua de consumo por el calentador. Si la temperatura del agua es inferior a un cierto valor, el calentador se enciende y calienta el agua.

La disposición en paralelo consiste en disponer el acumulador y el calentador en paralelo. Este tipo de disposición no se emplea demasiado, ya que requiere un ajuste de las temperaturas **muy exacto**, pues de lo contrario puede ser que el calentador auxiliar aporte toda la energía e incluso que caliente el acumulador (Fig. 9).

En las instalaciones grandes estos equipos auxiliares pueden ser de gasóleo o aprovechar calores residuales de

otros procesos (hornos, chimeneas, etc.).

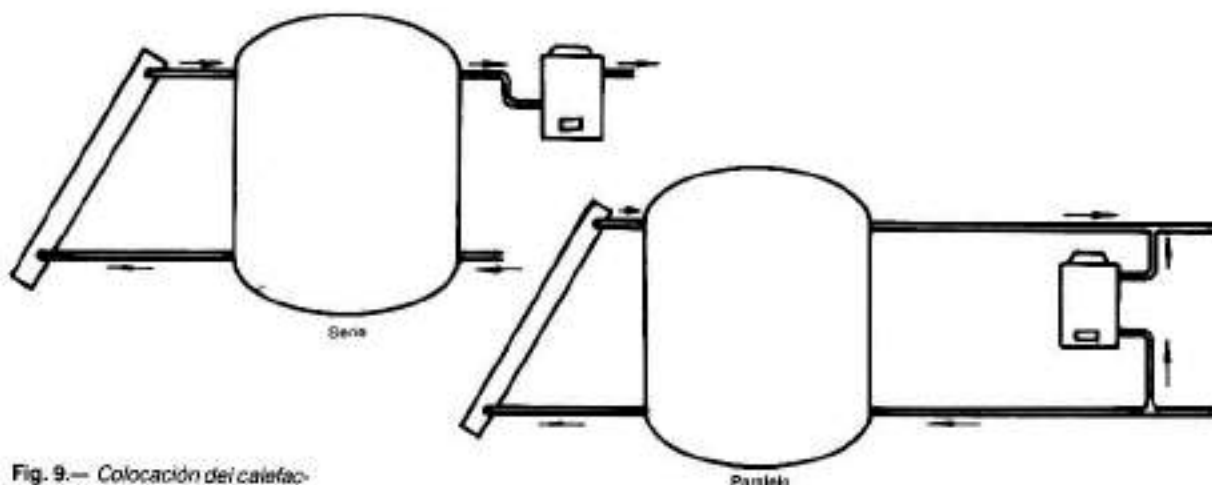


Fig. 9.— Colocación del calentador auxiliar en serie y en paralelo.

EL AISLAMIENTO DEL ACUMULADOR

El acumulador debe estar recubierto por un **grosor** de aislamiento tal que tenga una pérdidas de unos 0.25 W/m^2 $^{\circ}\text{C}$. Si el acumulador tiene pérdidas sensiblemente superiores a este valor, perderá calor con gran rapidez y no será excesivamente útil.

Podemos ver, con un ejemplo, las dimensiones del acumulador y del grosor de aislamiento para un depósito de 500 litros que debe trabajar a 60°C con una temperatura ambiente de 15°C , y como aislante fibra mineral con una conductividad térmica de 0.045 W/m^2 $^{\circ}\text{K}$.

Elegimos en primer lugar la relación altura-diámetro, que debe estar comprendida entre 2 y 2.5. Elegimos 2.25:

$$h=2.25 d$$

h = altura
 d = diámetro

Consideramos despreciable el aumento de volumen como consecuencia de las dos tapas, que son algo abombadas. El volumen del depósito cilíndrico ($500 \text{ l} = 0.5 \text{ m}^3$) es



igual al área de la base por la altura:

$$0.5 \text{ m}^3 = \pi \left(\frac{d}{4} \right)^2 \times h = \pi \left(\frac{d}{4} \right)^2 \times 2.25 d$$

$$0.5 \text{ m}^3 = 1.767 d^3 \Rightarrow d = 0.657 \text{ m}$$

$$h = 2.25 d \Rightarrow h = 1.47 \text{ m}$$

Es decir, haríamos construir un depósito de 0.65 m de diámetro y 1.47 m de altura.

La superficie de este depósito, a través de la cual perderá calor, es de dos veces la superficie de la tapa más la superficie lateral.

La fórmula de cálculo de esta superficie será, pues:

$$S = 2 \times \pi \left(\frac{d^2}{4} \right) + \pi d \times h = 3.67 \text{ m}^2$$

Las pérdidas deben ser de 0.25 W/m²°C. En toda la superficie las pérdidas serán de:

$$0.25 \text{ W/m}^2 \times 3.67 \text{ m}^2 = 0.918 \text{ W/}^\circ\text{C}$$

Este valor es la energía que ha de perder el acumulador por cada grado centígrado de diferencia de temperatura entre el interior y el exterior, y por cada segundo.

Como hay 45° C de diferencia de temperatura, la potencia total perdida por el acumulador es de: 0.918 W/°C x 45° C = 41.31 W, con lo que teniendo en cuenta que:

$$E = \frac{S \times \lambda (T_1^e - T_2^e) t}{e} \quad \text{En energía (J)}$$

$$41.31 \text{ W} = \text{JIS} = \frac{S \times \lambda (T_1^e - T_2^e)}{e} \quad \text{En potencia (W)}$$

$$41.31 \text{ W} = \frac{3.67 \text{ m}^2 \times 0.045 \text{ W/m}^2 \times (60 - 15^\circ)}{e}$$

el espesor e es de = 18 cm.

ACUMULADOR SOLAR PARA AIRE

Cuando se utilizan colectores de aire (sistema adecuado sólo para calefacción), el almacenamiento de energía es interesante hacerlo en lecho de rocas. El sistema consiste en hacer pasar el aire caliente a través de una masa de grava de forma que ésta se caliente. Cuando se precisa calor, se invierte en sentido de circulación y el aire frío se calienta en el lecho de grava.

Para estos depósitos lo usual es enterrarlos, teniendo entonces la ventaja de no precisar aislamiento térmico expresamente fabricado, ya que es suficiente el propio espesor de tierra.

Este tipo de almacenamiento tiene el inconveniente respecto al depósito de agua de que no es fácil almacenar y consumir simultáneamente debido a la inversión de flujos circulantes, cosa que sí puede hacerse en un depósito de agua.

La transmisión de calor entre el aire y las rocas es muy buena si el tamaño de éstas se escoge adecuadamente; al mismo tiempo, se producen estratificaciones notables en el lecho rocoso.

El tamaño de la grava, y en consecuencia su superficie, están relacionados con la facilidad de intercambio calorífico y la pérdida de carga que deben soportar los ventiladores que mueven el caudal de aire. Se comprende que a menor tamaño de la grava habrá más facilidad de intercambio térmico y aumentará la pérdida de carga. Es muy importante que el tamaño de las piedras sea uniforme.

El tamaño más adecuado para la grava es de 1 a 3 cm de diámetro, siendo el caudal a mover del orden de 5 a 20 l/s por cada metro cuadrado de colector solar. La cantidad de grava precisa es del orden de 300 Kg por cada metro cuadrado de colector, lo que equivale a entre 0,15 y 0,35 m³ de roca por m² de colector. La altura del lecho rocoso debe ser de 1,25 a 2,5 m.

Debe tenerse en cuenta la necesidad de filtrar el aire que circule, ya que de lo contrario se formarían en el



interior del depósito y sobre la grava pelusas de polvo que irían recubriendo paulativamente las piedras. Este hecho tendría dos consecuencias: por un lado disminuiría la capacidad de intercambio calorífico entre la roca y el aire, ya que la pelusa es aislante, por otro lado, aumentaría progresivamente la pérdida de carga de la instalación, con lo que los ventiladores funcionarían sobrecargados.

DATOS DE INTERES

A) AISLANTES TERMICOS

Material	Tº max.	(gr/cm ³) Densidad	Coef. conducti- vidad W/m °C
Amianto	550º C	1,6 a 2	0,042
Fibra de vidrio	600º C	0,004 a 0,2	0,041
Fibra mineral	600º C	0,03 a 0,3	0,045
Perlite (volcánico)	900º C	0,04 a 0,1	0,052
Vermiculite	1000º C	0,07 a 0,12	0,095
Corcho (gránulos)	80º C	0,1 a 0,2	0,052
Hormigón expandido	120º C	0,8 a 2	0,079
Poliestireno expandido	80º C	0,01 a 0,08	0,0245

B) MATERIALES FUSIBLES

Material	Tº Cambio	KJ/Kg °C Calor específico	Calor de fusión KJ/Kg	Conductividad tér- mica W/m °C
Parafina	45-60	2,1	189	0,175
Na ₂ H PO ₄	35	1,7	281	0,512
Acido Laurico	44	1,6	175	0,151
Loxol G-32	45-59	1,8	183	0,185
Ca (NO ₃) ₂	60	1,8	208	0,250
Metal Wood	70	0,25	90	0,8

C) MATERIALES EUTECTICOS

Material	Tº Cambio	Calor de fusión KJ/Kg
Ca Cl ₂ + Mg Cl ₂ + H ₂ O	25	175
Urea - NH ₄ NO ₃	46	172
Mg (NO ₃) ₂ - Al (NO ₃) ₃	61	148
Acetamida - Ac. esteárico	65	218

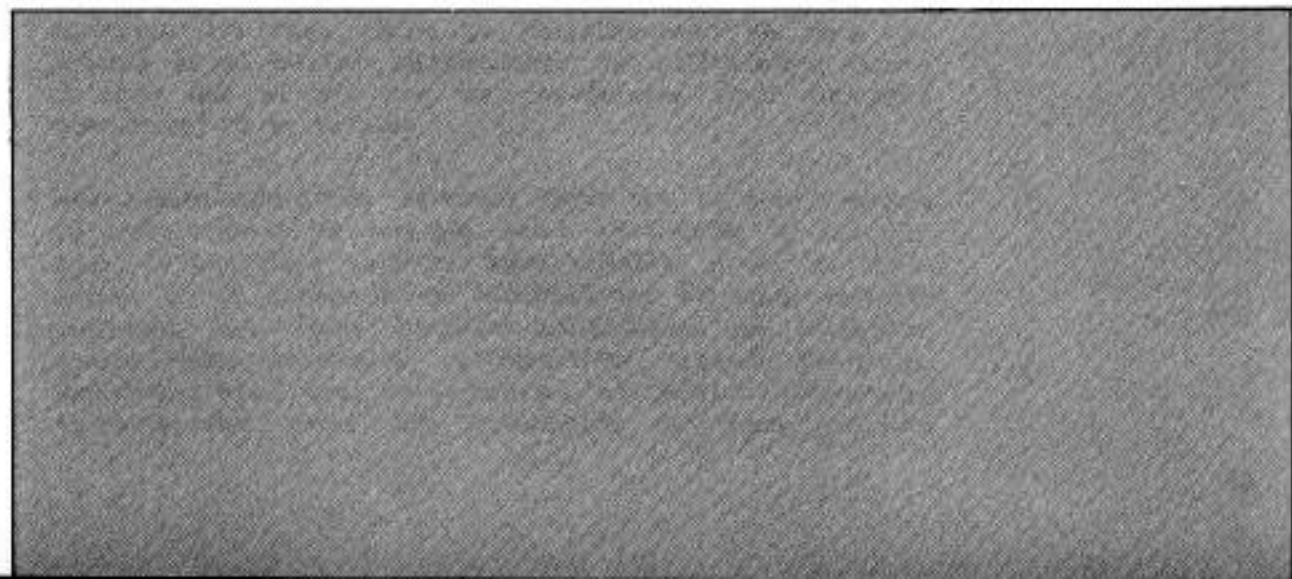
D) AGUA DE CRISTALIZACION

8

Material	Tº Cambio	Calor fusión KJ/Kg
Na ₂ SO ₄ 10H ₂ O	32	215



LECCION 13





13. DESCRIPCION DE UNA INSTALACION SOLAR DE AGUA CALIENTE SANITARIA

INTRODUCCION

En esta lección se tratará con detalle como es una instalación de agua caliente sanitaria por energía solar. Estudiaremos que, además de los componentes mencionados en la lección 7, son absolutamente necesarios otros sin los cuales la instalación no funcionaría correctamente.

DESCRIPCION DE UNA INSTALACION DE AGUA CALIENTE SANITARIA

Ya dijimos que el **agua caliente sanitaria** era aquel tipo de agua caliente **potable** empleada para usos domésticos (aseo personal, etc). Las instalaciones solares pueden también calentar agua no potable para usos industriales o agrícolas. Un caso típico de calentamiento de agua no potable es el de las instalaciones de calefacción, donde el agua que circula por los convectores (mal llamados radiadores) no es potable.

Hecha esta aclaración debemos decir que la gran mayoría de instalaciones de energía solar destinadas a calentar agua, lo son para calentar **agua potable**, y, por lo tanto, entran en la categoría de instalaciones de **agua caliente sanitaria**, que tiene amplias aplicaciones en viviendas, apartamentos, hospitales, polideportivos, hoteles, campings, industrias, etc., etc. Sin embargo, no existen diferencias fundamentales entre una instalación de agua caliente



sanitaria y otra que caliente agua no potable.

Como ya sabemos, la instalación constará de un campo de colectores, que se describirá en detalle en la lección siguiente, y del acumulador que ha sido descrito en la lección anterior. Los paneles y el acumulador constituyen los elementos más importantes de la instalación, pero para que ésta funcione necesita de otros elementos: tuberías, bomba de circulación, equipo auxiliar, purgadores, vasos de expansión, válvulas hidráulicas, sensores de temperatura, instrumentos de control, etc.

Se hace por lo tanto necesario una descripción detallada de la utilidad de cada uno de estos elementos.

INSTALACIONES POR CIRCULACION NATURAL (TERMOSIFON)

Los sistemas por **circulación natural (termosifón)** aprovechan, como ya vimos, la diferencia de densidad entre el fluido caliente y frío para realizar el **trabajo mecánico** de mover la masa de fluido a través del panel. Las aplicaciones con colectores de aire de este sistema se estudiarán en la lección 19. Aquí trataremos solamente de los sistemas de líquidos.

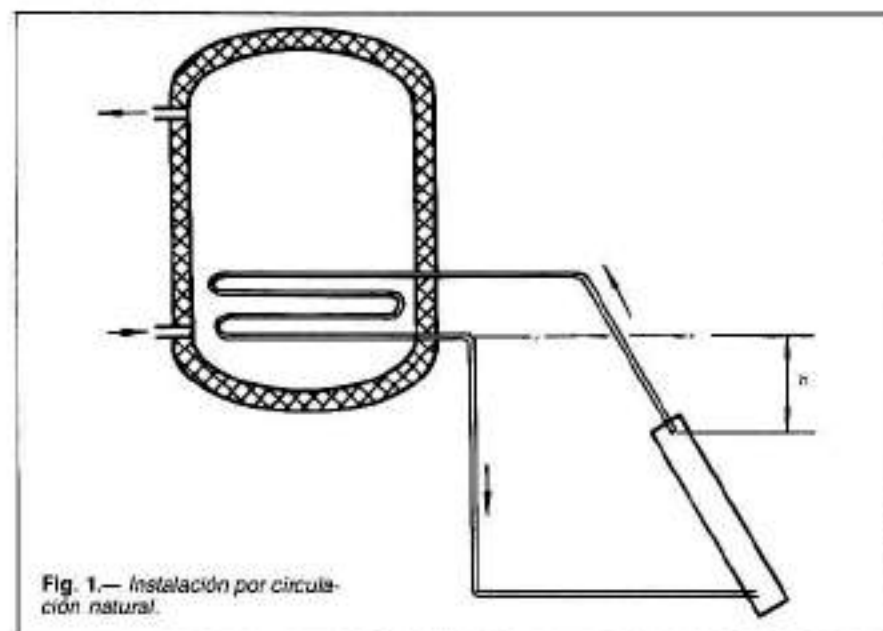
Generalmente, los sistemas de circulación natural son instalaciones pequeñas. La razón por la que suelen ser pequeñas es que en estas instalaciones el acumulador debe estar **siempre más elevado** que el panel solar, y situar a cierta altura acumuladores de muchos metros cúbicos de capacidad puede ser muy caro, por lo que para acumuladores medianos y grandes se prefiere que se apoyen directamente en el suelo.

Los sistemas de circulación natural tienen **grandes ventajas** respecto a los de circulación forzada con bomba: No requieren el más mínimo consumo energético de bombeo, se autoregulan solos, no necesitan sondas de temperatura ni equipos de control y son mucho más baratos. En una palabra: son **totalmente autónomos**, por lo que pueden situarse en lugares donde no exista consumo eléctrico. Además, su funcionamiento es **muy satisfactorio**.

No obstante estas ventajas, los sistemas de circulación natural requieren una serie de condiciones; la principal de ellas, como ya se ha visto, que el acumulador esté más elevado que los colectores. Esta condición no siempre se puede cumplir por diversas razones: estéticas, imposibilidad física de espacio para el acumulador (que no quepa en la parte elevada del edificio) o que los paneles solares no puedan disponerse en la parte inferior del edificio, habiéndose de disponer en la azotea o tejado.

En cualquier caso, en instalaciones **pequeñas**, siempre que se pueda, elegiremos un sistema por circulación natural.

La altura que debe separar la parte inferior del acumulador o del intercambiador de calor depende de la eficacia que deseemos que tenga el sistema. Cuanta mayor altura, mejor (Fig. 1). En cualquier caso, la **distancia mínima** entre la parte superior de los paneles y la inferior del acumulador o intercambiador de calor debe ser de 0,5 m. en el caso de que la longitud de tubería que separe los paneles y el acumulador sea corta (hasta 5 m.). Si la longitud de tubería es mayor, esta separación debe aumentarse proporcionalmente.



Con separaciones menores que este valor, el sistema también funciona, pero de forma poco satisfactoria.

Dado que la energía mecánica para mover la masa de agua es pequeña, se deben **evitar** al máximo los **rozamien-**

tos, obstrucciones, cambios de dirección, etc. de las tuberías, por lo que éstas deben ser lo más cortas posible, interiormente lisas, de gran diámetro, y las válvulas de paso que existiesen deben ser de compuerta o de bola, a fin de obstruir al mínimo el paso del agua.

Otra exigencia de las instalaciones de circulación natural es que todas las tuberías deben ser verticales o inclinadas hacia arriba, **nunca** deben existir codos, curvas, etc. que obliguen a circular el líquido caliente hacia **abajo** (en la rama caliente), pues esto anularía el efecto del bombeo natural (Fig. 2).

Son muy populares las instalaciones de circulación natural compuestas de 1 a 4 paneles solares y depósitos de hasta 500 litros, que incluso son desmontables y se instalan en la terraza, en el jardín, etc. y tienen un precio muy reducido, al tiempo que son muy eficientes. Algunas de éstas tienen el depósito horizontal, por lo que no suelen dar tanto rendimiento, pero compensan este efecto por la presencia de espejos planos, que concentran más radiación solar sobre el panel, haciéndose que éste trabaje a mayor temperatura y compense la desventaja de tener el depósito en posición horizontal (Fig. 3).

Fig. 2.— Las tuberías de la zona colectora no deben tener pendiente negativa.

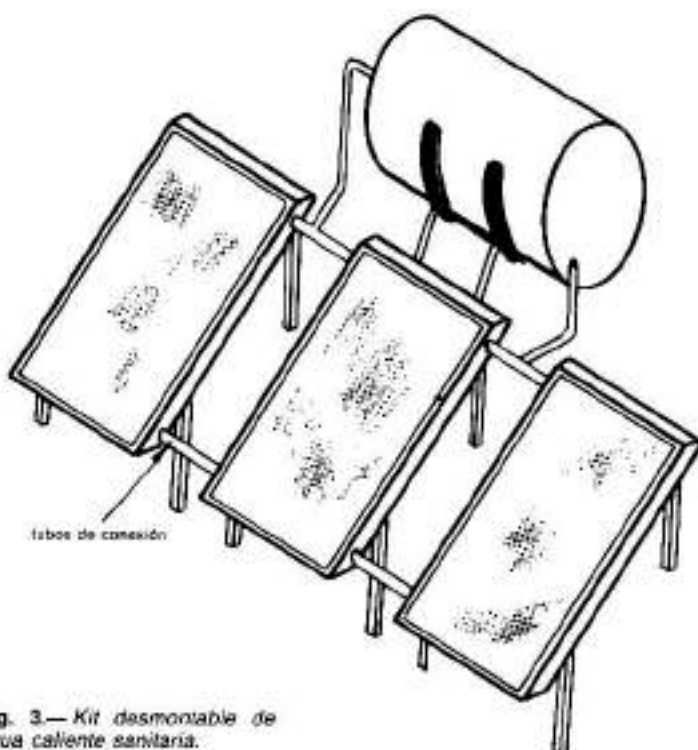


Fig. 3.— Kit desmontable de agua caliente sanitaria.

PERDIDA DE CARGA EN UNA INSTALACION

Un fluido que circula por una tubería tiene una pérdida de energía debido a su propia viscosidad. Así, en una tubería interiormente rugosa o estrecha por la que circule un líquido muy viscoso, se necesitará una gran cantidad de energía para hacer circular una cierta cantidad de líquido de un extremo a otro, mientras que en una tubería lisa, de gran diámetro y con un líquido poco viscoso, se precisará poca energía para trasladar a lo largo de esta tubería la misma cantidad de líquido.

Hemos visto que en las instalaciones de circulación natural, la energía necesaria proviene de la pequeña diferencia de altura existente entre la rama caliente y fría, que generalmente es de algún centímetro. Esta pequeña altura, combinada con la acción de la gravedad, hace el papel de una central hidráulica en miniatura, que pone en movimiento toda la masa de líquido. Esta energía potencial dependiente de la gravedad vale:

$$E = m g h$$

E = energía en J
m = masa en Kg.
g = 9.81 m/s²
h = altura en m.

Si el circuito es cerrado (como suele ser habitualmente), esta energía se emplea en mover el líquido. Así, por ejemplo, cada vez que 1 kg. de agua desciende el desnivel existente entre la caliente y fría (que por ejemplo, podría valer 2 cm.), comunica al sistema una energía de bombeo de:

$$E = 1 \text{ Kg} \times 9.81 \text{ m/s}^2 \times 0.02 \text{ m} = 0.1962 \text{ J}$$

El caudal que circulará a través del circuito depende de las resistencias que oponga éste, expresión que se conoce con el nombre de **pérdida de carga** y se expresa en metros. En el ejemplo anterior, si el circuito es cerrado la pérdida de carga es de 2 cm., ya que en régimen estacionario toda la energía de bombeo se consume en el mismo circuito (calentando el líquido y las tuberías). Si mediante algún artificio, por ejemplo incorporando una bomba, hiciéramos que la altura de desnivel fuera mayor (por ejemplo, 1 m. de desnivel), la pérdida de carga de todo

el circuito sería entonces de 1 m. Para que la pérdida de carga haya aumentado 50 veces, los rozamientos han aumentado la misma cantidad y, por lo tanto, el agua circulará a **gran velocidad** y producirá una intensa fricción sobre las tuberías.

Así pues, en todo circuito **cerrado** en régimen **estacionario** (caudal constante), la **pérdida de carga** es igual a la **altura de bombeo** (la altura de bombeo se deduce de la curva característica de la bomba).

Las pérdidas por rozamiento dependen de si el fluido circula en régimen **laminar** o **turbulento**.

A velocidades bajas los líquidos circulan en forma laminar, como pueda comprobarse inyectando un colorante en una tubería transparente y viendo que el colorante se aleja del punto de inyección en forma de filetes paralelos.

A velocidades altas el régimen es turbulento, y al hacer el experimento anterior de inyectar colorante se observa que los filetes de colorante se entremezclan entre sí inmediatamente en forma de remolinos (Fig.4).



Fig. 4.— Regímenes laminar y turbulento.

Para determinar si el fluido circula en régimen laminar o turbulento se calcula el número de Reynolds, que vale:

$$R_e = \frac{V D}{\mu}$$

V = velocidad del fluido m/s.
D = diámetro de la tubería m.
 μ = viscosidad cinemática m²/sg.

La pérdida de carga se calcula como:

$$H = \lambda \frac{L V^2}{D 2g}$$

H = pérdida de carga (m)
L = longitud de la tubería (m)
D = diámetro interior de la tubería
V = velocidad del fluido m/s.
g = gravedad 9.81 m/s²

Si el número de Reynolds es menor de 2.000, el régimen de circulación del fluido es **laminar** y la pérdida de carga se calcula simplemente haciendo: $\lambda = 64/Re$.

Si el número de Reynolds es mayor que 2.000, el régimen de circulación del fluido es **turbulento** y entonces hay que encontrar el valor de λ , que se obtiene en el gráfico de Moody (Fig. 5).

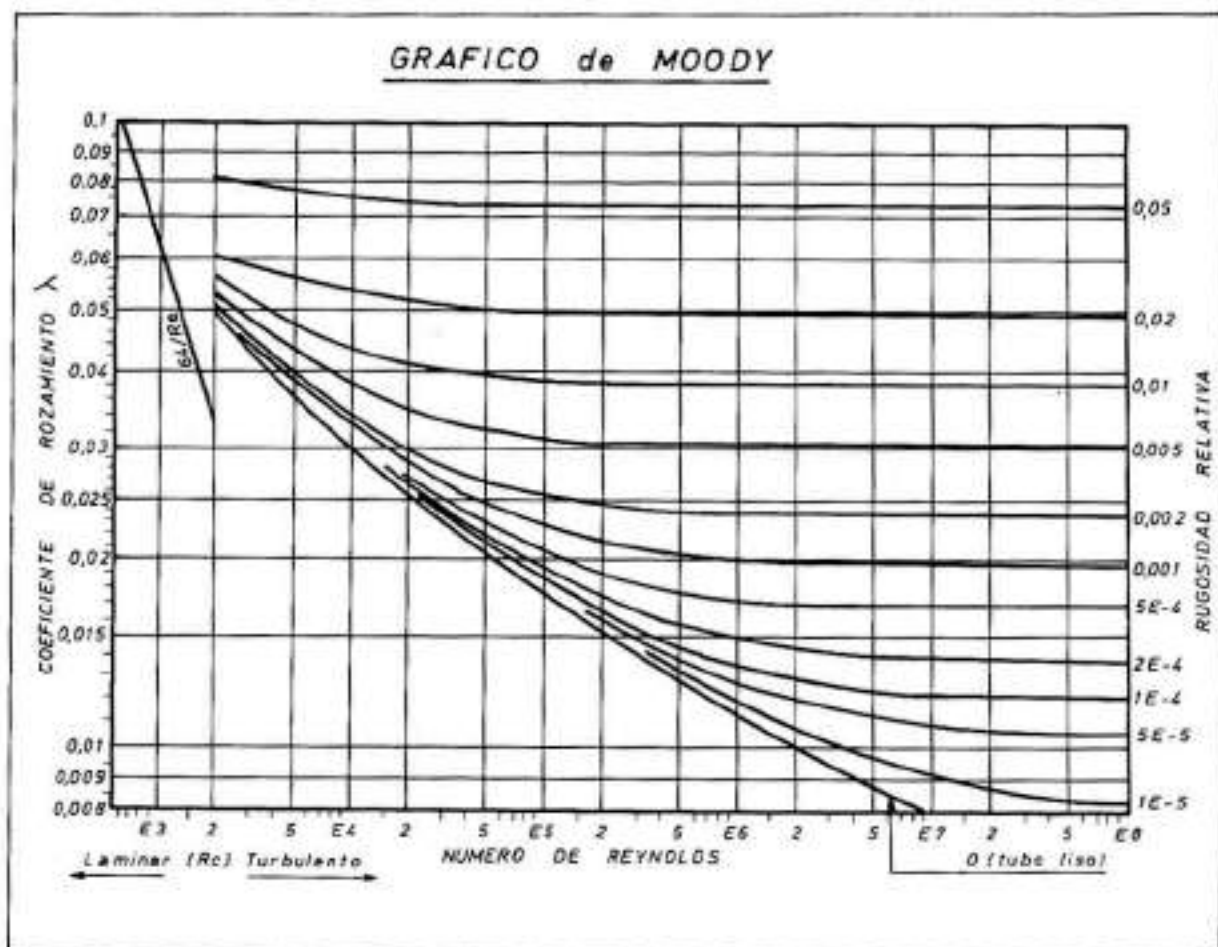


Fig. 5.— Gráfico de Moody.

El **gráfico de Moody** consta de unas líneas curvas que corresponden a valores diferentes de las **rugosidades relativas** del interior de las tuberías. En abscisas está el valor del número de Reynolds, mientras que en ordenadas está el valor de λ , que es el **coeficiente de pérdida de carga**.

La **rugosidad relativa** es igual a la **rugosidad absoluta** (tamaño medio de las irregularidades de la pared interior del tubo) dividida por su diámetro. La intersección de la

curva de rugosidad relativa y el número de Reynolds proporciona el valor del coeficiente de rozamiento λ .

Hasta ahora hemos hablado de tuberías y hemos visto que la pérdida de carga depende de su longitud, diámetro, velocidad y del coeficiente de pérdida de carga (que para el caso de que el régimen de circulación fuese laminar tenía un valor de $64/Re$). Hay otros elementos que provocan pérdidas de carga, aparte de las tuberías: paneles solares, válvulas, codos, estrechamientos o expansiones bruscas, etc. Estas piezas de fontanería se caracterizan por tener también un coeficiente de pérdida de carga (ξ). El coeficiente de pérdida de carga de un codo puede valer, por ejemplo, 0,5. La pérdida de carga que experimentará el fluido al atravesar el codo será de:

$$H_{\text{codo}} = 0,5 \frac{V^2}{2g}$$

$\xi = 0,5$ que deberá adicionarse a las de la tubería.

Si un circuito se compone de varios tramos en serie, la pérdida de carga total es igual a la suma de las pérdidas de carga de cada tramo. El caudal es el mismo en cada tramo:

$$H_{\text{total}} = H_1 + H_2 + \dots + H_n$$

Si el circuito consta de tramos en paralelo, entonces el inverso pérdida de carga total es igual a la suma de inversos de pérdidas de carga de los diferentes tramos:

$$\frac{1}{H_{\text{total}}} = \frac{1}{H_1} + \frac{1}{H_2} + \dots + \frac{1}{H_n}$$

El caudal en este caso tiende a repartirse de forma inversamente proporcional a la pérdida de carga de cada tramo (aunque si las diferencias de pérdidas de carga entre los diversos tramos son muy distintas, esto puede complicarse debido a que algunos tramos pueden estar en régimen laminar, mientras que otros son turbulentos). En general, si los tramos son iguales supondremos que las pérdidas se reparten entre ellos por igual.

A veces una sola bomba de circulación es insuficiente, por lo que hay que poner dos o más bombas, las cuales pueden instalarse en serie o en paralelo.

Si las bombas se instalan en **serie**, la altura de bombeo es la suma de alturas de bombeo de cada bomba y el caudal es el de la más pequeña:

$$H_s = H_1 + H_2 + \dots + H_n$$

$$Q_s = Q_{\text{menor}}$$

Si las bombas están instaladas en **paralelo** la altura de bombeo es la altura de la mayor de ellas, mientras que los caudales son la suma de caudales:

$$H_p = H_{\text{mayor}}$$

$$Q_p = Q_1 + Q_2 + \dots + Q_n$$

Veamos todo lo anteriormente expuesto con un ejemplo muy completo:

"Una instalación solar consta de 12 paneles de 2 m^2 cada uno, distribuidos en dos filas en paralelo de seis paneles cada fila (Fig. 6). Estos seis paneles están conectados en serie entre sí. La tubería es de acero galvanizado de 1" (= 2,5 cm.) de diámetro interior, con 10 m. de largo en el trozo común y 20 m. en cada una de las ramas derivadas. Cada panel solar tiene un coeficiente de pérdida de carga de 2,5, los codos y accesorios de cada rama derivada de 8 y el intercambiador de calor de 5. El caudal másico por metro cuadrado es de $0,015 \text{ kg/s m}^2$. Se dispone de dos bombas idénticas funcionando en paralelo. Se desea hallar el punto de trabajo de una de estas bombas (altura de bombeo y caudal). Datos: viscosidad cinemática del agua a 50°C (temperatura promedio) = $5,56 \text{ E}^{-7} \text{ m}^2/\text{s}$. Rugosidad absoluta de la tubería = 0,18 mm.

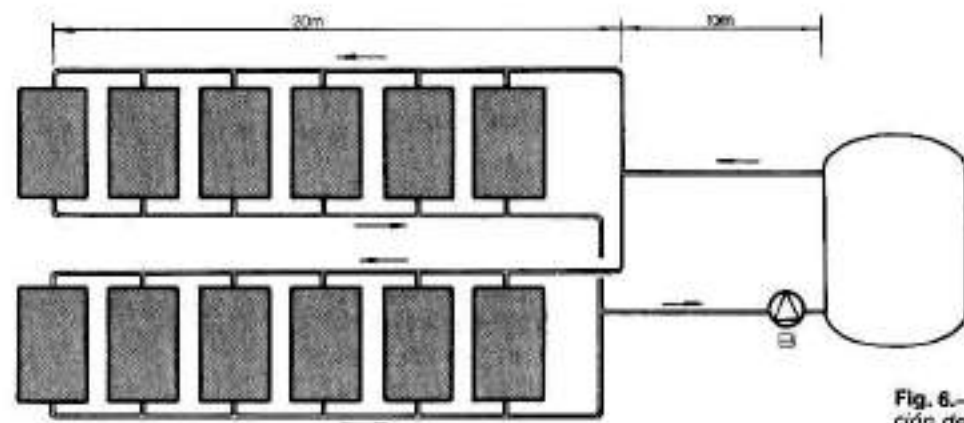


Fig. 6.— Esquema de la instalación del problema propuesto.



Solución:

1º) Hallamos el caudal bombeado por las dos bombas:

$$Q = 0,015 \text{ kg/s m}^2 \times 12 \text{ paneles} \times 2 \text{ m}^2 \text{ panel} = 0,36 \text{ kg/s.}$$

2º) Hallamos la velocidad de circulación del agua por la tubería principal:

$$V = \frac{\phi}{s \times \rho}$$

Q = Caudal (kg/s)
S = Superficie tubería (m²)
 ρ = Densidad kg/m³ $\approx$ 1000

$$V = \frac{0,36 \text{ Kg/s}}{\frac{\pi (0,025 \text{ m})^2}{4} \times 1000 \text{ Kg/m}^3} = 0,733 \text{ m/s}$$

3º) Hallamos las distintas pérdidas de carga

a) Tubería principal.

Calculamos el número de Reynolds.

$$R_e = \frac{V D}{\mu} \quad R_e = \frac{0,733 \text{ m/s} \times 0,025 \text{ m}}{5,56 \text{ E} - 7} = 32957$$

Al ser R_e mayor que 2.000, el régimen de circulación es turbulento, por lo que tendremos que usar el gráfico de Moody. Hallamos la rugosidad relativa, dividiendo la rugosidad absoluta (0,18 mm.) por el diámetro interior de la tubería (en las mismas unidades)

$$r_r = \frac{0,18 \text{ mm.}}{25 \text{ mm.}} = 0,0072$$

Buscamos la intersección de la curva de 0,0072 (interpolando entre la de 0,005 y 0,01) y el valor de $R_e = 32957$. El valor del coeficiente de pérdida de carga es de: $\lambda = 0,037$. La pérdida de carga de la tubería principal vale:

$$H_p = \lambda \frac{L_p V^2}{D 2g} \quad H_p = 0,037 \frac{10 \text{ m} \times (0,733 \text{ m/s})^2}{0,025 \text{ m} \times 2 \times 9,81 \text{ m/s}^2} = 0,405 \text{ m}$$

b) Hallamos el valor de la pérdida de carga de una de las dos tuberías ramificadas. La rugosidad relativa es la misma, por ser la tubería del mismo diámetro. La velocidad es la mitad que la anterior, puesto que el caudal es la mitad y la tubería tiene el mismo diámetro. El nuevo número de Reynolds es:



$$R_e = \frac{V D}{\nu} = \frac{0,3665 \text{ m/s} \times 0,025 \text{ m}}{5,56 \text{ E} - 7 \frac{\text{m}^2}{\text{s}}} = 16479 \text{ (Turbulento)}$$

y el nuevo valor de λ (intersección de R_e con rr) es:
 $\lambda = 0,039$. La pérdida en esta tubería es de:

$$H_f = 0,039 \times \frac{20 \text{ m} (0,3665 \text{ m/s})^2}{0,025 \text{ m} \times 2 \times 9,81 \text{ m/s}^2} = 0,214 \text{ m}$$

4º) Hallamos la pérdida de carga de los paneles, codos y derivaciones y del intercambiador de calor.

a) Paneles. La pérdida de carga de un panel será de:

$$H_p = 2,5 \frac{V^2}{2g} \quad V=0,3665 \text{ m/s es la misma en todos los paneles de esta serie}$$

$$H_p = 2,5 \frac{(0,3665 \text{ m/s})^2}{2 \times 9,81 \text{ m/s}^2} = 0,017 \text{ m}$$

b) Los codos y accesorios consignan todos juntos una pérdida de carga de:

$$H_c = 8 \times \frac{(0,3665 \text{ m/s})^2}{2 \times 9,81 \text{ m/s}^2} = 0,055 \text{ m.} \quad (\text{Por los codos pasa la mitad del caudal})$$

c) El intercambiador de calor. La velocidad en este caso, al pasar por él todo el caudal es de 0,733 m/s.

$$H_i = 5 \times \frac{(0,733 \text{ m/s})^2}{2 \times 9,81 \text{ m/s}^2} = 0,187 \text{ m.}$$

5º) Ahora sumamos, teniendo en cuenta los elementos que están en serie y en paralelo.

a) En una rama derivada.

$$\begin{aligned} & 6 \times H_p + H_f + H_c \quad (\text{serie}) \\ & 6 \times 0,017 \text{ m} + 0,214 \text{ m} + 0,055 \text{ m} = 0,371 \text{ m.} \end{aligned}$$

b) Sumando las dos ramas derivadas (paralelo)

$$\frac{1}{H_{2r}} = \frac{1}{H_{r1}} + \frac{1}{H_{r2}} \quad \text{como } H_{r1} = H_{r2} = 0,371$$

$$H_{2r} = \frac{H_i}{2} = \frac{0,371 \text{ m}}{2} = 0,1855 \text{ m.}$$

c) Ahora, a este valor se le han de sumar las pérdidas de carga de la tubería principal y la del intercambiador, obteniendo así la pérdida de carga total H

$$\begin{aligned} H_t &= H_{2r} + H_p + H_i \quad (\text{serie}) \\ H_t &= 0,1855 + 0,405 + 0,187 = 0,778 \text{ m.} \end{aligned}$$

Este valor 0,778 m., será la altura de bombeo de las dos bombas, que por ser iguales y estar en paralelo, es igual a la altura de bombeo de cada una de ellas.

6º) Cálculos sobre las bombas.

El caudal que bombea cada bomba será la mitad del valor obtenido.

$$Q_b = \frac{0,733 \text{ Kg/s}}{2} = 0,3665 \text{ Kg/s}$$

Por lo tanto cada bomba deberá trabajar en un punto tal de su curva característica que proporcione una altura de bombeo de 0,778 m. y un caudal de 0,3665 kg/s = 1320 litros/hora

TUBERIAS

Las tuberías deberán ser, como ya se ha visto, de diámetro más bien grande, a fin de que la velocidad de circulación del agua sea pequeña, y deben estar convenientemente aisladas. El espesor de aislamiento térmico previsto por la legislación vigente varía entre 20 y 40 mm. de un aislante de conductividad térmica igual a 0,04 W/m² °C (Fig. 7).

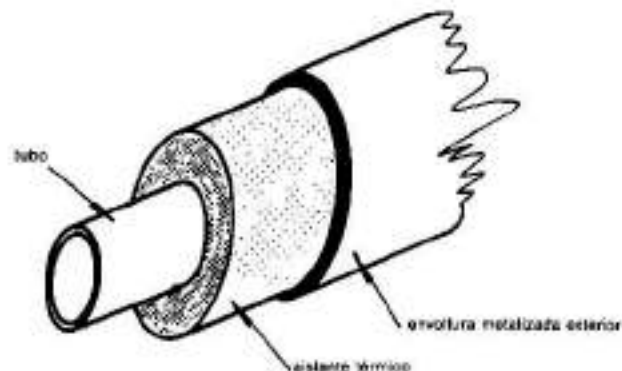


Fig. 7.— Tubería aislada para exteriores.

Si el aislante tiene mayor conductividad térmica, el espesor debe ser mayor, y si tiene menor conductividad (es más aislante) el espesor puede reducirse proporcionalmente.

Si las tuberías circulan por el exterior, estos espesores deben aumentarse en 10 mm. teniendo en cuenta que en este caso deben **protegerse** de las inclemencias del tiempo (lluvia principalmente).

PURGADORES

Deben instalarse **purgadores** en todos los puntos **elevados** de la instalación y siempre en aquellos puntos en los que se produzca una inversión hacia abajo del sentido de circulación del agua.

Debe instalarse uno en la parte superior del acumulador para eliminar los gases que pudiera haber en la parte superior de éste.

Los purgadores son de dos tipos: Manuales y automáticos. En los manuales la purga se efectúa aflojando un tornillo, hasta comprobar que empieza a salir líquido, momento en el cual se atornilla, cerrando la salida del mismo (Fig. 8).

Los purgadores automáticos son preferibles, pues efectúan solos la operación descrita. Al instalar un purgador automático debemos comprobar su **temperatura máxima de utilización** y su **presión máxima de servicio**, valores que no deberán sobrepasarse nunca, so pena de que se averíen. Las averías más corrientes de un purgador automático son que no purgue o que derrame líquido.

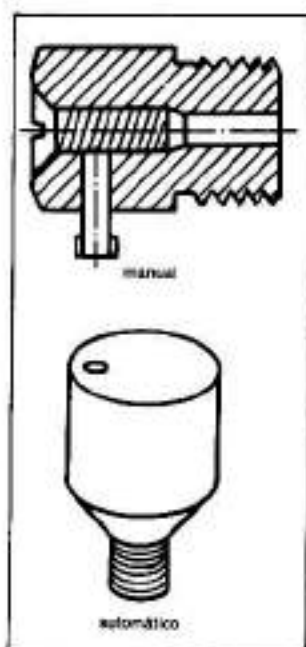


Fig. 8.— Purgadores manuales y automáticos.

VASO DE EXPANSION

Un líquido al calentarse se dilata, ocupando un mayor volumen. Este incremento de volumen debe estar previsto al hacer la instalación, pues de lo contrario reventaría.

Para absorber las dilataciones se dispone de un **vaso de expansión**. Este puede ser **abierto** o **cerrado**.

El vaso de expansión **abierto** es un simple depósito situado a mayor altura que la máxima que tiene el nivel de

líquido (atención: si existe una bomba de altura debe incluir, además, la altura de bombeo).

El vaso de expansión abierto tiene algunas ventajas: es muy sencillo y es especialmente indicado en instalaciones de circulación natural. El líquido tratado puede introducirse por él. No obstante tiene también sus inconvenientes: no es estanco y, por lo tanto, puede **derramarse**; por otra parte, al no ser cerrado, el líquido se **evapora** y periódicamente hay que reponerlo.

Un vaso de expansión abierto colocado en la parte superior de una instalación evita la presencia de purgadores, pues realiza la misma función que éstos.

La utilización de un vaso de expansión abierto **limita** la presión de servicio, circunstancia que es deseable en el lado de los colectores por razones de seguridad de funcionamiento. Pero en el lado de consumo, tal vez interese disponer de una presión más elevada a fin de mantener una buena distribución del agua caliente, que permita tener varios grifos abiertos a la vez con un caudal razonable.

Los **vasos de expansión cerrados** consisten en un depósito dividido en dos partes por una membrana elástica de caucho. Estos vasos se colocan invertidos, generalmente en la rama fría, de forma que la mitad superior esté llena de agua y la otra mitad esté llena de aire o nitrógeno seco. La presión del nitrógeno seco se puede variar, en los vasos de expansión cerrada de gran tamaño (en los pequeños suele estar fijada) (Fig. 9).

El **volumen** del vaso de expansión es un factor a tener en cuenta y se puede calcular fácilmente, sabiendo las temperaturas máxima y mínima a que puede estar sometida la instalación en el caso más desfavorable, y la inversa de la densidad del agua. El volumen dilatado será:

$$\text{Volumen total} \times \left(\frac{1}{\rho_1 T^{\circ}_{\text{máx.}}} - \frac{1}{\rho_2 T^{\circ}_{\text{mín.}}} \right) \quad \rho = \text{Densidad.}$$

Por ejemplo, en una instalación de agua caliente sanitaria con 100 l. de agua, contenidos en el circuito de colectores e intercambiador, puede suponerse una temperatura máxima de 90° C y una mínima de 4° C. En este supuesto, el volumen de expansión será de:

$$100 \left(\frac{1}{0,965} - \frac{1}{1} \right) = 3,62 \text{ l.}$$

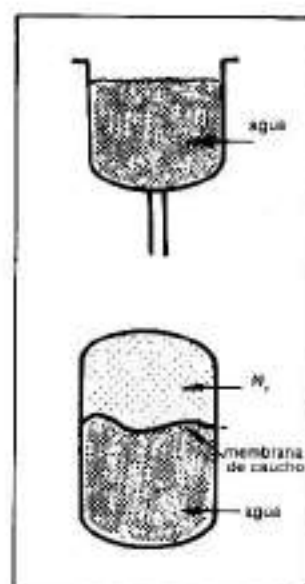


Fig. 9.—Vasos de expansión abiertos y cerrados.

En cualquier caso será prudente dejar un volumen algo superior a éste si el vaso de expansión es abierto, o comprar uno cerrado, por ejemplo, de 5 litros.

VALVULERIA

Para un correcto funcionamiento de una instalación solar se precisan algunos otros elementos de fontanería que a continuación se describen:

VALVULA ANTIRRETORNO

Es un elemento que sólo permite el paso del líquido en un sentido, pero no en el otro. Generalmente consta de un tubo cilíndrico con una clapeta, accionado por un muelle débil y un tope mecánico. Al pasar el líquido en el sentido correcto, la clapeta se levanta fácilmente, pues la presión del muelle es reducida. Si el líquido intenta circular en sentido contrario, la clapeta se clava sobre el tope mecánico impidiendo totalmente el paso del líquido.

La **válvula antirretorno**, debe colocarse **siempre** en toda instalación de energía solar en la que el acumulador (o el intercambiador de calor de colectores) esté situado a **igual altura** que los paneles o por **debajo** de ellos. La razón es que si el acumulador está por debajo de los paneles durante la noche, o en días nublados, el agua caliente situada en la parte superior del acumulador tiende a subir a los paneles, donde se enfría, retornando al acumulador por la rama fría (como se ve, recorre el circuito en el sentido inverso al normal de funcionamiento). Por esta razón se ha de instalar la válvula antirretorno entre los paneles y el acumulador, siendo preferible instalarla en la rama fría (Fig. 10).

En las instalaciones que funcionen por circulación natural (termosifón) **jamás** debe colocarse una válvula antirretorno, ya que en este caso la instalación no funcionaría en absoluto. Ello es debido a que como la diferencia de presiones entre la rama caliente y fría es tan pequeña, sería insuficiente para poder vencer la débil fuerza del muelle y levantar la clapeta.

LLAVES DE PASO

Las **llaves de paso** sirven para impedir el paso de líquido de una parte a otra de la instalación. Las hay de varios tipos.

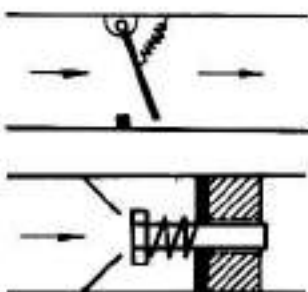


Fig. 10.— Válvulas antirretorno.

En las tuberías comprendidas entre los paneles y el acumulador pueden instalarse llaves de paso que permitan la posible reparación o sustitución de un panel, sin necesidad de que todo el volumen de líquido contenido en ellos, en las tuberías, en el intercambiador de calor o en el acumulador, se pierda. En instalaciones muy pequeñas generalmente no se ponen llaves de paso entre los paneles y el acumulador. En instalaciones medianas y grandes sí, pudiendo existir varias que separen el acumulador del campo de colectores, y cada rama en paralelo del campo de colectores entre sí.

En todos estos casos las llaves de paso deben ser del tipo de **compuerta** o de **bola** (Fig. 11), ya que éste es el tipo que ofrece la mínima pérdida de carga a su través. Nunca usaremos aquí llaves de paso de zapatilla (las normales en grifos), pues tienen una pérdida de carga elevada.

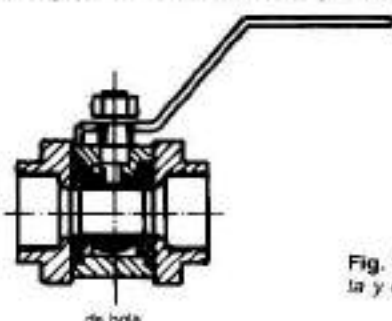
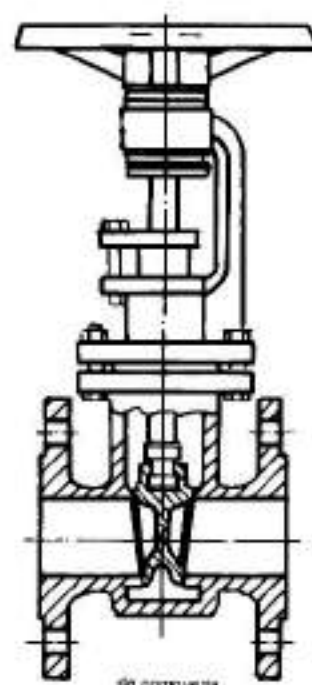


Fig. 11.— Válvulas de compuerta y de bola.

En la parte de la red de agua potable también necesitaremos válvulas que puedan impedir que entre o salga agua caliente sanitaria del acumulador. Aquí, como la red tiene ya cierta presión, podemos usar llaves de paso de zapatilla sin problemas.

Otra llave de paso importante y que no deberá faltar en ninguna instalación es el **grifo de purga**, que permite vaciar el líquido, tanto el de los paneles como el del acumulador en caso necesario. Lógicamente, estos grifos de vaciado se instalarán en el punto **más bajo** de la instalación (Fig. 12), existiendo uno solo si la instalación no tiene intercambiador de calor, o dos si lo tiene, uno para vaciar el líquido de los paneles y otro para vaciar el líquido del acumulador. Estos grifos de purga deberán tener un **desagüe** apropiado, especialmente si están situados en sótanos, zonas bajas del edificio, etc.

El complemento indispensable del grifo de purga es el **grifo de aireación**, que estará situado en la parte **más elevada** de la instalación (Fig. 13), y que permitirá que

al vaciar aquélla pueda entrar el aire en su interior y hacer que el líquido no quede retenido ni salga a borbotones. El grifo de aireación nos servirá también para el llenado de la instalación (a través de él, o haciendo que

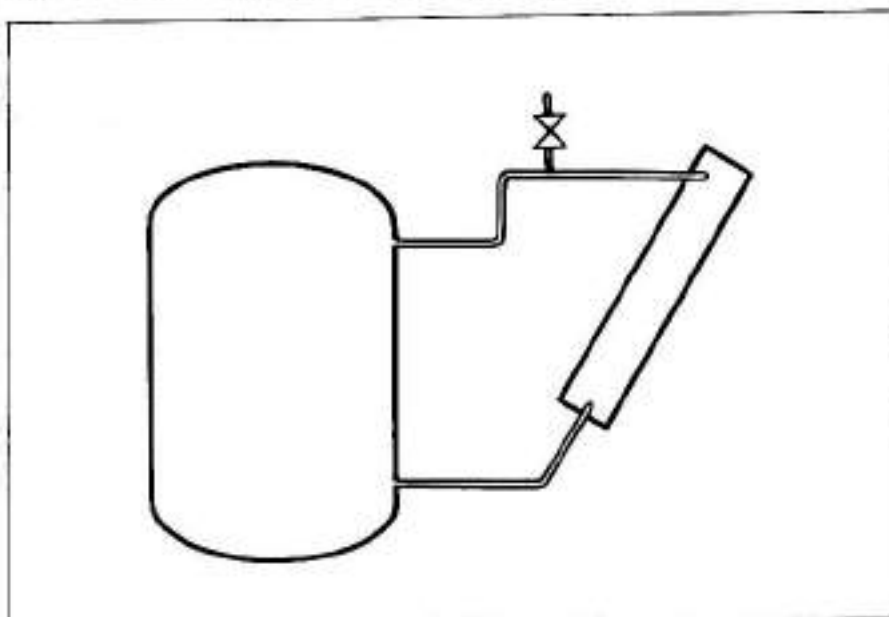


Fig. 12.— Grifo de purga.

el aire salga por él si la llenamos de líquido a presión desde abajo). En el caso de que la instalación posea un vaso de expansión abierto, y según donde está situado éste, no hace falta disponer de grifo de aireación.

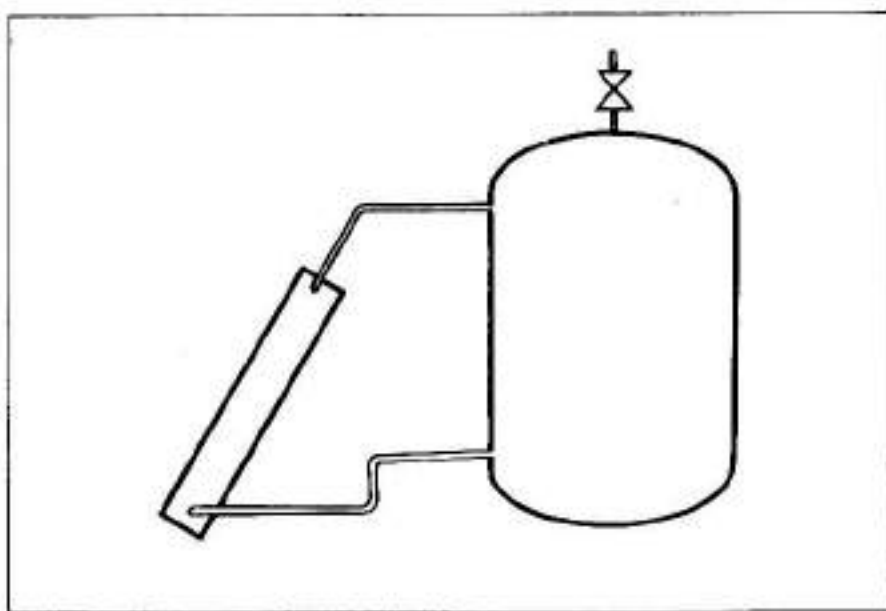


Fig. 13.— Grifo de aireación.

VALVULAS DE SEGURIDAD

Es muy conveniente dotar la instalación de **válvulas de seguridad** contra posibles sobrepresiones (Fig. 14). En general, estas posibles sobrepresiones no ocurrirán, pues serán absorbidas por el vaso de expansión o por la propia red, pero pueden darse por accidente o descuido, como sucedería si se dejaran cerradas las dos llaves de paso de la rama caliente y fría, con lo que los paneles -al incidir los rayos del sol- se calentarían dilatando el líquido, que al no poder salir acabaría rompiendo la instalación o algún panel. Dado el reducido precio de las válvulas de seguridad, deben colocarse éstas en todos aquellos tramos que pudieran quedar bloqueados, tales como ramales a los colectores, acumulador, etc.

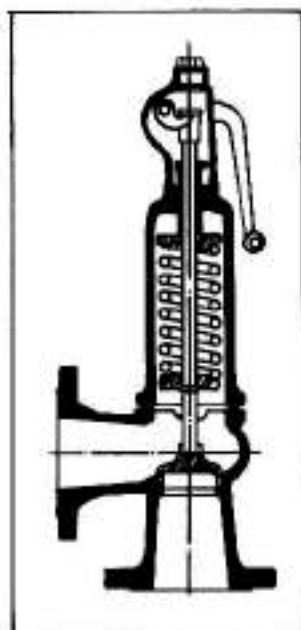


Fig. 14.— Válvula de seguridad.

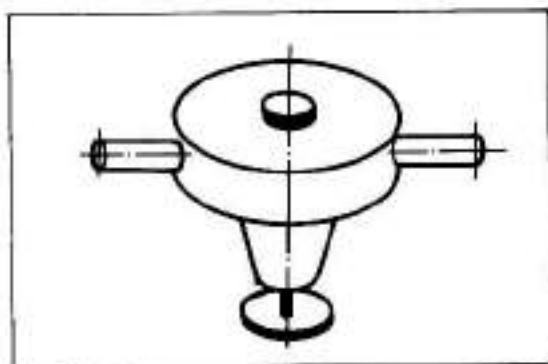


Fig. 15.— Válvula reductora de presión.

Las válvulas de seguridad deben **verificarse** periódicamente. Generalmente disponen de un mando manual que permite abrirlas y comprobar la salida de líquido, así como que el esfuerzo requerido para abrirlas no es excesivo o que una vez abiertas cierran perfectamente.

Otro tipo de válvula muy recomendable es la **reductora de presión** (Fig. 15). El agua potable de la red suele llegar a presiones muy elevadas (de hasta 0.6 MP). Tanto si usamos intercambiador de calor como si no, es conveniente que el depósito no esté a presiones tan elevadas, por lo que a la entrada de la red se instala una válvula reductora de presión que mantenga el nivel de la presión a un valor razonable (generalmente unos 0.2 MP).

Lógicamente, las válvulas de seguridad deben estar preparadas para soportar un valor de presión algo superior al de servicio (en este caso de unos 0.3 MP). Asimismo, es muy conveniente instalar un **manómetro**, que nos indicará la presión de servicio y podrá advertirnos de cualquier anomalía.

También es muy conveniente que tras la llave general de paso del agua potable se instale un filtro, al objeto de que retenga las posibles sustancias sólidas, tales como granitos de arena y otras impurezas que a veces arrastra el agua potable.

COLOCACION DE LAS SONDAS DE TEMPERATURA

Para instalaciones pequeñas y medianas que precisen bomba de circulación, adquiriremos una central de control electrónica de tipo estándar existente en el mercado. Sólo para instalaciones muy grandes o muy complejas será preferible hacer un diseño especial de ella.

Ya vimos que una central de control debería tener como mínimo dos sondas: una de ellas se coloca en el tubo de salida del panel y la otra en el acumulador. Generalmente estas sondas consisten en un elemento cilíndrico roscado que se coloca convenientemente, aunque también las hay de muy pequeñas dimensiones, que se sitúan en el lugar previsto pegándolas con un adhesivo.

La sonda del colector debe colocarse a la salida de una de las ramas en paralelo de que conste el campo de colectores, o en la salida general si el campo de colectores consta únicamente de una sola rama. Esta sonda debe colocarse de tal forma que esté en contacto íntimo con el líquido de los paneles y/o con la tubería. Debe aislarse convenientemente a fin de que no se produzcan pérdidas de calor a través de ella o de sus proximidades que podrían falsear los resultados (Fig. 16). Estas sondas están constituidas por un elemento metálico o semiconductor cuya resistencia varía con la temperatura.

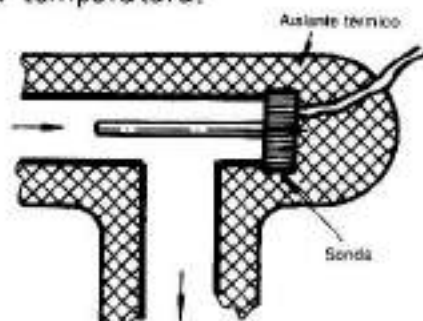


Fig. 16.— Sonda de temperatura para líquidos.

La sonda instalada en el interior del acumulador es más problemática. Consideremos el caso más complicado: un acumulador con tres intercambiadores en su interior: el intercambiador de colectores, el intercambiador de consumo y el intercambiador del sistema de calentamiento auxiliar.

La sonda de temperatura del acumulador debe situarse entre los intercambiadores de colectores y el auxiliar, teniendo en cuenta el volumen de agua que queda por encima de ella. Así, un depósito de 500 l., si la sonda se coloca en la mitad de la altura, tiene sobre ella 250 l.

Si la sonda se coloca **baja** (próxima al intercambiador de colectores), el equipo auxiliar puede funcionar en exceso, pero si bien realizará una carga correcta de la energía solar al consumir el agua caliente, el agua fría se acumulará en la parte inferior y alcanzará con prontitud a la sonda, enfriándola, con lo que se pondrá en marcha el sistema auxiliar cuando todavía quede mucha agua caliente en el acumulador.

Por el contrario, si la sonda se sitúa más **alta**, la captación puede ser ineficiente debido a que es posible que la temperatura de la sonda sea superior a la de la salida de los paneles. Ello puede ocurrir, por ejemplo, por la tarde en instalaciones muy bien aisladas, donde el agua calentada en el mediodía puede estar más caliente en el depósito que la que sale por los colectores. Además, poner la sonda muy alta suele ser desaconsejable si los consumos son importantes y el sistema de calefacción auxiliar es lento, porque podemos agotar la reserva de agua caliente (volumen comprendido entre la sonda y la parte superior del acumulador), sin dar tiempo a su reposición por medio de la energía auxiliar.

La solución correcta es situar la sonda más o menos al 60% de la altura del acumulador contando desde abajo (Fig. 17). Este valor es orientativo y podría oscilar el punto de colocación de la sonda entre el 40 y el 80% de la altura del depósito medido desde abajo.

El intercambiador de calor auxiliar (o la resistencia eléctrica) se instalarán **siempre** por encima de la sonda, al objeto de que el calor producido en ella no afecte a la sonda. (Fig. 18).

En centrales de control automático más completas se incluyen dos sondas para el acumulador (a veces también hay dos sondas para los paneles), colocándose una en la

parte superior y otra en la inferior. La bomba funciona si la temperatura de la sonda de los paneles solares es alta; la de la parte superior del acumulador también es alta si al de la parte inferior del acumulador es baja.

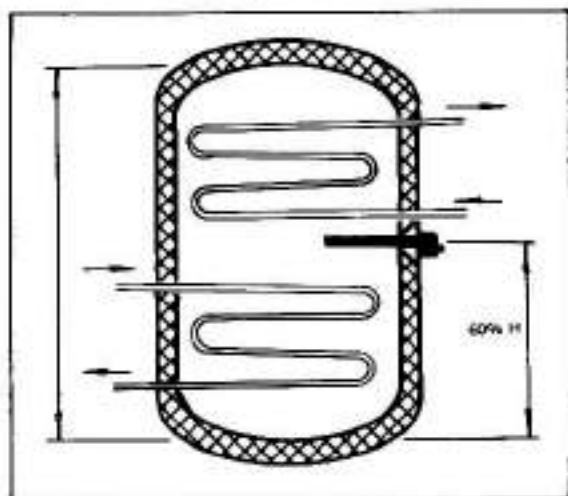


Fig. 17.— Colocación de la sonda de temperatura del acumulador.

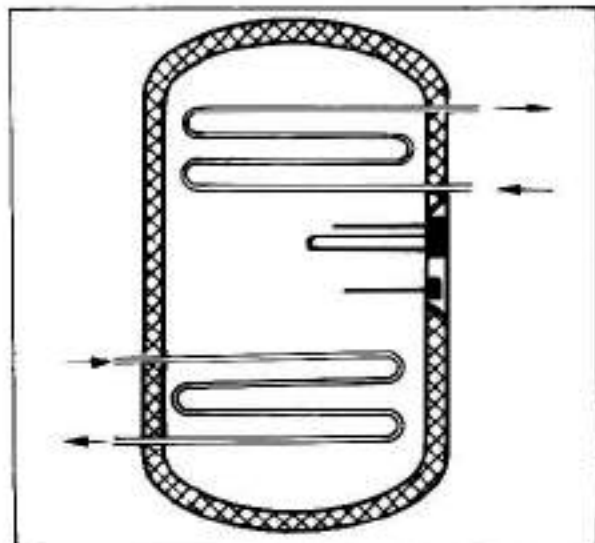


Fig. 18.— Colocación del elemento calefactor auxiliar.

El elemento auxiliar de calefacción tiene también una sonda de temperatura para él solo (puede ser independiente de la central de control). Esta sonda debe provocar la activación del sistema de calentamiento auxiliar y se sitúa inmediatamente encima del elemento calefactor (resistencia eléctrica, intercambiador de calor, etc.). La temperatura a la cual debe accionarse dependerá de la temperatura de utilización y del confort que deseemos.

Es bastante frecuente que las instalaciones solares mantengan la temperatura de salida constante (por ejemplo 60°C a base de energía auxiliar); esto para la mayoría de aplicaciones es una política equivocada. Pensemos, por ejemplo, en el agua caliente para duchas. Si el acumulador está a 50°C no tiene ningún sentido calentarlo hasta que alcance los 60°C, por la sencilla razón de que nadie podrá ducharse a esta temperatura (se quemaría) y habrá de mezclar esta agua caliente con agua fría. Un buen nivel de activación de esta sonda para aplicaciones de agua caliente sanitaria es de 45°C. Con este valor se podría disponer, en el supuesto de la ducha, de agua bastante caliente (casi al límite de la resistencia del cuerpo humano al calor), aun cuando la aportación de energía solar fuera reducida. Con aportaciones normales de energía solar, la temperatura del agua caliente sanitaria puede ser de 60°C y más.

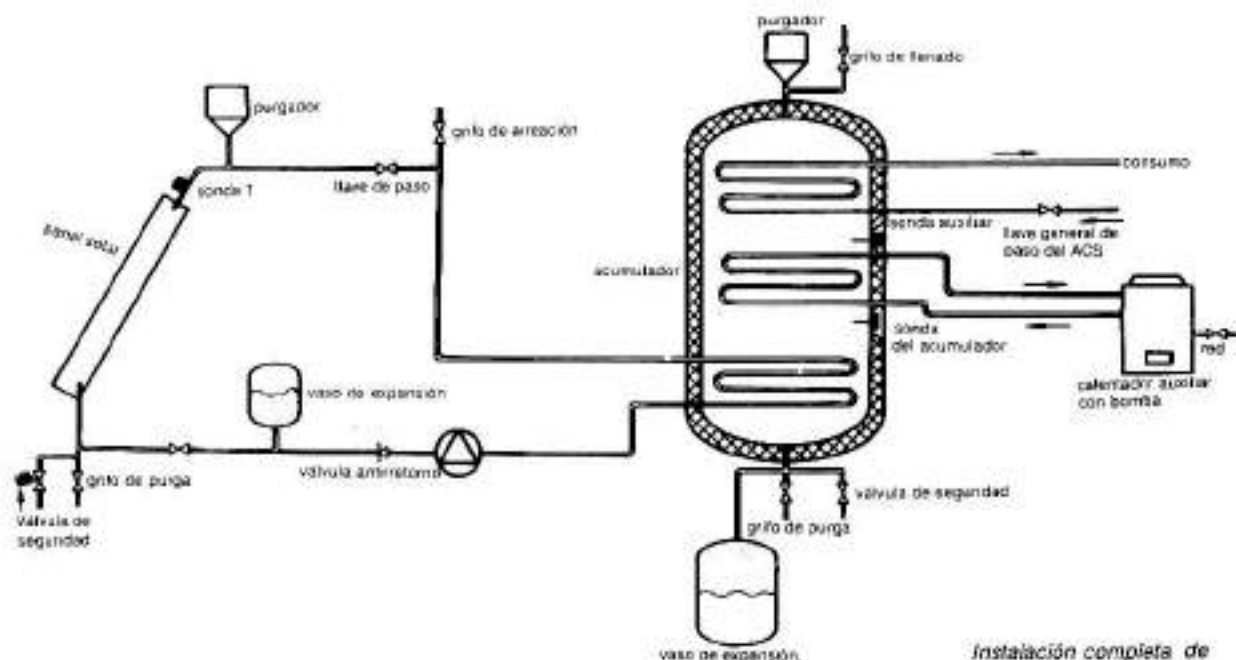


EL SISTEMA AUXILIAR DE CALENTAMIENTO

Toda instalación solar en que deseemos disponer de un **100% de seguridad** de suministro de agua caliente sanitaria, debe estar dotada de un **sistema auxiliar** que en los días nublados o con lluvia nos garantice el agua a la temperatura deseada.

El sistema auxiliar debe cubrir por sí solo el 100% del consumo de agua caliente en condiciones normales de uso.

Es **erróneo** pensar que el sistema auxiliar debe proporcionar una **fracción** (por ejemplo el 50%) de las necesidades caloríficas. Si así fuera, al encontrarnos con días nublados sin captación de energía solar, el sistema auxiliar sería incapaz de suministrar la demanda energética y suministraría agua templada o bien agua caliente pero en pequeñas cantidades. Cuando el sistema auxiliar proporciona el 100% de la demanda, si se hace necesario que funcione para cubrir una necesidad transitoria, lo hará durante un tiempo reducido, en base a estar alternativamente en marcha y parado.



Instalación completa de agua caliente sanitaria.

DATOS DE INTERES

A) COEFICIENTES DE RUGOSIDAD ABSOLUTA DE TUBERIAS (mm)

Cobre, vidrio o latón estirado	0
Latón comercial	0.025
Acero laminado (nueva)	0.05
Acero laminado (oxidada)	0.2
Acero laminado con incrustaciones	2
Acero galvanizado	0.18
Fundición (nueva)	0.25
Fundición (oxidada)	1.2
Cemento alisado	0.5
Fibro-cemento (uralita)	2

B) DENSIDAD DEL AGUA A DIVERSAS TEMPERATURAS (Kg/ m³)

0° C	999.87
4° C	1000.00
10° C	999.75
20° C	998.26
30° C	995.76
40° C	992.35
50° C	988.20
60° C	983.38
70° C	977.94
80° C	971.94
90° C	965.56
100° C	958.65