



**Escuela Universitaria Politécnica  
Universidad de Sevilla**

## **PROYECTO FIN DE CARRERA**

# **INSTALACIÓN DE ENERGÍA SOLAR TÉRMICA PARA LA PRODUCCIÓN DE A.C.S. EN BLOQUE DE 10 VIVIENDAS, EN CABEZA LA VACA, BADAJOZ.**

## **MEMORIA DESCRIPTIVA**

**ALUMNO: CARMEN ANTONIA CORDERO MACIAS.  
TUTORES: EMILIO DIAZ OJEDA**

**CONVOCATORIA:  
Junio 2011**



## ÍNDICE

### **1. INTRODUCCIÓN**

#### **1.1. ANTECEDENTES**

#### **1.2. OBJETO**

### **2. DESCRIPCIÓN DEL EDIFICIO**

### **3. CONSUMO ACTUAL DE A.C.S.**

### **4. INTRODUCCIÓN A LA ENERGÍA SOLAR**

#### **4.1. LA ENERGÍA SOLAR**

#### **4.2. LA RADIACIÓN SOLAR EN LA TIERRA**

#### **4.3. APROVECHAMIENTO E LA ENERGÍA SOLAR**

#### **4.4. ENERGÍA SOLAR TÉRMICA**

##### **4.4.1. ENERGÍA SOLAR TÉRMICA DE BAJA TEMPERATURA**

##### **4.4.2. APLICACIÓN DE LA ENERGÍA SOLAR TÉRMICA**

### **5. COMPONENTES DE UNA INSTALACIÓN SOLAR TÉRMICA**

#### **5.1. SISTEMAS DE CAPTACIÓN SOLAR**

##### **5.1.1. FUNCIONAMIENTO DE UN CAPTADOR SOLAR**

##### **5.1.2. TIPOS DE CAPTADORES SOLARES TÉRMICOS**

##### **5.1.3. CONEXIONADO ENTRE COLECTORES**

##### **5.1.4. ORIENTACIÓN E INCLINACIÓN**

##### **5.1.5. DETERMINACIÓN DE SOMBRAS**

##### **5.1.6. DISTANCIA MÍNIMA ENTRE CAPTADORES**

#### **5.2. SISTEMA DE INTERCAMBIO**

##### **5.2.1. INTERCAMBIADORES DE CALOR**

##### **5.2.2. DISEÑO Y SELECCIÓN DE INTERCAMBIADORES**



### **5.3. SISTEMA DE ACUMULACIÓN**

#### **5.3.1. TIPOS DE SISTEMAS DE ACUMULACIÓN**

#### **5.3.2. VOLUMEN DE ACUMULACIÓN PARA EL CONSUMO DE A.C.S.**

### **5.4. CIRCUITO HIDRÁULICO**

#### **5.4.1. TUBERÍAS**

#### **5.4.2. AISLANTES**

#### **5.4.3. BOMBA DE CIRCULACIÓN**

#### **5.4.4. FLUIDO CALOPORTADOR**

#### **5.4.5. VASO DE EXPANSIÓN**

#### **5.4.6. PURGADOR DESAIRADOR**

#### **5.4.7. MANÓMETROS**

#### **5.4.8. TERMÓMETROS Y TERMOSTATOS**

#### **5.4.9. VÁLVULAS**

#### **5.4.10. TERMOSTATO DIFERENCIAL**

## **6. PERSPECTIVAS Y PROYECTOS DE INSTALACIONES SOLARES TÉRMICAS**

## **7. NORMATIVA DE APLICACIÓN**

## **8. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS**



# **1. INTRODUCCIÓN**

## **1.1. ANTECEDENTES**

En cumplimiento de la Normativa vigente, se ha realizado el Proyecto de Energía Solar Térmica para la producción de Agua Caliente Sanitaria, en un bloque de 10 viviendas, sito en la población de Cabeza la Vaca, Badajoz.

## **1.2. OBJETO**

El objeto del presente Proyecto es la instalación de Energía Solar Térmica para la producción de Agua Caliente Sanitaria, para cada una de las diez viviendas que componen el bloque.

Dicho bloque consta de planta sótano, planta baja y planta primera, distribuyéndose las diez viviendas, cinco en planta baja y cinco en planta primera.

El sistema por el que nos hemos decantado es un sistema de producción de ACS centralizado, forzado e indirecto.

El desarrollo de los puntos necesarios de cálculo, nos permitirá generar las bases para el establecimiento de las instalaciones de Energía Solar Térmica, definiendo todos los elementos que han de constituirla, materiales, características, situación y dimensiones, de tal forma que la concepción, diseño, cálculo y montaje de las instalaciones, así como las condiciones que deben cumplir éstas y los lugares que las alberguen, se adapten a las prescripciones del Reglamento de Instalaciones Térmicas en los Edificios (RITE) y sus Instrucciones Técnicas Complementarias (ITE) y muy especialmente a lo referente a sus exigencias de rendimiento y ahorro energético(DB-HE del CTE), así como el Pliego de Condiciones Técnica.



## **2. DESCRIPCIÓN DEL EDIFICIO**

El edificio es un bloque de 10 viviendas de Protección Oficial cuyo promotor es la Junta de Extremadura.

Situado en el pueblo de Cabeza la Vaca, provincia de Badajoz, a 743 metros de altitud y con 1700 habitantes.

En planta baja consta de 5 viviendas con una superficie construida de 53m<sup>2</sup> en vivienda 1, 54 m<sup>2</sup> en vivienda 2, 48m<sup>2</sup> en vivienda 3, 55m<sup>2</sup> en vivienda 4, 50m<sup>2</sup> en vivienda y en planta primera las otras 5 viviendas con una superficie construida de 55m<sup>2</sup> en vivienda 6, 54m<sup>2</sup> en vivienda 7, 47m<sup>2</sup> en vivienda 8, 60m<sup>2</sup> en vivienda 9 y 55m<sup>2</sup> en vivienda 10.

Cada una de las viviendas consta de salón-comedor, cocina, dos dormitorios, un cuarto de baño, patio y terraza comunitaria y plaza de garaje; además las viviendas 2,3,6 y 7 también tienen trastero en planta sótano.

La ocupación por vivienda se estipula en tres inquilinos, siendo la ocupación media anual del edificio de treinta personas.

• Los **Datos Geográficos** de Cabeza laVaca son:

- ○ Latitud: 38°5'13''
- ○ Longitud: -6°42'
- ○ Altitud: 743m



### **3. CONSUMO ACTUAL DE ACS**

La siguiente tabla refleja los datos de consumos de ACS mensuales:

<b>MES</b>	<b>OCUPACIÓN (%)</b>	<b>CONSUMO ACS (l/d)</b>
ENERO	100	855
FEBRERO	100	855
MARZO	100	855
ABRIL	100	855
MAYO	100	855
JUNIO	100	855
JULIO	100	855
AGOSTO	100	855
SEPTIEMBR E	100	855
OCTUBRE	100	855
NOVIEMBRE	100	855
DICIEMBRE	100	855
<b>MEDIA</b>	<b>100</b>	<b>855</b>

Se considera una temperatura media de utilización de agua caliente de 60°C y una temperatura de agua fría variable según los valores indicados en la *tabla 4.2.* (fuente: *CENSOLAR*).

#### **MES TEMPERATURA MEDIA RED °C**

ENERO	5,2
FEBRERO	6,2
MARZO	7,2
ABRIL	11,1
MAYO	13,1
JUNIO	16,1
JULIO	18,1
AGOSTO	18,1
SEPTIEMBRE	16,1
OCTUBRE	11,2
NOVIEMBRE	8,2
DICIEMBRE	5,2

*tabla 4.2. Temperatura media mensual de la red, según CENSOLAR*



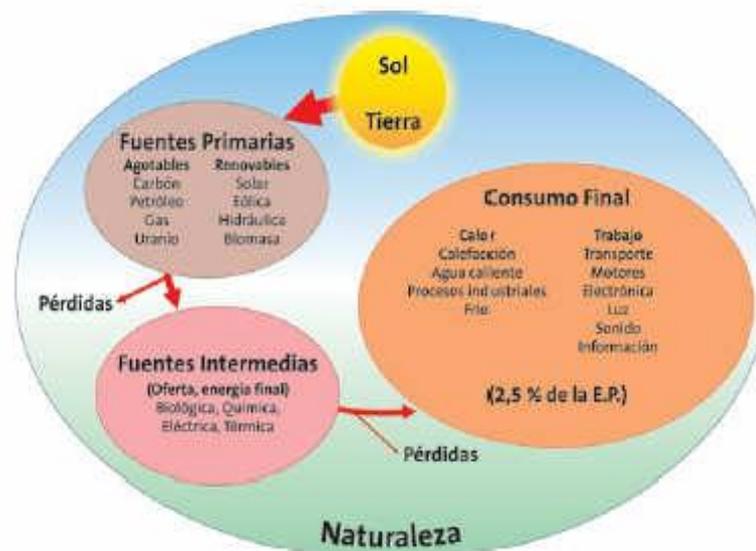
## 4. INTRODUCCIÓN A LA ENERGÍA SOLAR

### 4.1. LA ENERGÍA. EL SOL

El mundo moderno basa su desarrollo en el consumo creciente de energía en sus distintas variedades: petróleo, gas, carbón, electricidad...

El sistema energético está inmerso en la naturaleza. Empieza con las *fuentes primarias*, que es aquella energía que se obtiene de las fuentes en origen sin haber sufrido algún proceso de transformación intermedio. Las fuentes primarias de energías que más se utilizan actualmente son las de combustibles fósiles (petróleo, carbón, gas), la nuclear (fisión, fusión), y todas las demás renovables; éstas son usadas por el hombre para la obtención de trabajo y calor y a partir de ellas se obtiene energía, electricidad, vapor...

Estas fuentes primarias son transformadas, en las instalaciones industriales correspondientes (refinerías y centrales eléctricas) en *fuentes intermedias*, que son las disponibles en el mercado, principalmente electricidad y combustibles. Lo importante de esta clasificación, a efectos prácticos, es que la electricidad no es almacenable y los combustibles, sí. La etapa final de este “camino de la energía” (*gráfico 5.1.*) es el *consumo final* produciendo el uso final (calor, frío, movimiento, luz artificial, información, etc.) a partir de las energías intermedias. Dicho proceso se representa a continuación:



El rendimiento global de todo el proceso es muy bajo. Del orden del 2.5%. Esto significa que el 97.5% de la energía primaria que emplean los seres humanos no es empleada para satisfacer sus necesidades y se tira a la Naturaleza.

Alrededor del 93% de la energía primaria consumida en la actualidad a nivel mundial proviene de combustibles fósiles, es decir, que la mayor parte de la energía que consumimos es energía que en un espacio de tiempo más o menos corto se agotará, ya que el consumo mundial aumentará un 2% de media cada año.



Con el aumento excesivo del costo de estas energías “no renovables”, se ha ido tomando conciencia de un mejor aprovechamiento y de un uso racional y cuidadoso de energía. Nos encontramos ante la necesidad de reactivar el uso de las energías “renovables”, de las energías que nunca se extinguen, tales como la solar, geotérmica, la biomasa...

El Sol es una masa de materia gaseosa caliente que irradia a una temperatura efectiva de 6000°C y que se encuentra a una distancia de 149,490,000 kilómetros de la Tierra. El Sol, fuente de vida y origen de las demás formas de energía que el hombre ha utilizado durante la Historia, puede satisfacer nuestras necesidades, si aprendemos cómo aprovechar de forma racional la luz que continuamente derrama sobre el planeta. Ha brillado en el cielo durante mil millones de años y se calcula que todavía no ha llegado a la mitad de su existencia.

El Sol es una esfera de gas compuesto: 90% de Hidrógeno, 7% de Helio y 3% del resto de elementos químicos aproximadamente, en él se producen miles de reacciones nucleares por medio de la fusión.

Se cree que el Sol tiene unos 5,000 millones de años y que se formó cuando la gravedad atrajo una gran nube de gas y polvo, de la cual también se originaron la Tierra y los otros planetas.

Durante el presente año, el Sol arrojará sobre la Tierra *cuatro mil veces* más energía que la que vamos a consumir.

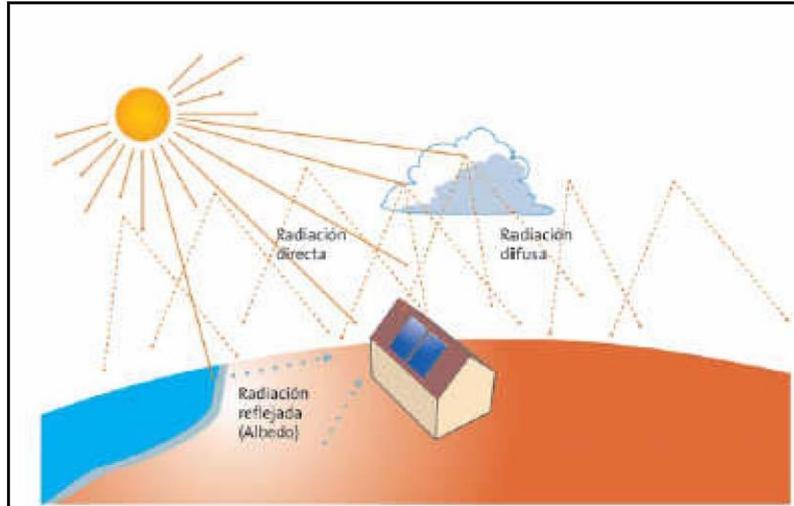
En estos momentos los compromisos del Protocolo de Kyoto de reducción de emisiones de gases de efecto invernadero, conllevan no sólo un mayor uso eficiente de la energía, sino también el impulso de las energías renovables. Con el objetivo de buscar estos mismos propósitos, en 1999 España aprobó el *Plan de Fomento de las Energías Renovables*, que establece mecanismos no sólo de eficiencia y ahorro de energía para reducir el consumo energético, sino también para conseguir que las energías renovables alcancen un 12% en la demanda de la energía primaria en el 2010.

## 4.2. LA RADIACIÓN SOLAR EN LA TIERRA

La radiación solar atraviesa la atmósfera y, en su recorrido, sufre modificaciones en su intensidad y dirección como consecuencia de su interacción (absorción y difusión) con los componentes atmosféricos.

La radiación solar llega a la superficie terrestre una vez que ha atravesado la atmósfera con las consiguientes modificaciones de su intensidad, dirección y composición espectral. Por tanto, la radiación solar que llega a una instalación tiene las siguientes componentes que quedan de manifiesto en el *gráfico 5.2.:*

- *Directa*, que procede del disco solar sin modificación de su dirección.
- *Difusa*, procedente de toda la bóveda celeste.
- *Reflejada*, que proviene del suelo circulante, como consecuencia de la reflexión que las componentes directa y difusa han producido en el suelo.

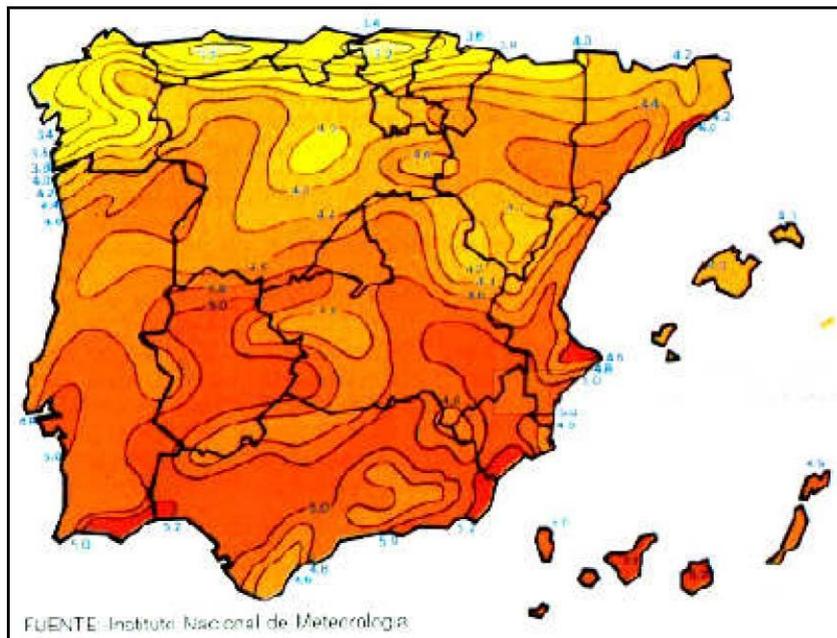


**gráfico 5.2. Componentes de la Radiación Solar**

Las instalaciones solares térmicas sin concentración aprovechan las componentes directa, difusa y reflejada de la radiación solar. Las instalaciones de concentración sólo aprovechan la componente directa. El coeficiente de reflexión (albedo) del suelo tiene influencia en esta componente y el ángulo de visión del suelo, desde los captadores de la instalación, también tiene gran importancia en la cantidad de radiación que llega a la instalación con este origen.

Además, los valores de irradiancia (potencia de radiación solar por unidad de superficie) solar global en superficie horizontal varían según el estado de tiempo; así los días despejados se alcanzan niveles que pueden llegar a  $800-1000 \text{ W/m}^2$ , mientras que los días totalmente nublados sólo se tienen  $200 \text{ W/m}^2$  e incluso menos.

Se incluye un mapa (**gráfico 5.3.**) de radiación global en superficie horizontal de España, obtenido por el Instituto Nacional de Meteorología. La unidad representada es  $\text{kWh/m}^2$

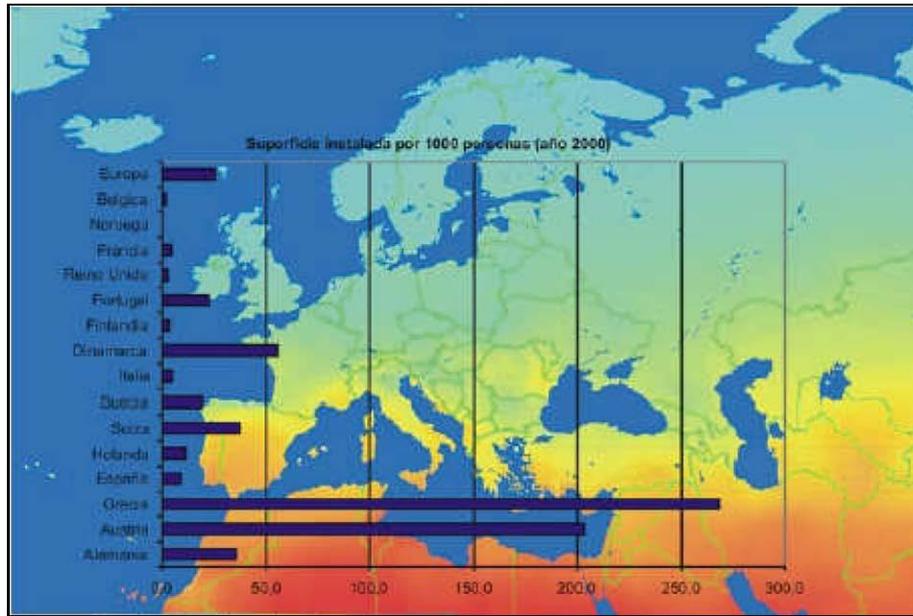


**gráfico 5.3. Radiación global en la superficie horizontal de España**



### 4.3. APROVECHAMIENTO DE LA ENERGÍA SOLAR

En la siguiente diapositiva (*gráfico 5.4.*) se puede observar que países con bajo nivel de irradiación solar tienen una cantidad importante de instalaciones solares térmicas, mientras que otros con alto nivel de irradiación solar tienen cantidades muy pequeñas, este último caso es el de España.



*gráfico 5.4. Radiación solar e instalaciones solares*

La captación de energías renovables (*gráfico 5.5.*) está basada en la energía que a diario recibimos del Sol, que puede ser:

- Energía solar directa
- Energía solar indirecta





La energía solar directa es aquella que al exponer una placa metálica al Sol recoge una cierta radiación, que dependerá de la oscuridad de esta placa para captar más o menos radiación solar. En la captación fotónica la energía no se produce por calor, si no por liberación de electrones en una placa especial para ello.

La energía solar indirecta es aquella que proviene del Sol pero tiene que intervenir en algún proceso como puede ser la climatología.

#### 4.4. ENERGÍA SOLAR TÉRMICA

El objeto de la captación térmica de la energía solares capturar el mayor calor posible que el Sol transmite a la Tierra por medio de la radiación.

La captación solar térmica de la energía se define como el procedimiento de transformación de la energía radiante del Sol en calor o energía térmica.

La energía solar térmica está basada en el aprovechamiento del calor por unos captadores solares, la cantidad de energía térmica recogida dependerá de la cantidad de metros cuadrados de superficie de captadores que tengamos.

La aplicación de la energía solar térmica se puede clasificar en tres, dependiendo de su temperatura:

- **Baja temperatura:** captación directa, la temperatura del fluido está por debajo del punto de ebullición.
- **Media temperatura:** captación de bajo índice de concentración, la temperatura del fluido es más elevada de 100°C.
- **Alta temperatura:** captación de alto índice de concentración, la temperatura del fluido es más elevada de 300°C.

En nuestro caso, se trata de una instalación de Baja Temperatura, y en ella me centraré, usando captadores con fluido caloportador como medio de transferencia energética.

##### 4.4.1. ENERGÍA SOLAR TÉRMICA DE BAJA TEMPERATURA

El sistema de captación a Baja Temperatura está basado en captadores con temperaturas iguales o menores a 100°C, se utiliza para agua caliente sanitaria, calefacción por suelo radiante, calentamiento de piscinas descubiertas...

Un sistema de baja temperatura requiere el acoplamiento de tres subsistemas:

- Subsistema de *captación*: tiene como finalidad la captación de la energía solar.
- Subsistema de *almacenamiento*: su finalidad es adaptar en el tiempo la disponibilidad de energía y su demanda, acumulándola cuando está disponible para poderla ofrecer en cualquier momento en que se solicite.



- Subsistema de *distribución o consumo*: tiene por finalidad el trasladar a los puntos necesarios de consumo el agua caliente producida.

El funcionamiento de estos tres subsistemas está condicionado por la meteorología, fundamentalmente la radiación solar y la temperatura, además de la demanda.

#### **4.4.2. APLICACIÓN DE LA ENERGÍA SOLAR TÉRMICA**

Entre las aplicaciones de la energía solar térmica en baja temperatura voy a señalar las siguientes:

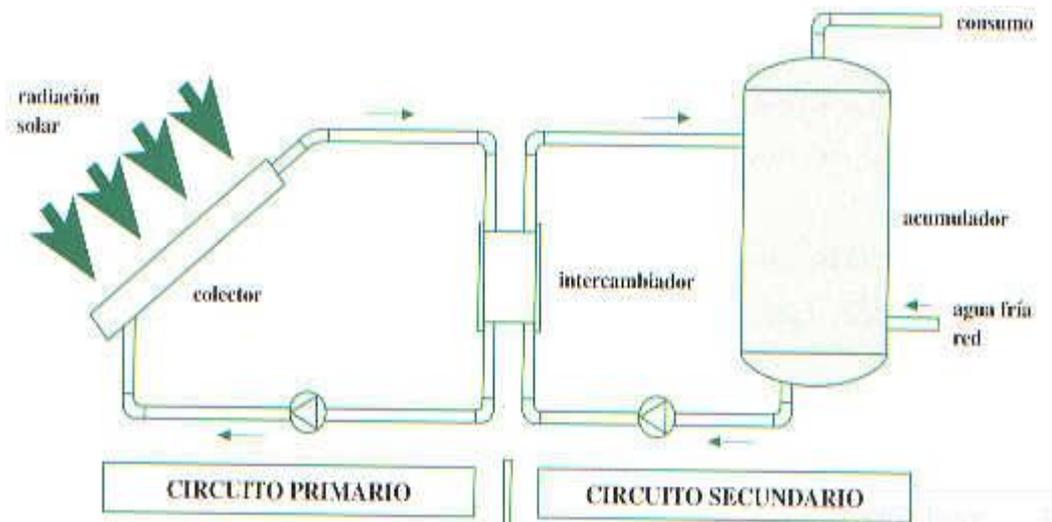
- Agua caliente sanitaria (A.C.S.) doméstica
- A.C.S. en alojamiento hotelero, camping, hospitales, establecimientos...
- Agua caliente en industrias agroalimentarias
- Calefacción doméstica por suelo radiante
- Calefacción de invernaderos, secaderos...
- Calefacción de piscinas
- Calefacción radiante de edificaciones con techos elevados
- Energía solar térmica para la refrigeración por absorción



## 5. COMPONENTES DE UNA INSTALACIÓN SOLAR TÉRMICA

Los componentes (*gráfico 6.1.*) de una instalación solar térmica son:

- Un **sistema de captación** formado por uno o varios captadores, dispuestos de forma apropiada para transformar la radiación solar incidente en energía térmica, por medio de un fluido caloportador que lleva instalado.
- Un **sistema de intercambio**, que es el que realiza la transferencia de energía térmica, éste puede ir dentro del acumulador o por separado.
- Un **sistema de acumulación**, en el que se almacena el agua caliente para su posterior utilización.
- Un **circuito hidráulico** constituido por elementos como tuberías, válvulas, bombas, vaso de expansión, purgadores...que son los encargados de que el sistema funcione correctamente desde la captación solar hasta el consumo.
- Un **sistema de seguridad** que regula y controla el funcionamiento, que suele estar compuesto por elementos de protección.
- Pueden tener incorporado un **sistema de energía auxiliar**, que sirve para completar el aporte solar cuando la demanda sea más exigente o las condiciones solares no sean las previstas.





## 5.1. SISTEMAS DE CAPTACIÓN SOLAR

### 5.1.1. FUNCIONAMIENTO DE UN CAPTADOR SOLAR

El captador solar térmico es el dispositivo encargado de transformar las radiaciones solares en energía térmica.

El proceso mediante el que transforma la radiación solar en calor es el siguiente: un cuerpo expuesto al Sol recibe un flujo energético (E), este cuerpo a su vez también irradia calor a su entorno por medio de radiación, convección y conducción. Llegará un momento en que estas pérdidas se igualan ( $E_p$ ) a la energía producida por el flujo energético incidente, será cuando se consiga la temperatura de equilibrio (t), pudiendo considerar que:

$$E = E_p$$

Siendo:

E : es el flujo energético procedente de la energía del Sol  $E_p$  :  
son las pérdidas de calor que tiene el cuerpo calentado

Si se hace pasar un fluido por este captador y lo aprovechamos para calentar un acumulador, tendremos una energía útil ( $E_u$ ). El equilibrio se dará cuando:

$$E = E_p + E_u$$

Siendo:  $E_u$  : energía útil extraída del captador

Por tanto, las pérdidas de calor del cuerpo calentado ( $E_p$ ) serán menores que antes, ya que parte de su energía se aprovecha en calentar un fluido. Este cuerpo expuesto al Sol se ha convertido en un captador solar térmico.

Para conseguir aumentar la energía útil ( $E_u$ ) tenemos varias opciones:

- Aumentar la energía incidente, lo cual es bastante difícil, por lo que se podrían reducir las pérdidas térmicas diseñando un captador con mejores prestaciones.
- Concentrar la energía incidente en una superficie más pequeña, esto lo que sucede con los *captadores solares térmicos de concentración*, usados para media y alta temperatura.

Un factor a tener en cuenta es la diferencia de temperaturas entre la de utilización y la de ambiente. Cuanto mayor sea dicha diferencia, mayores serán las pérdidas térmicas y obtendremos menor energía útil. Por tanto, el rendimiento de un captador disminuirá a medida que la temperatura ambiente aumente, por eso es importante que el trabajo de los captadores sea a una temperatura lo más baja posible.

El Rendimiento de un captador solar será:

$$\text{Rendimiento} = E_u / E = E_u / (E_u + E_p)$$



## EFECTO INVERNADERO

Al colocar un vidrio entre la placa que absorbe el calor y el Sol, se da el fenómeno “efecto invernadero”, que consiste en atrapar los rayos de Sol o la radiación solar, impidiendo que la energía que atraviesa el fluido no vuelva a salir, efectuando una trampa energética de radiación.

Cuando la radiación solar electromagnética incide en un captador solar, ésta puede ser total o parcialmente absorbida, otra parte podrá ser también reflejada y otra atravesará el cuerpo en cuestión. La energía que se absorbe es la que hace que se caliente el cuerpo y emita a su vez radiación, con una longitud de onda que dependerá de su temperatura.

La parte principal de la radiación solar está comprendida entre los 0.3 y 2.4  $\mu\text{m}$ , el vidrio, al ser transparente, deja pasar a través de él la radiación electromagnética, pero habrá una pequeña parte que se reflejará en su superficie, lo que vendrá condicionado por el espesor del vidrio.

Después de atravesar el vidrio, la radiación llega al absorbedor, que se calienta y también emite radiación, oscilando entre 4.5 y 7.2  $\mu\text{m}$ , en esta longitud de onda es cuando el vidrio es opaco a esta radiación, aumentando la temperatura en el interior del captador solar.

### 5.1.2. TIPOS DE COLECTORES SOLARES TÉRMICOS

Un colector solar consta de una *placa captadora* que, gracias a su geometría y a las características de su superficie, absorbe energía solar y la convierte en calor (conversión fototérmica). Esta energía es enviada a un *fluido portador del calor* que circula dentro del colector mismo o tubo térmico.

La característica principal que identifica la calidad de un colector solar es su *eficiencia*, entendida como capacidad de conversión de la energía solar incidente en energía térmica.

Fundamentalmente existen tres tipos de colectores solares:

- Planos
- De vacío
- De concentración

### COLECTORES SOLARES PLANOS (*gráfico 6.2.*)

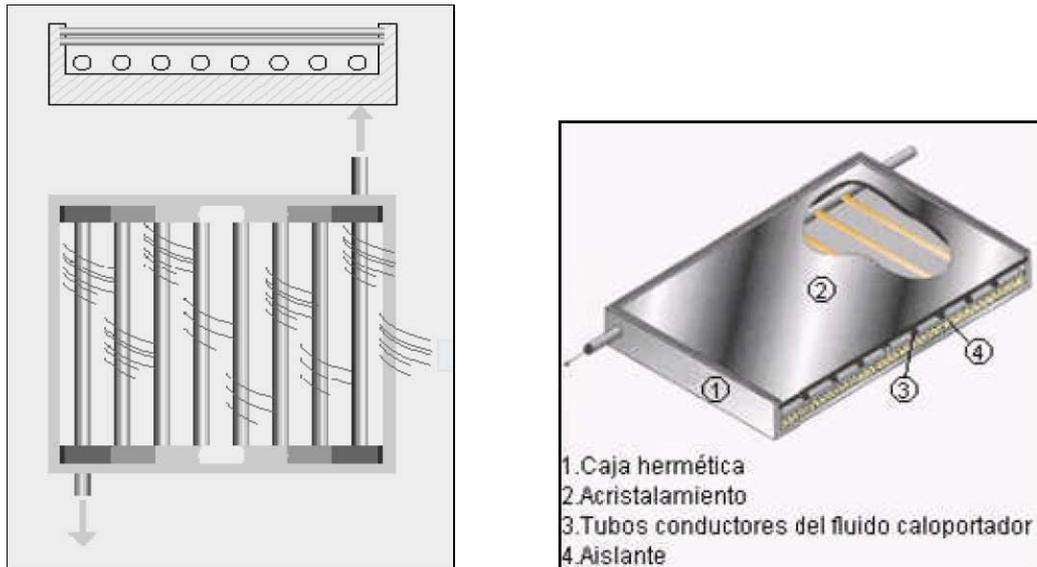
Se dividen en otras dos categorías: **planos con cubierta** y **planos sin cubierta**.

Los colectores solares planos son el tipo más común actualmente. Los colectores planos *con cubierta* están compuestos esencialmente por una cubierta de vidrio, una placa captadora aislada térmicamente en la parte inferior y están lateralmente contenidos en una caja de metal o plástico.



Los colectores planos *sin cubierta* normalmente son de material plástico y están directamente expuestos a la radiación solar. La utilización de estos últimos se limita al calentamiento del agua de las piscinas.

El principio fundamental de funcionamiento de un colector solar se basa en el aprovechamiento de la propiedad que posee una superficie revestida de negro o de una sustancia de material selectivo, que absorbe la radiación solar en un 90% y la emite en menos de un 10 por ciento.



*gráfico 6.2. Colector solar plano*

Un captador solar plano está compuesto por los siguientes elementos:

#### **-Placa Absorbente**

Está formada por componentes que transforman la radiación solar en calor y transmitiendo esta energía al fluido caloportador. Suele construirse de cobre, acero negro inoxidable, aluminio... Hay que tener en cuenta que el material usado puede incidir en la corrosión con lo que puede variar la vida útil del captador.

Con el objeto de conseguir aumentar la capacidad de absorción para la radiación solar se recubre con pintura oscura, ésta ha de tener un espesor mínimo, ya que las pinturas son materiales aislantes y esto dificulta la conducción de calor, también el tipo de pintura ha de ser mate ya que evita el fenómeno de reflexión.

El tratamiento aplicado a la placa absorbente se denomina *tratamiento selectivo*. El *índice de efectividad* de las superficies selectivas se calcula de la siguiente forma:

$$\text{Índice de efectividad} = \text{Absortancia} / \text{Emitancia}$$

Se detalla a continuación (*tabla 6.3.*) el índice de efectividad de diferentes materiales:



## **TRATAMIENTO ABSORTANCIA EMITANCIA INDICE EFECTIVIDAD**

Negro de Níquel sobre 0.93 0.06 15.5 Níquel Ni-Zn-S sobre Níquel 0.96 0.07 13.7 Negro de Cromo sobre 0.92 0.1 9.2 Níquel Negro de Hierro sobre Acero 0.9 0.1 9 Negro de cinc 0.9 0.1 9 Negro de cromo 0.89 0.1 8.9 Pintura acrílica negra 0.95 0.9 1.06

### **-Superficie transparente**

Colocada sobre la placa absorbente produce el “efecto invernadero” al tiempo que la protege de los agentes atmosféricos. El cristal empleado es de tipo corriente, económico y resistente.

Las dos caras del cristal irradian, por ello el absorbedor recibirá, además de la radiación solar, la mitad de la emitida por el cristal (cara interior). De esta forma se producirá el efecto invernadero y la placa para la radiación ultravioleta se comportará como un cuerpo negro, aumentando la temperatura en el interior debido a la radiación incidente y la radiación absorbida.

También se pueden emplear plásticos laminados aunque tienen el problema de deteriorarse más rápidamente que el vidrio por la influencia de la radiación ultravioleta, es frágil al viento y se deben sustituir periódicamente.

### **-Caja contenedora**

Constituye el soporte para los elementos que forman el captador, debe ser estanca a las entradas de aire y resistente a la corrosión.

No debe resistir tensiones mecánicas importantes y por tanto puede ser construida con materiales como acero galvanizado o inoxidable, aluminio, plástico, fibra de vidrio... Lo que normalmente se usa es aluminio anodizado (aluminio sometido a un procedimiento electrolítico con el que se consigue una capa de oxidación del espesor que se requiera para sus diferentes usos).



### **-Aislamiento térmico**

Está situado entre la caja y la placa absorbente, reduciendo las pérdidas de calor por transmisión en la parte posterior y lateral del captador. Se suelen usar espumas de poliestireno, poliuretano, fibra de vidrio...

El aislante deberá mantener sus propiedades estabilizadas a las temperaturas del régimen del captador.

Estos aislantes han de cumplir la normativa vigente establecida en el *Reglamento de Instalaciones Térmicas (RITE)* según la *ITE 02.10 Aislamiento Térmico*, cumpliendo los espesores de los revestimientos exigidos en el *Apéndice 03.01* del citado reglamento.

Las características mínimas que ha de tener un aislamiento térmico son:

- Coeficiente de conductividad térmica
- Márgenes de temperatura admisibles
- Coeficiente de absorción de agua
- Grosor de aislamiento
- Características y sistema de cubierta para la protección exterior

### **-Fluido caloportador**

Es el encargado de llevar el calor por la placa absorbente, compuesto por un líquido que, generalmente, es agua mezclada con anticongelantes, que debe tener las siguientes especificaciones:

- El PH estará comprendido entre 5 y 12
- El contenido de anticongelante será igual o mayor del 20%
- En contenido en sales solubles será inferior de 500 mg/l
- El contenido en sales de calcio (cal) será inferior a 200 mg/l
- La calidad de este líquido se controlará periódicamente

En estos preparados anticongelantes se deberá especificar la composición y el tiempo de duración.

### **-Red de tuberías**

La red de tuberías constituye el circuito hidráulico que une los subsistemas de captación con el de producción de agua caliente para consumo.

Se deben tener en cuenta:

- Las dilataciones provocadas por saltos térmicos de  $-35^{\circ}\text{C}$  a  $130^{\circ}\text{C}$
- La corrosión interna debida a los agentes ambientales y naturales
- La incompatibilidad entre materiales (electrólisis)

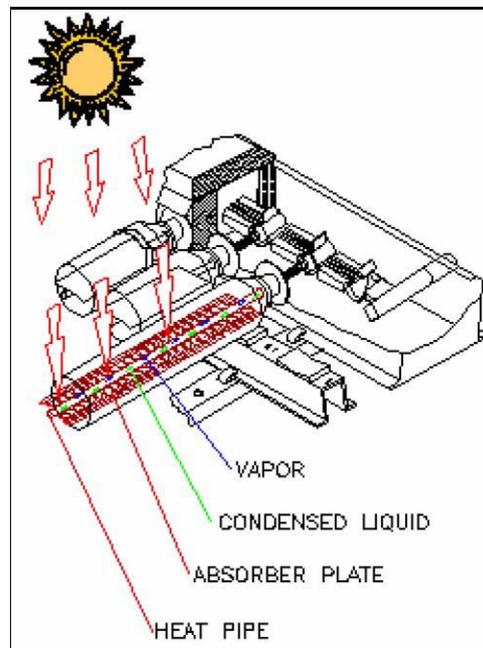


El tubo de cobre es el material más ventajoso en cuanto a peso, menor rugosidad, facilidad de manipulación y resistencia a corrosión.

## COLECTORES SOLARES DE VACÍO

Están proyectados para reducir las dispersiones de calor hacia el exterior. El calor captado por cada elemento (*tubo de vacío*) ( *gráfico 6.4.*) es transferido a la *placa*, generalmente de cobre, que está dentro del tubo. De esta manera, el líquido portador del calor se calienta y, gracias al vacío, se reduce al mínimo la dispersión de calor hacia el exterior.

En su interior la presión del aire es muy reducida, de forma que impide la cesión de calor por conducción. En la fase de montaje, el aire entre el absorbedor y el vidrio de la cubierta es aspirado y hay que asegurar una hermeticidad perfecta y perdurable en el tiempo.



*gráfico 6.4. Tubo de vacío*

En este tipo de colectores la placa absorbedora de los tubos lleva adosado un tubo de calor. La radiación solar incidente calienta la placa y provoca la evaporación del fluido, absorbiendo calor y transfiriéndolo a la parte superior.

Allí el vapor se enfría (en un condensador especialmente diseñado) al paso del agua fría de la red, cediéndole su calor latente de condensación. El fluido condensado retorna a su posición original en la parte inferior del tubo de calor, debido a la acción de la gravedad, y el ciclo se repite.

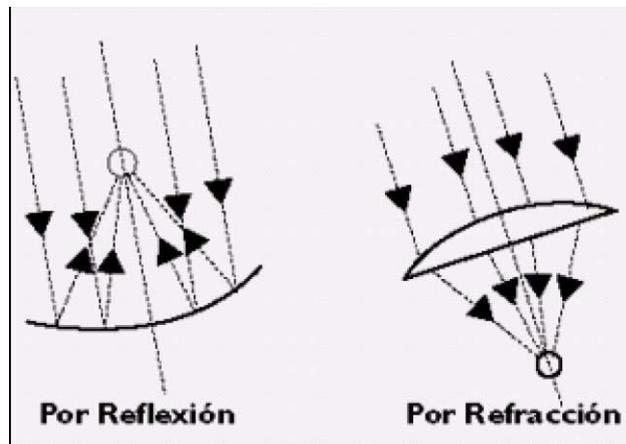
Entre las características principales de los colectores de vacío con tubo de calor, debemos destacar las siguientes:



- Unión seca: el intercambio de calor se realiza en seco, es decir, sin contacto directo de los líquidos, lo que los hace particularmente adecuados en áreas con cualidades desfavorables del agua.
- Función diodo: la transferencia de calor se realiza siempre en un solo sentido, desde el absorbedor hacia el agua, y nunca al revés.
- Limitación de la temperatura: el ciclo de evaporación-condensación tiene lugar mientras no se alcance la temperatura crítica del fluido vaporizante, evitando así los riesgos de un aumento incontrolado de la temperatura en el interior de los tubos.

## COLECTORES SOLARES DE CONCENTRACIÓN

Los colectores solares *de concentración* son colectores cóncavos proyectados para optimizar la concentración de la energía solar en un punto bien determinado. Son eficaces sólo con luz solar directa, ya que tienen que seguir el movimiento del sol.



*gráfico 6.5. Colector de concentración*

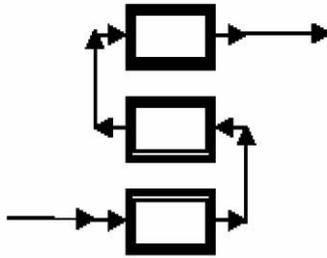
Este modelo de colector, que puede alcanzar altas temperaturas, es una elección lógica para generadores solares o para hornos de altísimas temperaturas (más de 4.000°C). El coste y la realización del equipo de seguimiento del sol y su construcción determinan que sea poco práctico.

### 5.1.3. CONEXIONADO ENTRE COLECTORES

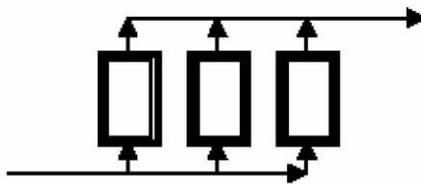
#### CONEXIONADO DE COLECTORES EN SERIE

El acoplamiento en serie de los captadores solares tiene como consecuencia un aumento de la temperatura del agua a costa de disminuir el rendimiento de la instalación, debido que al ir pasando el fluido de un colector a otro la temperatura de entrada en cada uno va aumentando y, por lo tanto, disminuyendo la eficacia global del sistema. No es aconsejable esta conexión, a no ser que estemos interesados en temperaturas considerables, aunque entonces sería conveniente considerar otras aportaciones como las de captadores a Media o Alta temperatura.

Por ello, para este tipo de conexión, sólo se recomienda la utilización de tres colectores, cuando necesitemos una temperatura superior a los 50°C. 20



### CONEXIÓN DE CAPTADORES EN PARALELO CON RETORNO INVERTIDO



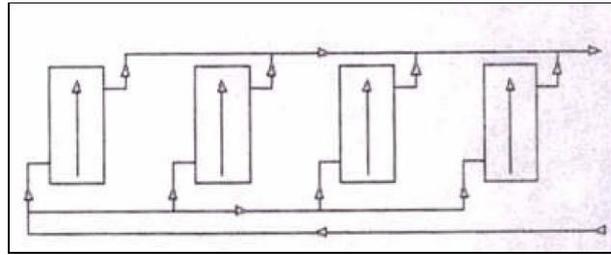
Los colectores se acoplan en paralelo, y en caso de tener una disposición en varias filas, colocarlas también en paralelo, debiendo tener el mismo número de unidades y estar colocadas paralelas, horizontales y alineadas entre sí.

El conexionado en paralelo con retorno invertido evita la instalación de válvulas de equilibrado de caudal. El número de captadores solares que se pueden conectar en paralelo tendrá en cuenta las limitaciones del fabricante, debiéndose instalar válvulas de cierre en la entrada y salida de las distintas baterías de captadores y entre las bombas, de forma que puedan utilizarse para aislamiento de parte del sistema, labores de mantenimiento, sustitución...

Este tipo de conexionado puede efectuarse con tubería exterior; esto sucederá cuando los caudales sean elevados y sea necesario que la tubería de reparto y recogida tenga más diámetro que la que traen de fábrica los captadores solares.

### CONEXIÓN DE CAPTADORES EN PARALELO CON TUBERÍA EXTERIOR Y EQUILIBRADA CON VÁLVULAS

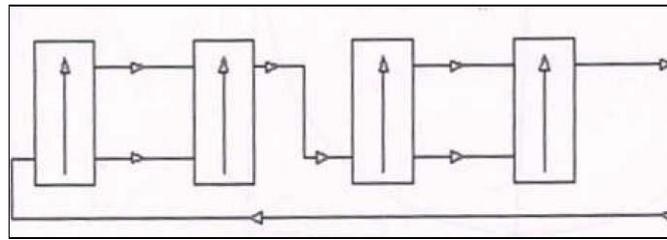
Para cuando no se pueda usar la conexión con retorno invertido habrá que instalar caudalímetros y válvulas de equilibrado. No debemos conectar más de 10 captadores o conjuntos de captadores en paralelo porque el trabajo de los captadores del centro de las filas trabajan con menos caudal que los de los extremos.



### CONEXIÓN DE CAPTADORES EN MIXTO (PARALELO / SERIE 2+2)

En este conexionado usamos los dos sistemas, serie y paralelo; todos los conjuntos en serie deben tener el mismo número de colectores que en paralelo, así el caudal será el mismo para cada conjunto.

Su empleo no es muy común, pero puede tener sentido en instalaciones con gran superficie de captación, en las que sean necesarios unos rendimientos de temperatura muy alta en la salida.



### 5.1.4. ORIENTACIÓN E INCLINACIÓN DE CAPTADORES SOLARES

Los captadores se sitúan de tal forma que a lo largo del periodo anual de utilización aprovechen al máximo la radiación solar disponible. Preferentemente se orientarán hacia el Sur geográfico, desviaciones de hasta 20° hacia el Sudeste o Sudoeste con respecto a la orientación Sur no afectan sensiblemente al rendimiento y a la energía térmica aportada por el equipo solar.

El ángulo de inclinación vendrá dado según la utilización o el servicio que den los captadores solares y por lo indicado en la ITE 10, punto 10.1.3.1. del RITE (*tabla 6.6.*)::

#### UTILIZACIÓN ÁNGULO DE INCLINACIÓN

Todo el año (ACS) Latitud del lugar Invierno (Calefacción)  
Latitud del lugar + 10° Verano (Piscinas descubiertas/ Latitud del lugar – 10° Hoteles)

Variaciones de 10° con respecto al ángulo de inclinación óptimo no afectan sensiblemente al rendimiento y a la energía térmica útil aportada por el equipo. No obstante, desviaciones superiores



de orientación e inclinación a las señaladas, han de compensarse con mayor superficie de captadores.

### 5.1.5. DETERMINACIÓN DE LAS SOMBRAS

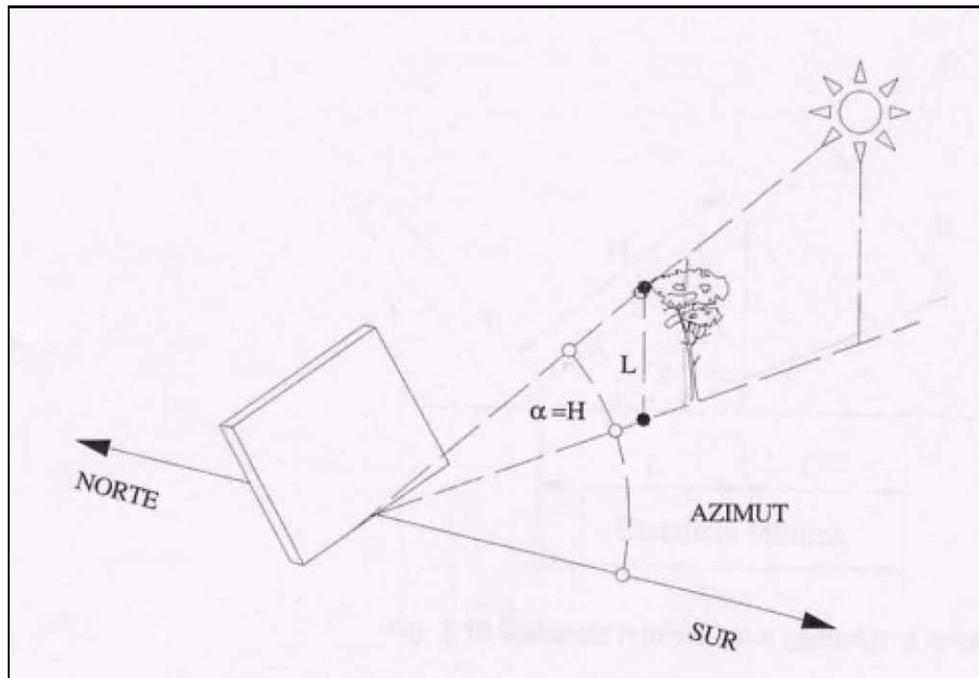
Para obtener el máximo rendimiento de un sistema de energía solar, procuraremos que la incidencia de sombras sea mínima. Normalmente, los captadores, no quedan inoperantes por una sombra que ocupe de un 15 a un 25%, aunque producirá una disminución del rendimiento.

En el día más desfavorable del periodo de utilización, el equipo no tendrá más del 5% de la superficie útil de captadores cubierta por sombras.

Un equipo resultará inoperante cuando el 20% de la superficie de captación solar esté en sombra. La existencia de sombras proyectadas sobre los captadores pueden ser por dos causas:

- Obstáculos próximos
- Sombras entre captadores Para el cálculo de las sombras tendremos que aplicar

los siguientes conceptos:



*figura 6.7. Sombra proyectada en un captador solar*

Donde: -L es la altura del objeto que se interpone entre el Sol -H es el ángulo  $\alpha$  que forma el Sol con el captador solar

$$\text{La sombra proyectada} = L / \text{Tangente } H$$



### 5.1.6. DISTANCIA MÍNIMA ENTRE CAPTADORES

Debemos calcular la distancia mínima entre baterías de captadores para evitar que los de delante efectúen sombras no deseables y resten eficacia al conjunto de la instalación.

Según lo dispuesto en el RITE, en su ITE 10.1.3.1, la separación entre filas de colectores será igual o mayor que el valor obtenido mediante la expresión:

$$d = k.h$$

siendo:

- d : separación entre filas
- h: altura de los captadores solares
- k: coeficiente cuyo valor se obtiene de la tabla adjunta, a partir de la inclinación de los captadores solares con respecto a un plano horizontal (*tabla 6.8.*)

INCLINACIÓN (°)	20	25	30	35	40	45	50	55
COEFICIENTE k	1.532	1.638	1.732	1.813	1.879	1.932	1.970	1.992

*tabla 6.8. Cálculo de coeficiente de sombra proyectada*

La distancia mínima entre la primera fila de colectores y los obstáculos ( de altura a) que puedan producir sombras sobre las superficies captadoras será mayor que el valor obtenido mediante la expresión:

$$d = 1.732.a$$

## 5.2. SISTEMA DE INTERCAMBIO

Las instalaciones se clasifican es:

- Sistema solar de transferencia directa
- Sistema solar de transferencia indirecta (intercambiador)

El caso más general es en el que existe un intercambiador tal que el fluido del primario no esté en contacto con el agua caliente sanitaria.

El sistema de intercambio es el elemento que se encarga de transferir el calor generado por los captadores solares al acumulador, por medio del movimiento forzado del fluido caloportador, sin que exista la posibilidad de que estos líquidos puedan mezclarse.



### 5.2.1. INTERCAMBIADOR DE CALOR

Se basa en el intercambio de calor que transfiere la energía almacenada en el líquido del circuito primario al líquido del secundario, mediante dos circuitos, primario y secundario, en forma de espiral o de placas superpuestas con dichos circuitos embutidos en las mismas.

Las ventajas de un intercambiador con circuitos independientes son:

- Permite que el circuito primario trabaje a una presión adecuada para los captadores solares
- Hacer servir un líquido térmico con anticongelante en el primario, para proteger los captadores solares de posibles heladas y de la cal del agua.
- Hacer un control de la circulación del circuito primario.

Estos tipos de intercambiadores pueden estar dentro o fuera del acumulador. En instalaciones pequeñas se aconseja hacer servir intercambiadores dentro del acumulador (de serpentín o doble pared) por ser más económicos. Para instalaciones con depósitos superiores a 1500 l, se harán servir intercambiadores externos al acumulador porque permiten obtener la potencia necesaria sin limitaciones.

Los intercambiadores más habituales son:

#### DOBLE PARED

-Incorporado a un acumulador de hasta 700 l  
-Gran superficie de intercambio -Baja pérdida de carga

- Rendimiento de intercambio más bajo que el tipo serpentín y placas
- Acumuladores con costo económico muy bajo
- Muy común en el mercado

#### SERPENTÍN

-Incorporado a un acumulador de hasta 1500 l -Baja superficie de contacto -Pérdida de carga normal (inferior a 3 mm.c.d.a.) -

- Rendimiento del intercambiador medio, superior al de doble pared pero inferior al de placas.
- Acumulador con buena relación calidad-precio.
- Pueden ser : helicoidales, estando los tubos arrollados en espiral y situado en la parte inferior del acumulador, o de haz tubular.

#### DOBLE ENVOLVENTE

- Elemento externo al acumulador.



- Superficie de intercambio muy elevada con dimensiones exteriores reducidas.
- Mayor pérdida de carga.
- Alto rendimiento.
- Necesidad de dos bombas de circulación, en circuito primario y secundario.

En los intercambiadores de doble envolvente, el circuito primario envuelve al secundario, de modo que se produce la transferencia energética a través de toda la superficie en contacto con el líquido acumulado.

## PLACAS

-Es un intercambiador externo (dos circuitos con placas metálicas)

- Mantenimiento sencillo, a ser desmontable y reemplazable
- Permite ampliar la potencia por medio del aumento del número de placas
- Buen rendimiento (alta eficacia de transmisión de calor)
- Material de composición de alta calidad y por tanto de buena duración
- Recomendado para grandes instalaciones (superiores a 1500 l)

Está formado por un paquete de placas metálicas, generalmente de acero inoxidable, con un grosor de 0.4 a 3 mm y cuyo número de placas se puede aumentar o disminuir según las necesidades.

Para instalaciones con acumulaciones elevadas, superiores a 3000 l, se pueden usar intercambiadores externos, de haz tubular o de placas de acero.

## 5.2.2. DISEÑO Y SELECCIÓN DE LOS INTERCAMBIADORES

Los parámetros que definen a un intercambiador son el rendimiento (relación entre la energía obtenida a la salida y la introducida en el intercambiador; no debe ser superior a 95%) y la eficacia de intercambio.

La incorporación de un intercambio de calor entre los captadores solares y el depósito acumulador supone una disminución del rendimiento del sistema, la cual no debe ser superior al 5% para que el sistema sea efectivo.

Un intercambiador de calor se caracteriza por cuatro factores:

- Potencia térmica
- Pérdida de carga
- Suciedad acumulada por el tiempo
- Rendimiento térmico o efectividad

### 1. Potencia térmica (P<sub>T</sub>) será:

$$P_T = C \cdot Ce \cdot (t_e - t_s)$$



Donde:

C: es el caudal del circuito; se toma un valor estándar de 50 l/h por m<sup>2</sup>

Ce: calor específico del fluido utilizado (te-ts): salto térmico del intercambiador

La potencia térmica del intercambiador tiene que ser un dato facilitado por el fabricante. El dimensionado del intercambiador será:

$$\text{Potencia térmica intercambiador} = \text{Potencia específica} \times m^2 \text{ de captación}$$

La potencia específica estará comprendida entre 450 y 500 kcal/h por m<sup>2</sup> de captación instalado.

1 **Pérdida de carga:** será la máxima admitida como criterio de diseño, que debe de ser inferior a 3 mm.c.d.a., tanto en el circuito primario como secundario.

2 **Suciedad acumulada** por el paso del tiempo: es un factor muy importante porque influye en su rendimiento y en su vida útil. El fabricante estará obligado a aportar un certificado de ensuciamiento máximo.

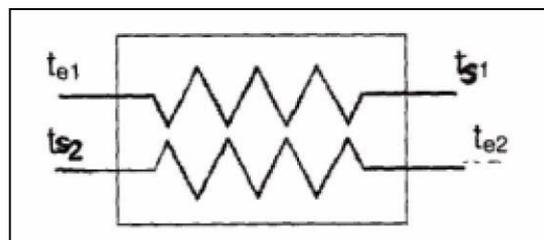
3 **Rendimiento térmico o efectividad** del intercambiador: es un parámetro que influye directamente en la determinación de la superficie de los captadores solares. Su dimensión describe el funcionamiento del sistema.

El comportamiento esquemático de un intercambiador es el que se indica en la **figura**

6.9.

donde:

Te1= temperatura de entrada del circuito primario Te2=  
temperatura de entrada del circuito secundario (agua fría) Ts1=  
temperatura de salida del circuito primario Ts2= temperatura de  
salida del circuito secundario (ACS)



**figura 6.9. esquema básico de un intercambiador**

La potencia intercambiada entre el circuito primario y el secundario, en condiciones ideales (ausencia de pérdidas) sería:

$$Q = C1 \cdot Ce1 \cdot (te1 - ts1) = C2 \cdot Ce2 \cdot (ts2 - te2)$$

Donde: C1: caudal primario en l/s



C2: caudal secundario en l/s  
Ce1: calor específico del fluido caloportador  
Ce2: calor específico del agua

La efectividad de un intercambiador (**Ei**) viene dada por la transferencia real de calor, que a su vez vendrá dada por las características constructivas del intercambiador y de las velocidades de capacidad calorífica y temperaturas de los líquidos circulantes.

*Ei = Cantidad de calor real transmitida / máxima transmisión posible de calor*

$$Ei = \frac{C1 \cdot Ce1 \cdot (te1 - ts1)}{C1 \cdot Ce1 \cdot (te1 - te2)} = \frac{C2 \cdot Ce2 \cdot (ts2 - te2)}{C2 \cdot Ce2 \cdot (te1 - te2)}$$

Un intercambiador cuya efectividad resulte inferior al 50%, no es aceptable en una instalación solar ya que impone reducciones de captación solar del orden del 12%. El valor de la eficiencia tendrá un valor del 70% para instalaciones de utilización preferente en verano o todo al año, y del 80% para las de utilización preferente en invierno.

- Características del circuito primario:

- El caudal C1 se determina según el caudal recomendado para el captador que se trate (50 ÷ 55 l/h m<sup>2</sup>).

- El salto térmico será:  $\Delta t1 = P_T / C1 \cdot Pe1 \cdot Ce1$

Donde: P<sub>T</sub>: potencia térmica  
Pe1: peso específico del fluido caloportador (primario)  
Ce1: calor específico del fluido caloportador (primario)

- El valor de la temperatura a la entrada (te1) tendrá un valor superior a 8°C a la prevista de trabajo para el acumulador.

- La temperatura de salida  $ts1 = te1 - \Delta t1$

- La pérdida de carga tendrá un valor máximo de 2 m.c.d.a.

- El fluido caloportador para circuitos abiertos o cerrados sin riesgo de heladas, será agua y en los cerrados, con riesgos de heladas, agua con anticongelante.

- Características del circuito secundario

- El caudal (C2) se determina de tal forma que la masa térmica del circuito secundaria sea igual o, como máximo, superior en un 20% a la masa térmica del fluido caloportador (primario).

- El salto térmico será:  $\Delta t2 = P_T / C2 \cdot Pe2 \cdot Ce2$



E.U.P. de Ingenieros Técnicos Industriales Memoria Descriptiva Proyecto Fin de Carrera Donde:  $P_T$  :

potencia térmica  $P_{e2}$ : peso específico del fluido en circuito secundario  $C_{e2}$ : calor específico del fluido en circuito secundario -La temperatura de entrada ( $t_{e2}$ ):  $t_{e2} = t_{e1} - \Delta t_1 / 2$  -La temperatura de salida ( $t_{s2}$ ):  $t_{s2} = t_{e2} - \Delta t_2$  -La pérdida de carga tendrá un valor máximo de 2,5 m.c.d.a. -El fluido circulante será agua

Para elegir el acumulador, debemos tener en cuenta la superficie total de captadores solares. Lo vemos en la siguiente tabla (*tabla 6.10*):

SUPERFICIE DE CAPTACIÓN	CANTIDAD	TIPO	CAPACIDAD (litros)
$\leq 25 \text{ m}^2$	1	Acumulador	1500÷1700
25 ÷ 50 $\text{m}^2$ (* )	2	Acumulador	1500÷1700
>50 $\text{m}^2$		Placas	

*Tabla 6.10. Elección del acumulador según el área de los captadores*

(\* ) Cuando la superficie total de captadores solares esté comprendida entre 25 y 50  $\text{m}^2$ , se incluirán dos acumuladores con intercambiador incorporado, conectados en serie o en paralelo.

Para el dimensionado del intercambiador, puede escogerse entre 450 y 500 kcal/h de intercambio por cada  $\text{m}^2$  de captador instalado. Siendo la potencia térmica de intercambio:

$$\text{Potencia térmica} = \text{Potencia específica} (450-500 \text{ kcal/h} \cdot \text{m}^2 \text{ de captación})$$

### 5.3. SISTEMA DE ACUMULACIÓN

El acumulador es el elemento de la instalación donde se almacena la energía térmica que producen los captadores solares en forma de fluido caliente.

Se trata de un depósito fabricado en acero al carbono o acero inoxidable, equipado con una serie de tomas laterales para conectar el suministro de agua caliente, un termómetro, un termostato y ánodos de sacrificio para la protección del acumulador por electrólisis. Llevan incorporado material aislante térmico para evitar las pérdidas de calor.

#### 5.3.1. TIPOS DE SISTEMAS DE ACUMULACIÓN

Los acumuladores se pueden clasificar según su utilización:



- Acumuladores sin sistema de intercambio: son sistemas muy básicos. Su utilización consiste en acumular agua caliente para su consumo inmediato o en un corto espacio de tiempo. Se usa para equipos compactos estandarizados con poco volumen de acumulación.
- Acumuladores de intercambio simple: son equipos idóneos para la producción de agua caliente y se emplean en instalaciones superiores a 1000 l. Suelen estar compuestos por serpentín o doble envolvente.
- Acumuladores de doble intercambio: son equipos que están formados por dos elementos de calor (dos serpentines) que están alimentados por dos fuentes de calor independientes. Se usan en casos de sistema que cuentan con apoyo de una fuente auxiliar.

### *SEGÚN EL MATERIAL EMPLEADO EN SU CONSTRUCCIÓN*

- Acumuladores de acero al carbono: son los acumuladores fabricados con acero al carbono. Su uso es sanitario y están protegidos interiormente con diferentes tipos de revestimientos para evitar la corrosión y ofrecer una calidad biológica del agua suministrada. Los revestimientos interiores suelen ser :

-De galvanizados en caliente por inmersión: es el sistema más económico, basado en sumergir el depósito en un baño electrolítico de sales de Zinc.

-Vitrificado simple o de doble capa: consiste en un revestimiento interno, formado por sustancias cerámicas y con temperaturas de 800°C para obtener la cristalización.

-Resina Epoxy: su aparición ha sido reciente. Tiene una alta calidad de comportamiento y se adapta a acumuladores de elevado volumen.

Hay que tener en cuenta que los revestimientos sean compatibles con la temperatura.

- Acumuladores de acero inoxidable: están formado por Hierro con 8% de Cromo y 2% de Molibdeno. Debemos de tener en cuenta que puede ser sensible al agua si tiene alto contenido en cloruros, lo que puede ocasionar corrosión o picaduras. También presenta inconvenientes con aguas de PH ácidos. Dichos acumuladores están limitados, para producir ACS, a los volúmenes de fabricación disponibles en el mercado, principalmente por el coste económico. No obstante, se pueden encontrar fácilmente con volúmenes desde 50-60 l hasta 800-1000 l de capacidad.

### *SEGÚN LA POSICIÓN DE COLOCACIÓN*

- Acumuladores horizontales: se utilizan para equipos compactos por termosifón, ya que el acumulador forma parte integrada del equipo compacto. No son usados normalmente, exceptuando si hay necesidades de obra o falta de espacio físico. La ventaja más importante es que en esta posición no se produce la estratificación, por lo que la temperatura es bastante uniforme dentro del depósito.
- Acumuladores verticales: es la posición más habitual en las instalaciones solares térmicas, y la más recomendable, ya que favorece la estratificación del agua estando el agua al agua

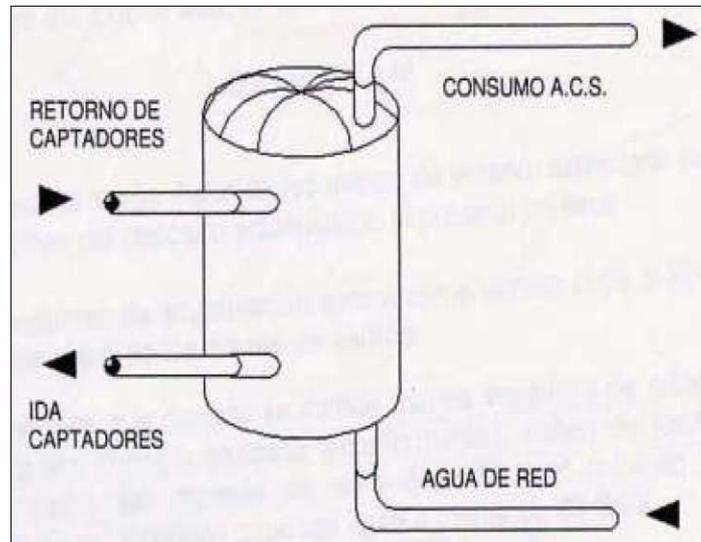


más caliente en la parte superior, y la más fría en la parte inferior del depósito. Esto permite dar un suministro instantáneo de agua sin que todo el depósito se encuentre a la misma temperatura.

- Coincidencia entre los periodos de captación y el de consumo, en este caso el volumen específico del acumulador será de 35 a 50 litros por m<sup>2</sup> de captador solar.
- Desfases entre captación solar y consumo no superiores a las 24 horas; el volumen específico del acumulador será de 50 a 75 litros por m<sup>2</sup> de captador solar.
- Desfases entre captación y consumos habituales o periódicos, estimados superiores a 24 horas e inferiores a 72 horas (calentamiento de agua en procesos industriales), en este caso el volumen específico del acumulador será de 75 a 150 litros por m<sup>2</sup> de captador solar.

### 5.3.2. VOLÚMEN DE ACUMULACIÓN PARA EL CONSUMO DE ACS

El dimensionado del depósito de acumulación energética, constituye un factor decisivo en el diseño de un equipo solar. Su volumen será fundamental para el desfase entre el periodo de captación – almacenamiento y el consumo.



*figura 6.11. Distribución de un acumulador*

Dicho volumen se determina considerando los factores de servicio, que pueden ser:

- Desfases entre captación y consumo superiores a 72 horas (calentamiento de ACS en segunda vivienda para fines de semana), en este caso el volumen óptimo del acumulador se determinará por medio de un balance de pérdidas y ganancias energéticas, teniendo en cuenta además la optimización del aislamiento del mismo.

El aislamiento de los acumuladores se determinará tomando como base los siguientes supuestos:

- Temperatura del ACS almacenada = 60°C
- Temperatura del ambiente exterior inmediato al acumulador = 10°C



- Disminución máxima diaria de la temperatura del agua acumulada = 3°C

Este nivel de aislamiento puede conseguirse con un espesor de 50 mm de fibra de vidrio, aunque son recomendables espesores entre 80 y 150 mm. Para depósitos de hasta 500 litros, el aislamiento podrá ser de poliuretano expandido protegido en superficie con chapa de acero galvanizado.

Además, el RITE, en su apartado ITE 10.1.3.2., determina que en las instalaciones cuyo consumo sea constante a lo largo de todo el año, el volumen del depósito de acumulación cumplirá la condición:

$$0.8 \cdot M \leq V \leq M$$

siendo:

M = el consumo medio diario de los meses de verano, expresados en litros/ día

V = el volumen del depósito acumulador, expresado en litros

Como norma general, el volumen de acumulación debe de estar comprendido entre el 80 y el 100% del consumo medio diario de los meses de verano.

El volumen de acumulación podrá fraccionarse en dos o más depósitos, que se conectarán preferentemente en serie. En el caso de que se conecten en paralelo, se harán por el sistema de retorno invertido para equilibrar la pérdida de carga en las conexiones.

## 5.4. CIRCUITO HIDRÁULICO

El circuito hidráulico es el encargado de dar un buen funcionamiento al sistema solar térmico, de su diseño e instalación depende el rendimiento del sistema.

Dicho circuito está formado por tuberías, bomba de circulación, fluido colaportador, vaso de expansión, purgador desairador, manómetros, termómetros y termostatos, válvulas de paso, de seguridad, antirretorno, de tres vías y grifo de vaciado.

### 5.4.1. TUBERÍAS

Son conducciones hidráulicas por donde pasa el fluido caloportador y el agua caliente sanitaria (ACS).

En su diseño hay que tener en cuenta:

- **Material empleado** en las conducciones o tuberías, que podrá ser: cobre, acero galvanizado, acero negro o plásticos.
  - El cobre es el material más aconsejable ya que posee unas altas prestaciones en cuanto a resistencia de corrosión, maleabilidad, ductilidad e inocuidad, además de ser muy competitivo económicamente. Las tuberías de cobre serán tubos estirados en frío y uniones por capilaridad según UNE 37153.
  - El acero galvanizado no puede usarse como material en el circuito primario, pues se deteriora su protección a temperaturas superiores a los 65 °C.



- - El acero negro sólo se recomienda en instalaciones que requieran grandes caudales, pero su uso está prohibido en la conducción de agua caliente sanitaria por producirse oxidaciones en su estructura que perjudican la potabilidad del agua. Por tanto, sólo se puede usar en el circuito primario.
  - Las conducciones de plástico son una alternativa al cobre, puesto que poseen propiedades muy similares y precios muy ajustados. Actualmente existen tuberías de plástico que pueden alcanzar temperaturas superiores a los 100°C, aunque corren el peligro de deteriorarse por la exposición directa a los rayos solares.
  
- **Caudal**, los valores idóneos recomendados oscilan entre 40 y 70 litros por hora y por m<sup>2</sup>, aunque varía en función de la aplicación a la que estemos sirviendo.
- **Longitud**, debe ser lo más corta posible. De este modo conseguiremos tener menos pérdida de carga debida al rozamiento del fluido con la tubería, y además disminuirémos las pérdidas de calor. La pérdida de carga lineal será menor de 40 mm de columna de agua por metro, en caso contrario habría que elegir el diámetro inmediatamente superior. Las máximas pérdidas admitidas para un correcto funcionamiento en el circuito primario y secundario de la instalación no serán superiores a 7 m.c.d.a. (0.7 bar).
- **Seguridad**, es importante instalar unos elementos que permitan la correcta expansión del fluido y evite las sobretensiones peligrosas. También es muy importante que las tuberías no tengan aire, ya que perjudica la transmisión de calor. El modo de evitar estos dos factores es mediante purgadores, válvulas de seguridad...
- **Facilidad para el montaje**, es muy importante que el circuito discurra por zonas de fácil acceso. Con un buen diseño se facilita al instalador o mantenedor el montaje de los componentes del sistema solar térmico.

Tanto en el circuito primario como en el secundario, se realizará el montaje con la máxima limpieza para evitar la formación de la legionela, bacteria que se desarrolla en los circuitos de ACS, cuya temperatura de desarrollo se sitúa en los 37°C, tomándose las máximas precauciones posibles a temperaturas comprendidas entre los 20 y 45 °C. Para el mantenimiento de la instalación se cumplirá la norma UNE 100.031 sobre prevención de legionela.

#### 5.4.2. AISLANTES

Los aislantes tienen como finalidad el disminuir las posibles pérdidas caloríficas en los colectores, acumulador y conducciones. Los valores más importantes para su adecuada elección son:

- Coeficiente de conductividad
- Gama de temperaturas
- Resistencia
- Fácil colocación
- Coste



El espesor del aislamiento debe cumplir las normas indicadas en el RITE, en la ITE 03.13, apéndice 03.1.

### 5.4.3. BOMBA DE CIRCULACIÓN

Es la responsable de vencer la resistencia que opone el fluido a su paso por el circuito.

Sus características serán determinadas en función de:

- El fluido a impulsar
- La pérdida de carga en el circuito hidráulico
- La composición del fluido circulante

El caudal del circuito de los captadores solares vendrá en función de las conexiones entre estos (paralelo, serie-paralelo), siendo el recomendado entre 50 y 55 l/h.m<sup>2</sup>, y 60 l/h.m<sup>2</sup> para un líquido compuesto por 70% agua y 30% glicol.

La bomba circuladora elegida debe suministrar la presión que necesite el circuito, con un margen suficiente, en torno al 20%, para prevenir futuras pérdidas de rendimiento.

Entre la aspiración e impulsión del circulador, se dispondrá de un manómetro que permitirá medir la pérdida de carga en el circuito.

En instalaciones de un tamaño considerable, es recomendable la instalación de otra bomba idéntica, en paralelo y en posición de reposo, para evitar la parada de la instalación por avería o mal funcionamiento de la bomba.

### 5.4.4. FLUIDO CALOPORTADOR

Es el encargado de pasar a través de los colectores y absorber la energía térmica de éstos, para transferirla luego del intercambiador al circuito secundario. Podemos usar cuatro tipos de fluidos:

- **Agua:** se puede usar en circuito abierto de forma que el agua sanitaria pase directamente por los colectores. Esta forma es poco rentable y se hace desaconsejable. También se puede usar en circuito cerrado, pero puede presentar problemas de congelación, en cuyo caso debemos recurrir al uso de anticongelantes.
- **Agua con adicción de anticongelante:** Es la mejor solución, aunque hay que tener en cuenta ciertas características de la mezcla 70% agua y 30% anticongelante, como es su toxicidad, aumento de viscosidad, aumento de dilatación, disminución de la estabilidad, disminución del calor específico o aumento de su temperatura de ebullición. El anticongelante suele ser propilenglicol, etilenglicol o glicol. Tendremos que tener en cuenta las diferencias entre sus propiedades físicas (viscosidad, dilatación, estabilidad, calor específico o temperatura de ebullición. Debido a la toxicidad del anticongelante, debemos asegurarnos de la imposibilidad de mezcla entre el fluido caloportador y el agua de consumo. La forma más usual de conseguir este propósito es haciendo que la presión del circuito primario sea inferior a la del secundario, de modo que un contacto entre ambos fluidos por rotura en el punto del

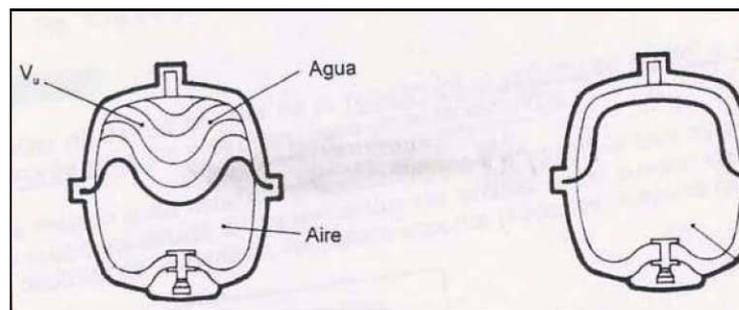


intercambio, provoque el paso del agua hacia el circuito primario, pero no al revés. Además, la válvula de seguridad del circuito primario deberá estar tarada a una presión inferior a la del agua de red para proteger a los colectores de la elevada presión del agua de red.

- **Fluidos orgánicos:** Hay que tener las mismas precauciones citadas anteriormente, en cuanto a toxicidad, viscosidad y dilatación. Estos fluidos presentan riesgo de incendio al ser combustibles, aunque son estables a altas temperaturas.
- **Aceites de silicona:** Aunque son una buena elección, por sus óptimas características técnicas, no lo son por su elevado coste.

#### 5.4.5. VASO DE EXPANSIÓN

Su finalidad es la de absorber las dilataciones del fluido caloportador, por lo que todas las instalaciones de agua caliente sanitaria deben equiparse con depósitos de expansión cerrados. Dichos vasos funcionan por compresión de una cámara de gas (aire), contenida en el interior del mismo, separado del agua de la instalación por una membrana sensible; de este modo el agua contenida en la instalación no tiene ningún punto de contacto con la atmósfera. Al aumentar el agua de la instalación por el efecto del aumento de la temperatura, el volumen del agua se reduce y el depósito devuelve el agua a la instalación.



*figura 6.12. funcionamiento en caliente (izq) y en frío (derecha) expansión cerrado*

Las ventajas de los vasos de expansión cerrados son:

- Fácil montaje
- No absorben oxígeno
- Elimina la necesidad de colocar conductos de seguridad
- Se eliminan las pérdidas de agua por evaporación

El cálculo de los vasos de expansión se calcula según RITE, ITE 02.8.4 y en las normas UNE1000157 y UNE100155.

#### 5.4.6. PURGADOR DESAIRADOR

Tiene como función evacuar los gases contenidos en el fluido caloportador, que pueden dar lugar a la formación de bolsas que impiden la correcta circulación del fluido, además de provocar



corrosiones. Para un funcionamiento correcto, hay que colocar el purgador en el punto más alto de la instalación.



*imagen 6.13.Purgador desairador*

El desairador asegura que los gases disueltos en el líquido sean evacuados hacia el exterior por el purgador. Para lograrlo hay que hacer que la fuerza centrífuga lance el agua hacia las paredes, mientras que el aire, al ser más ligero, se acumula en el centro y asciende a través del mismo, siendo evacuado por el purgador que está situado en la parte superior.

#### 5.4.7. MANÓMETROS

Son los encargados de darnos el valor de la presión en el circuito, en  $\text{kg/cm}^2$  o en metros columna de agua (hidrómetros).

La escala de los mismos suele estar entre 0 y  $6 \text{ kg/cm}^2$ , aunque no debe llegarse a tales presiones debido a que elementos del circuito, como colectores o depósitos de expansión, no soportan presiones mayores a los  $4 \text{ kg/cm}^2$ .

#### 5.4.8. TERMÓMETROS Y TERMOSTATOS

Los termómetros son los encargados de medir la temperatura del fluido y los termostatos son los encargados de transformar dicha lectura de temperatura en una señal eléctrica que ponga en funcionamiento un determinado mecanismo. Ambos se pueden clasificar de dos tipos:

- De contacto: se colocan en contacto con la tubería a través de una abrazadera
- De inmersión: van introducidos en una vaina que se coloca en el interior de la tubería, con lo que su fiabilidad es mucho mayor al ser directo el contacto con el fluido.

#### 5.4.9. VÁLVULAS

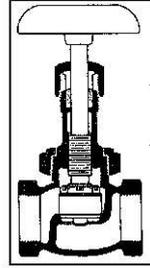
Son los encargados de interrumpir total o parcialmente el paso del fluido a través de las conducciones. Los diferentes tipos de las válvulas son:

- **Válvula de asiento:** posee como elemento obturador un disco que se cierra sobre su asiento. Producen pérdidas de carga importantes. Se usan para regular el caudal. (*figura 6.14.*)

- **Válvula de mariposa:** tienen un disco que hace de obturador y provoca una pequeña pérdida de carga.

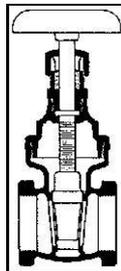
- **Válvulas de bola o esfera:** se basan en un elemento obturador formado por una bola de acero inoxidable, que posee un orificio del mismo diámetro que la tubería en la que se coloca, por lo que la pérdida de carga es mínima cuando estén abiertas.

- **Válvulas de seguridad:** tienen como función limitar la presión en el circuito y así proteger los componentes del mismo. En nuestro caso, los puntos más delicados son el campo de colectores y el vaso de expansión, por lo que se debe marcar a una presión inferior a la máxima soportada por los citados elementos. Su colocación está obligada por la legislación para todos aquellos circuitos sometidos a presión y a variaciones de temperatura.



*imagen 6.14. Válvula*

*imagen 6.14. Válvula de asiento*

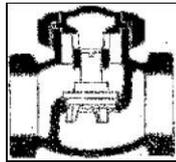


*imagen 6.15. Válvula de compuerta*

- **Válvula de compuerta:** posee como elemento obturador formado por una cuña. Se usa como órgano de cierre, nunca como elemento de regulación.

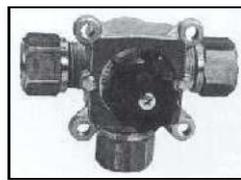


- **Válvulas antirretorno o retención:** son las encargadas de permitir el paso del fluido en un sentido e impedirlo en el contrario.



*imagen 6.19. Válvula de retención*

- **Válvulas de tres vías:** se usan para regular la circulación por distintas conducciones según el momento. Suelen estar controladas por una señal eléctrica procedente del regulador diferencial o de un termostato.
- **Grifo de vaciado:** se usa cuando es necesario vaciar el circuito, ya sea el primario o el secundario, por labores de mantenimiento o reposición de algún elemento del circuito. Se debe colocar en la parte inferior de los circuitos.



*imimagen 6.20. Válvula de trías*



*imimagen 6.21. Grifo de vado*



#### 5.4.10. TERMOSTATO DIFERENCIAL

Es el elemento que se encarga de hacer circular la energía térmica que generan los captadores solares hacia el acumulador, pero necesita un equipo de control que dé órdenes de funcionamiento o de parada, según sean las necesidades del acumulador.

Este elemento de control se llama Termostato diferencial (TD) o sistema de regulación y control (R).

##### FUNCIONAMIENTO

Se basa en comparar dos medidas de temperatura con dos sondas, situadas una a la salida de los captadores solares y otra en la parte baja del depósito de acumulación de ACS. Las sondas son normalmente resistencias variables semiconductoras, es decir, varían la resistencia con el valor inverso de la temperatura.

El TD va comparando las temperaturas, cuando la diferencia es igual o superior a un valor prefijado, el TD da órdenes para que la bomba se ponga en funcionamiento. La parada de la bomba se produciría cuando la diferencia de medidas se sitúe en un valor igual o menor que el que tiene prefijado el TD para provocar la parada.

##### CONFIGURACIÓN DEL REGULADOR (TD)

Las funciones fundamentales de un TD son las siguientes:

- Ser la central de cómputo y almacenamiento de información.
- Generar y enviar las órdenes a los elementos eléctricos externos.
- Visualizar en pantalla la temperatura de los puntos vitales de la instalación.
- Realizar el control diferencial de las temperaturas de los colectores, y de los depósitos.

El regulador TD viene con tres sondas térmicas incluidas, dos de ellas se utilizarán para medir la temperatura en otro punto cualquiera.

##### CONFIGURACIÓN INTERNA DEL TD

La configuración interna del aparato consta de dos circuitos diferenciados:

- El circuito electrónico de *control*, es el encargado de procesar los datos de las sondas, contrastarlas y decidir el tipo de orden en función de los parámetros prefijados.
- Una vez el circuito de control ha procesado los datos, emite una orden que va al circuito de potencia (formado por un pequeño relé de 10 amperios monofásico), que es el que actúa sobre la bomba.

Aunque el circuito de potencia del TD puede hacer funcionar un relé de 10 amperios, es aconsejable utilizar contactores (interruptores automáticos); así podremos maniobrar la bomba de circulación sin peligro de sobrecalentamiento para el TD.



## UBICACIÓN DE LAS SONDAS DE TEMPERATURA

- Sonda de colectores: es la encargada de medir la temperatura del agua a la salida del captador solar o batería de captadores solares, esta medida es enviada al TD. Es necesario que la sonda esté situada dentro del tubo de salida del captador.
- Sonda del depósito: deberán estar situadas en la parte baja del depósito, ya que siempre estará más fría que la media o alta del mismo.

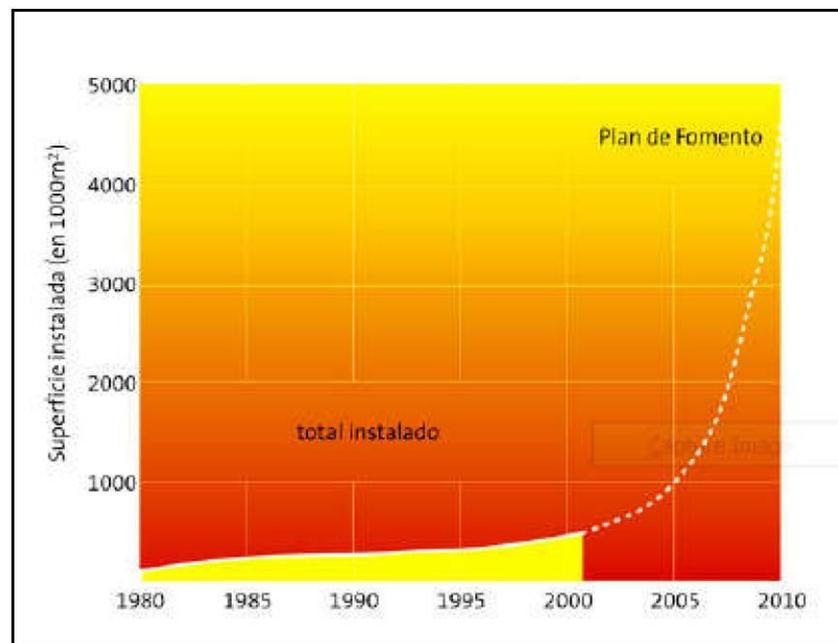


## **6. PERSPECTIVAS Y PROYECTOS DE LAS INSTALACIONES SOLARES TÉRMICAS**

La energía solar térmica existe en nuestro planeta desde principio de los tiempos, sirviéndose la humanidad siempre de una forma o de otra, adecuándola a sus necesidades y aprovechándose de la tecnología que en cada momento de su historia ha sido capaz de utilizar.

Los informes de la Comunidad Económica europea ponen de manifiesto las grandes posibilidades de crecimiento del sector.

Según el Plan de Fomento de Energías Renovables del gobierno español (*gráfico 7.1.*), el mercado solar térmico en España debería seguir el ritmo que se indica en la gráfica. Eso llevaría a que el volumen total de mercado en el año 2010 sería de casi mil millones de euros.



*gráfico 7.1.. Evolución del mercado solar térmico*

Las instalaciones de energía solar dan lugar a empresas y mano de obra locales con gran continuidad en el tiempo. Este sector energético requiere fabricación, diseño, instalación y mantenimiento. Con datos del programa PROSOL de Andalucía 150 m de instalación suponen un puesto de trabajo equivalente.

La principal razón para que la sociedad adopte estos sistemas y cambie su opinión hacia esta tecnología limpia y ecológica es poder lograr una mayor sensibilización por el medio ambiente, originado por los vertidos de gases a la atmósfera que genera el efecto invernadero, contaminación...

Entre las propuestas del Ministerio de Industria y Energía en el Programa Nacional de Energía en la energía solar térmica, relaciono las siguientes:



- Promover la investigación y el desarrollo para la mejora del diseño, procesos de fabricación, monitorización, eficiencia de los captadores solares de baja temperatura, componentes y su adecuación e integración en la edificación, con una orientación de los costes específicos.
- Investigación y desarrollo de nuevos captadores solares de media temperatura
- Desarrollo de nuevas instalaciones de climatización y refrigeración solar
- Aplicaciones de carácter industrial orientadas hacia los procesos térmicos industriales: producción de agua caliente, vapor, frío industrial, desalación, secado...

Dentro de las energías renovables debidas al sol, los sistemas de captación solar térmica por baja temperatura son los que más se están imponiendo, además son los que más rentabilidad tienen debido a que el rendimiento es prácticamente el doble que el de los sistemas solares fotovoltaicos:

- Placa solar fotovoltaica rendimiento alrededor del 30%
- Placa solar térmica rendimiento alrededor del 60%

Las perspectivas de la energía solar térmica son satisfactorias por sus resultados y por el grado de implicación que están comenzando a tener organismos oficiales como Ayuntamientos, Comunidades Autónomas...

Pero aún quedan muchos factores a investigar, como son los rendimientos de los captadores solares, las mejoras de intercambiadores y acumuladores, y sobretodo, queda pendiente abaratar costes para aumentar la rentabilidad. También hay que potenciar sistemas que todavía están en estudio de mejora como:

- Calefacción por suelo radiante
- Calefacción solar para invernaderos
- Energía solar para refrigeración, mediante máquinas de absorción



## **7. NORMATIVA DE APLICACIÓN**

En general, a las instalaciones recogidas bajo este documento le son de aplicación:

- ❖ Reglamento de Instalaciones Térmicas en los edificios (RITE).
- ❖ Las Instrucciones Técnicas Complementarias (ITE) del RITE.
- ❖ Documento básico HE: Ahorro de Energía del CTE.
- ❖ Norma EN 12975-2, ensayo de captadores solares.
- ❖ UNE-EN 308. Intercambiadores de calor. Procedimientos para determinar las prestaciones de los recuperadores de calor aire/aire y aire/gases de combustión.
- ❖ UNE-EN 1717. Protección contra la contaminación de agua potable en las instalaciones de agua y requisitos generales de los dispositivos para evitar la contaminación por reflujo.
- ❖ UNE-EN ISO 7726 Ergonomía de los ambientes térmicos. Instrumentos de medida de las magnitudes físicas.
- ❖ UNE-EN ISO 7730. Ambientes térmicos moderados. Determinación de los índices PMV y PPD y especificaciones de las condiciones para el bienestar térmico (en revisión).
- ❖ UNE-EN ISO 8990. Determinación de las propiedades de transmisión térmica en régimen estacionario. Métodos de la caja caliente guardada y calibrada.
- ❖ ISO 9920. Ergonomics of the thermal environment. Estimation of the thermal insulation and evaporative resistance of a clothing ensemble. (Proyecto de adopción a nivel europeo).
- ❖ UNE-EN ISO 12241 Aislamiento térmico para equipos de edificaciones e instalaciones industriales. Método de cálculo.
- ❖ UNE-EN 60034. Máquinas eléctricas rotativas. Parte 2: Métodos para la determinación de las pérdidas y del rendimiento de las máquinas eléctricas rotativas a partir de los ensayos (excepto las máquinas para vehículos de tracción).
- ❖ UNE 60601. Instalación de calderas de gas para calefacción y/o agua caliente de consumo calorífico nominal (potencia nominal) superior a 70 kW (en revisión).
- ❖ UNE 100030 Guía para la prevención y control de la proliferación y diseminación de legionela en instalaciones.
- ❖ UNE 112076. Prevención de la corrosión en circuitos de agua.



- ◆ UNE 123001. Chimeneas. Cálculo y diseño.
- ◆ UNE-94.101.86. Colectores Solares térmicos.
- ◆ ISO-9806-1. Ensayo de Captadores Solares Térmicos.
- ◆ UNE-EN 12150-1. Vidrio para la Edificación.
- ◆ UNE 100157. Diseño de Sistemas de Expansión.
- ◆ UNE 100155. Cálculo de Vasos de Expansión.
- ◆ UNE 100050. Prevención de la corrosión en circuitos de agua.

#### ÁMBITO AUTONÓMICO

- ◆ Plan Energético Extremadura 2010



## **8. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

◆ **DTIE 8.03. Instalaciones Solares Térmicas para la producción de Agua Caliente Sanitaria.**

**-Autores: Valeriano Ruiz Hernández Germán  
López Lara Juan Carlos Martínez Escribano**

**-Patrocinador: Saunier Duval  
-Edita: Atecyr**

◆ **Manual para la Implantación de Instalaciones de Energía Solar Térmica en Viviendas. -Autores: Rafael Lucas Ruiz**

**Rafael Yacer Pantió -Junta de Andalucía.  
Programa PROSOL**

◆ **Energía Solar Térmica para Instaladores.**

**-Autor: M. Carlos Tobajas Vázquez -Ediciones  
Seysa**

◆ **Instalaciones de Fontanería, Saneamiento y Calefacción.**

**-Autor: Franco Martín Sánchez -Universidad Politécnica de  
Madrid.**

◆ **Instrumentación Industrial**

**-Autor: Antonio Creus -Boixareu  
Editores**