

# **DOCUMENTO 1**

## **MEMORIA DESCRIPTIVA**

## 1. MEMORIA DESCRIPTIVA

- 1.1 Descripción
- 1.2 Normativa de aplicación
- 1.3 Configuración básica de la instalación
- 1.4 Componentes de la instalación
  - 1.4.1 Captadores solares
    - 1.4.1.1 Características de los captadores
    - 1.4.1.2 Distribución de los captadores
    - 1.4.1.3 Conexionado de los captadores
    - 1.4.1.4 Estructura soporte de los captadores
  - 1.4.2 Acumulador
  - 1.4.3 Interacumulador
  - 1.4.4 Intercambiador de calor
  - 1.4.5 Sistema de disipación
  - 1.4.6 Circuitos hidráulicos
    - 1.4.6.1 Circuito primario
    - 1.4.6.2 Circuito Secundario
    - 1.4.6.3 Circuito de consumo
    - 1.4.6.4 Bombas de circulación
    - 1.4.6.5 Vaso de expansión
    - 1.4.6.6 Purgadores
    - 1.4.6.7 Válvulas
    - 1.4.6.8 Sistema de llenado
    - 1.4.6.9 Sistema de control
  - 1.4.7 Sistema de medida
  - 1.4.8 Sistema de energía convencional auxiliar
  - 1.4.9 Sistema de caldera

## 1.1 Descripción

El proyecto consiste en el diseño y definición de una instalación de preparación de ACS y calefacción mediante suelo radiante con tecnología de Energía Solar Térmica de Baja Temperatura para un edificio de oficinas de nueva construcción situado en CORIA DEL RIO (Sevilla).

Se han estudiado las necesidades térmicas de ACS y calefacción en atención a las características constructivas y funcionales del edificio. Conocida la demanda energética esperada, se han analizado los datos climáticos propios del emplazamiento de la instalación, con todos estos datos, se ha llevado a cabo un estudio energético del sistema.

La oficina se va a construir en una sola planta, con una cubierta invertida no transitable. La fachada principal tiene una orientación próxima al Norte. Hay objetos que puedan proyectar sombra sobre la superficie de los colectores.

Con los resultados arrojados por esta evaluación energética se ha propuesto un campo de captación compuesto por colectores de placa plana. El modelo de colector ha sido seleccionado como resultado de un estudio de las propuestas de fabricantes nacionales e internacionales, atendiendo a los parámetros fundamentales que definen al elemento colector. Se ha estudiado asimismo la interconexión, inclinación, y orientación óptima de la superficie de captación.

Además de la definición del campo de colectores, se ha diseñado el resto de subsistemas que componen la instalación: almacenamiento (volumen y temperatura óptima de acumulación), transferencia térmica (intercambiador de placas externo, fluido caloportador), trazado hidráulico (circuito equilibrado y control de pérdidas de carga), regulación y control, y sistema auxiliar o convencional.

Se detallan los mecanismos de acción preventiva frente a efectos perjudiciales para la instalación, tales como riesgo de heladas o sobrecalentamientos, así como frente a efectos perjudiciales para los usuarios, como riesgos de aparición de la bacteria de la Legionela. Se ha considerado el impacto energético de estas medidas, necesario en cualquier caso.

El proyecto contiene un estudio básico de seguridad y salud, con las prescripciones y recomendaciones necesarias para la correcta ejecución de las obras.

La viabilidad técnica del presente proyecto se ha cuidado en la definición de cada componente individual y en la integración del conjunto, con lo que dicha viabilidad queda garantizada.

Se ha prestado especial atención a la durabilidad de los

componentes individuales y de la instalación completa. A tal efecto se ha estudiado una amplia muestra de fabricantes, suministradores y productos, presupuestando el proyecto finalmente con los más indicados en cada caso.

## 1.2 Normativa aplicable

Para la realización de este proyecto tendremos que tener en cuenta las siguientes normativas:

Directiva 2002/91/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 16 de diciembre de 2002, relativa a la eficiencia energética de los edificios.

Real Decreto 1027/2007, de 20 de julio, por el que se aprueba el Reglamento de Instalaciones Térmicas en los Edificios (RITE).

Real Decreto 1751/1998, de 31 de julio, por el que se aprueba el RITE y sus ITES y se crea la Comisión Asesora para las Instalaciones Térmicas de los Edificios.

Real Decreto 1218/2002, de 22 de noviembre, por el que se modifica el RD 1751/1998, de 31 de julio, por el que se aprobó el RITE.

Real Decreto 314/2006 Código Técnico de la Edificación, documento básico DB HE, Ahorro de energía, Sección HE 4, Contribución solar mínima de agua caliente sanitaria.

Real Decreto 314/2006 Código Técnico de la Edificación, documento básico DB HS, Salubridad.

Reglamento electrotécnico de baja tensión (REBT), de 2002 y sus instrucciones técnicas complementarias (ITC.BT).

Real Decreto 47/2007, de 19 de enero, por el que se aprueba el Procedimiento básico para la certificación de eficiencia energética de edificios de nueva construcción.

Ordenanza municipal de energía de Sevilla.

Reglamento de Recipientes a Presión (RAP).

Ordenanzas de Seguridad e Higiene en el Trabajo (OSHT).

Ley de Protección del Ambiente Atmosférico (LPAA).

Ley número 88/67 de 8 de noviembre: Sistema Internacional de Unidades de Medida SI.

Orden de 28 de julio de 1980, por la que se aprueban las normas e instrucciones técnicas complementarias para la homologación de los paneles solares.

Real Decreto 865/2003, de 4 de julio, por el que se establecen los criterios higiénico-sanitarios para la prevención y control de la

legionelosis.

Orden ITC/71/2007, de 22-01-2007, por la que se modifica el anexo de la Orden 28-07-1980 por la que se aprueban las normas e instrucciones técnicas complementarias para la homologación de paneles solares.

Orden ITC/2761/2008, de 26 de septiembre, por la que se amplía el plazo establecido en la disposición transitoria segunda de la Orden ITC/71/2007, de 22 de enero, por la que se modifica el anexo de la Orden de 28 de julio de 1980 por la que se aprueban las normas e instrucciones técnicas complementarias para la homologación de paneles solares.

### **1.3. INSTALACIÓN SUELO RADIANTE**

#### **1.3.1 INTRODUCCIÓN**

El calor se transmite por tres procedimientos diferentes: conducción, convección y radiación. Según el proceso, intervendrán los tres fenómenos en distintas proporciones, uno o dos de ellos, pero en términos generales y en el terreno de la climatización de edificaciones se puede afirmar que siempre intervienen los tres mecanismos en distinta proporción.

Si en lugar de transmisión, se habla de intercambio de calor, se está introduciendo los mecanismos por los cuales se producen cambios de estado. A efectos de climatización, conviene considerar la evaporación, o el fenómeno inverso de la condensación, como un cuarto mecanismo (fenómeno) de intercambio térmico.

La conducción y la convección necesitan medio material para producirse; a través de los sólidos interviene la conducción, y en los fluidos la convección y la conducción.

La radiación se produce aún en ausencia de medio material, es decir, incluso en el vacío.

Para que se produzca una cesión o absorción de calor por evaporación o condensación es necesario que una sustancia cambie su estado de líquido a gas, de sólido a líquido o viceversa.

#### **1.3.2. CONDUCCIÓN**

Aunque también se produce en los fluidos, la conducción se da de forma pura a través de los sólidos, y entre sólidos que se encuentran en contacto entre sí.

El calor transmitido por conducción en una dirección  $x$  del espacio por unidad de tiempo y de superficie se expresa del siguiente modo:

$$q_{cd} = \lambda/e \times (T_a - T_b)$$

En la que:

$q_{cd}$ : flujo de calor por conducción en Kcal/hm<sup>2</sup> o W/m<sup>2</sup>.

$\lambda$ : coeficiente de conductividad térmica del material en Kcal/hm °C o W/m °C.

$e$ : espesor  $m$  del material en la dirección  $x$ .

$T_a$  y  $T_b$ : temperatura en la superficie de las caras  $a$  y  $b$  en grados K o °C.

Esto da como resultado que la potencia con la que una superficie cede o absorbe calor por conducción, es mayor cuanto mayor sea la superficie, cuanto mayor sea la diferencia de temperatura entre las superficies  $a$  y  $b$ , y cuanto mejor conductor sea el material que las conforma.

Por el contrario, a mayor espesor o distancia entre las superficies que intercambian calor, o lo que es lo mismo, el espesor de la capa a través de la que circula el calor, el calor intercambiado será menor por unidad de tiempo entre las superficies  $a$  y  $b$ .

En la figura 6.1, se muestra un esquema del funcionamiento del fenómeno de la conducción.

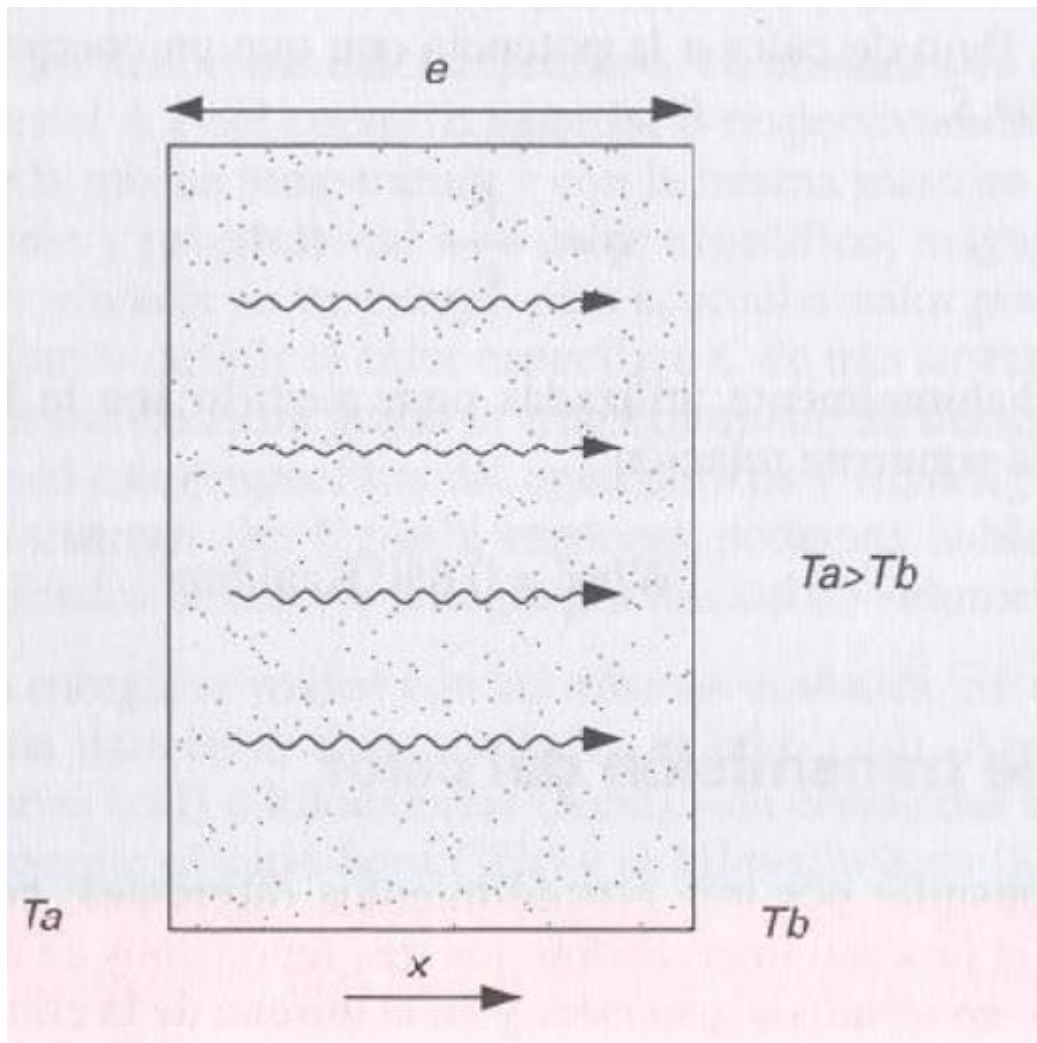


Figura 6.1: Conducción a través de un sólido. [6] ´

Viendo la figura 6.2, se observa que la transmisión de calor a través de una pared, depende de la conductividad de los materiales de las capas que la componen. El flujo  $x$  que atraviesa la pared en un momento dado es el mismo que atraviesa cualquier plano paralelo a las superficies de la pared en ese mismo momento.

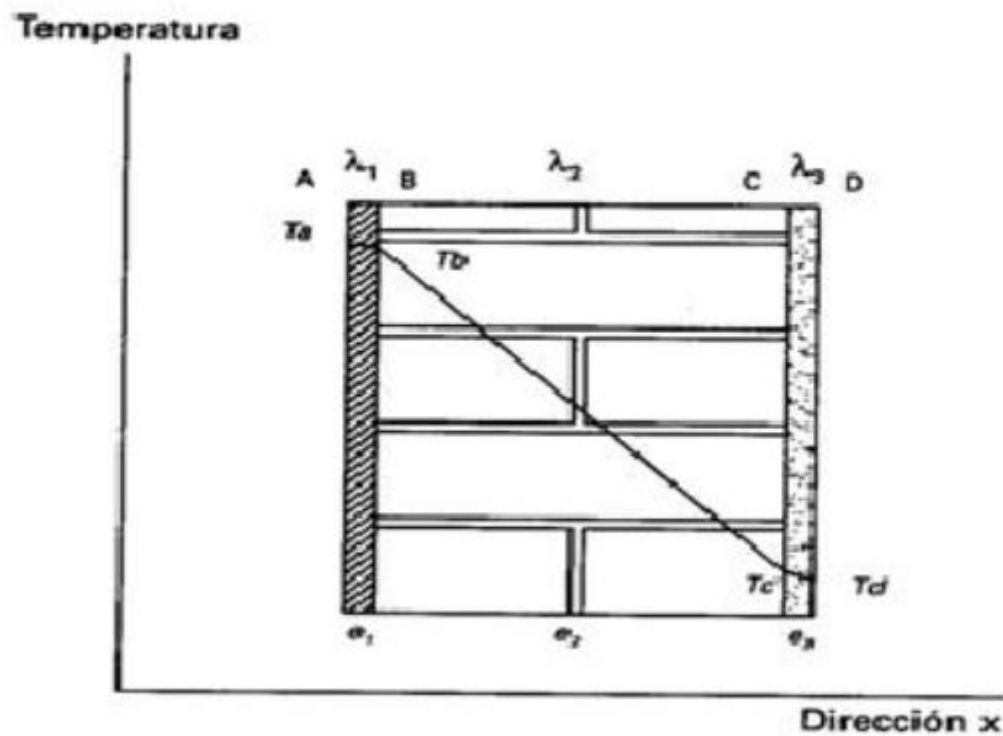


Figura 6.2: Gradiente de temperatura a través de un cerramiento [6]

La resistencia de una pared al paso del calor es la suma de las resistencias de cada una de las capas o materiales que la componen.

$$K = \frac{\lambda}{e} = \frac{l}{\frac{e}{\lambda}} = \frac{l}{\sum \frac{e_i}{\lambda_i}}$$

Expresión que representa a la conductancia térmica K de un cerramiento compuesto por varias capas de material, sus unidades son Kcal/hm² °C, o W/m² °C.

El cuerpo humano cede calor al ambiente por conducción al aire y al pavimento. Siendo el aire mal conductor del calor, son las plantas de los pies las que producen a veces sensación desagradable al estar en contacto con el suelo frío (solados pétreos en invierno) o caliente (pavimentos de la calle en el verano de regiones meridionales).



### 1.3.3. CONVECCIÓN

La condición necesaria para que exista transferencia térmica por convección es la existencia de un fluido. La densidad de un fluido, su peso por unidad de volumen, depende de la temperatura a la que se encuentre.

Cuando dos zonas de un fluido se encuentran a distinta temperatura, la que está a más temperatura es menos densa y asciende siendo desplazada por la zona más fría que es más densa. A estas corrientes se les llama convectivas o corrientes de convección, y se dice que transmiten o transportan el calor por convección.

El tipo de convección descrita es la convección natural, por el contrario, si el movimiento del fluido es provocado, por ejemplo por un ventilador, entonces la convección es forzada.

El flujo de calor por convección  $q_{cv}$ , que un fluido a una temperatura  $T_f$  intercambia con una pared que se encuentra a distinta temperatura se expresa así:

$$q_{cv} = \lambda/e \times (T_p - T_f)$$

Siendo:

$\lambda$ : coeficiente de conductividad térmica del fluido en Kcal/hm °C o W/m °C.

$e$ : espesor de la capa de fluido estática en contacto con la pared. Este espesor depende de la viscosidad del fluido y de la rugosidad de la pared.

$T_p$ : temperatura superficial de la pared en grados K o °C.

Se puede considerar que la temperatura de la superficie de la capa límite  $T_f$  es igual a la temperatura del fluido más próximo en movimiento  $T_a$ , y que el cociente entre la conductividad y el espesor de la capa límite es un parámetro  $h_c$  que incluye todos los factores que afectan al espesor de la capa límite.

Para el caso del intercambio de calor entre una pared, el suelo o el techo y el aire, el coeficiente de termotransferencia  $h_c$  depende de la posición, vertical u horizontal, de la superficie, de si la dirección del flujo de calor es ascendente, horizontal o descendente, de la diferencia de temperaturas entre la pared y el aire y por supuesto de las características físicas propias del fluido. Así mismo, depende de si la convección es natural o forzada

En las figuras 6.3 y 6.4, se muestra el funcionamiento del fenómeno de convección.

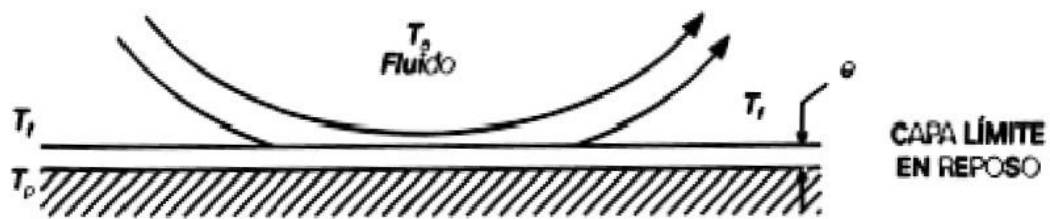


Figura 6.3: Intercambio convectivo entre una superficie y un fluido. [6]

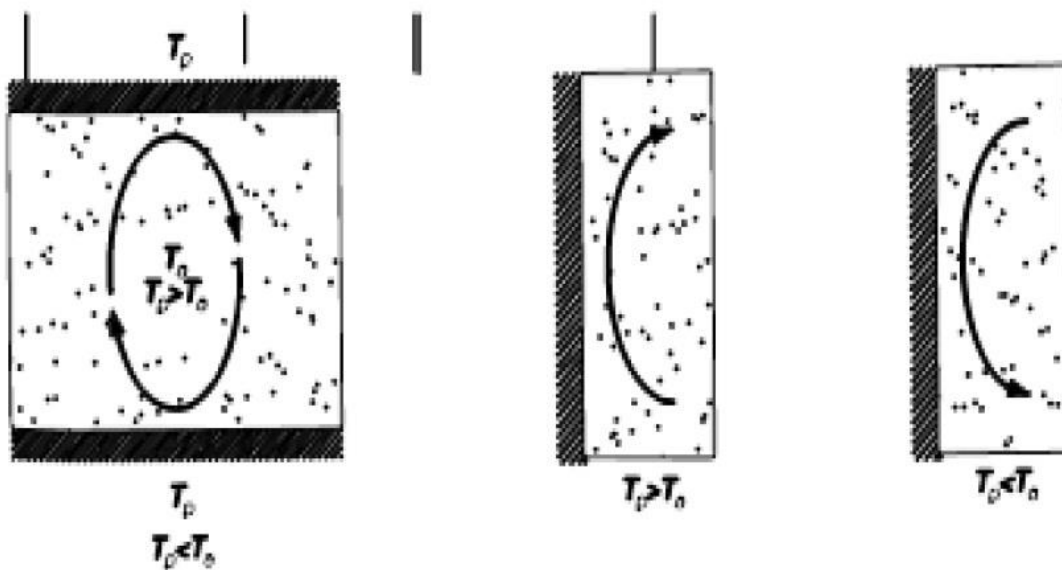


Figura 6.4: Intercambio por convección natural entre el suelo, el techo, la pared y el aire del ambiente. [6]

Los intercambios por convección más favorables del aire ambiente con el suelo se producen cuando éste está más caliente que el aire, y con el techo cuando éste está más frío que el aire, pues se tendrá una idea ascendente del calor y una idea descendente del frío.

En el caso de la personas, el valor del coeficiente de termotransferencia por convección depende de la velocidad del aire que le rodea y de la posición en que se encuentre: tumbado, sentado o levantado.

Las pérdidas por convección por metro cuadrado de superficie corporal vienen dadas por la expresión:

$$q_{cvi} = hc \times (T_i - T_a)$$

Donde:

Ti: temperatura de la superficie de la piel.

Ta: temperatura del aire ambiente.

#### 1.3.4. RADIACIÓN

Es la única forma de transmisión del calor que no necesita un medio material. Cuando dos cuerpos están a distintas temperaturas intercambian calor por radiación (ondas electromagnéticas), aunque no estén en contacto ni haya aire u otro fluido entre ellos. El flujo de calor intercambiado por radiación entre dos planos infinitos y paralelos cumple:

$$Q_{rd} = \sigma \varepsilon \times (T_1^4 - T_2^4)$$

En la que:

T1 y T2: temperaturas absolutas (siempre en grados K) superficiales de los planos paralelos e infinitos 1 y 2.

$\varepsilon$ : emisividad de las superficies. Calculada, según la emisividad  $\varepsilon_1$  y  $\varepsilon_2$  de cada una de ellas, por la expresión:

$$\varepsilon = \frac{1}{\frac{1}{\varepsilon_1} + \frac{1}{\varepsilon_2} - 1}$$

$\sigma$ : constante de Stefan - Boltzman de valor:  $\sigma = 5,67 \times 10^{-8}$  W/m<sup>2</sup>K<sup>4</sup>.

En la figura 6.5, se representa el sistema de funcionamiento del fenómeno de radiación.

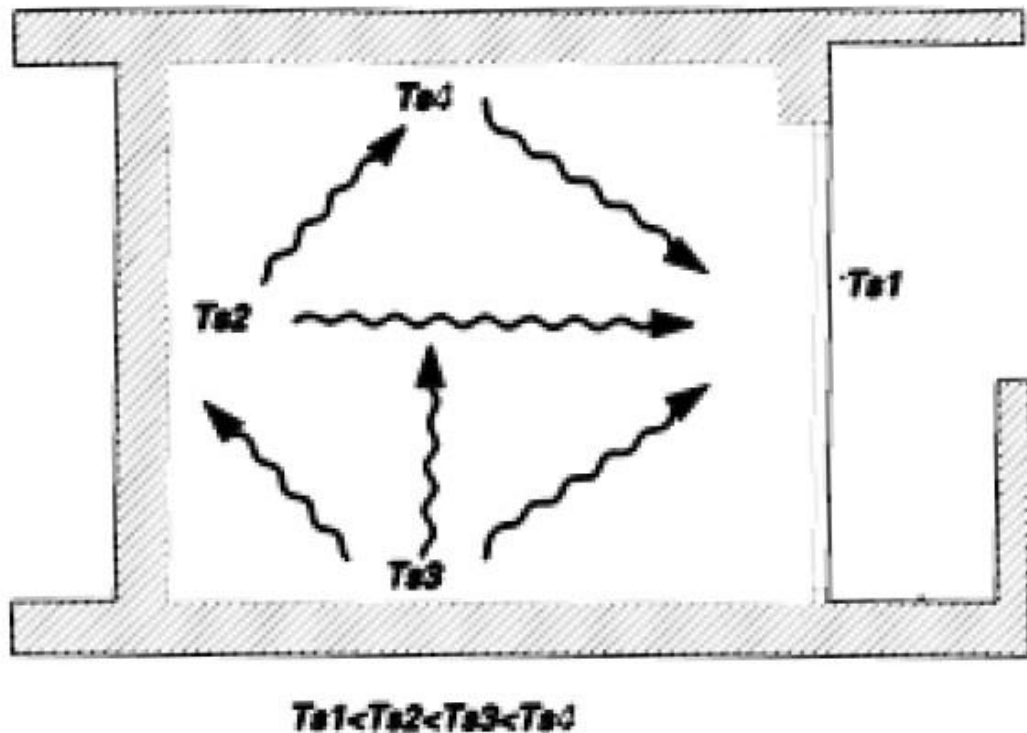


Figura 6.5: Intercambio por radiación entre superficies. Se representa el sentido del flujo neto en función de la temperatura de cada superficie. [6]

La radiación se produce en todas las direcciones del espacio. Si los planos radiantes son finitos, entonces parte del calor se emitirá al espacio y no será recibido por el plano enfrente, por ello se establece un factor de forma con un complejo modo de cálculo, para reflejar la parte de radiación que realmente es «vista» por el objeto o superficie receptora.

Estableciendo una formulación más simplificada de la expresión anterior, en un medio ambiente real el flujo de energía radiante  $q_{rd}$  que emite un cuerpo depende de su temperatura superficial o temperatura radiante  $T_r$ , de la temperatura radiante media de los cuerpos de su entorno  $T_{rm}$  y de un coeficiente  $h_r$  que es función de la temperatura del cuerpo y de su emisividad, llamado coeficiente de pérdidas por radiación.

### 1.3.5. SENSACIÓN DE BIENESTAR TÉRMICO. CONDICIONES DE CONFORT

Para un individuo que se encuentre en un recinto cerrado, los intercambios de calor se producirán fundamentalmente por convección del aire envolvente y por radiación hacia las paredes, suelo, techo y los objetos del entorno. La conducción no interviene prácticamente, dado que el aire es un mal conductor del calor.

Las variables que influyen en la sensación de bienestar, desde un punto de vista ambiental, son muchas y de diversa índole, estando entre ellas las siguientes:

- La temperatura seca del aire envolvente (la leída en un termómetro normal).
- La humedad relativa.
- La velocidad del aire
- La temperatura radiante media de las paredes del entorno, incluyendo suelos y techos (media ponderada de la temperatura superficial de las paredes, suelo y techo, en función proporcional al porcentaje de energía que cada una de ellas intercambia entre sí por radiación según el factor geométrico).
- La actividad metabólica que el individuo realiza.
- El grado de vestimenta.
- La calidad del aire envolvente.
- La posición en la que se encuentra (tumbado, sentado o levantado).
- El estar cerca o lejos de focos calientes: lámparas halógenas, radiación solar a través de ventanas, etc., o de focos fríos: paredes o acristalamientos fríos.
- La temperatura del aire alrededor de la cabeza.
- El nivel sonoro.
- La transmisión de calor desde los pies al pavimento.
- El estado de ánimo.
- El tipo de alimentos y el tiempo que hace que se han ingerido.
- Etcétera.

En todo proceso donde se realiza un trabajo se genera calor, éste puede ser útil o residual, es decir: deseado o no deseado. Del mismo modo, en su actividad metabólica el cuerpo humano utiliza energía química (contenida en los enlaces químicos de los átomos de ciertas moléculas orgánicas) para alimentar los procesos en los que se genera trabajo y calor.

Por otro lado, puesto que es necesario mantener la temperatura corporal prácticamente constante entre 36,5 y 37 °C, es necesario disipar el calor excedente para que ésta no aumente provocando riesgos para la salud e

incluso la muerte.

Cuando el ambiente externo es excesivamente frío el cuerpo humano debe producir calor, no ya como producto colateral de otro proceso, sino como fin en sí mismo para impedir una bajada de la temperatura corporal que produzca daños irreversibles.

Para el mantenimiento de la temperatura corporal es necesario que el balance energético siguiente resulte cero:

$$\sum q = q_{\text{met}} - q_{\text{ev}} \pm q_{\text{ci}} \pm q_{\text{cvi}} \pm q_{\text{rdi}} = 0$$

Donde  $q_{\text{met}}$ ,  $q_{\text{ev}}$ ,  $q_{\text{ci}}$ ,  $q_{\text{cvi}}$ ,  $q_{\text{rdi}}$  son respectivamente el calor debido a la actividad metabólica, el calor perdido por evaporación (con la respiración y la sudoración), y el debido a los intercambios por conducción, convección y radiación.

A modo de explicación de todo lo expresado anteriormente, se puede observar la figura 6.6.

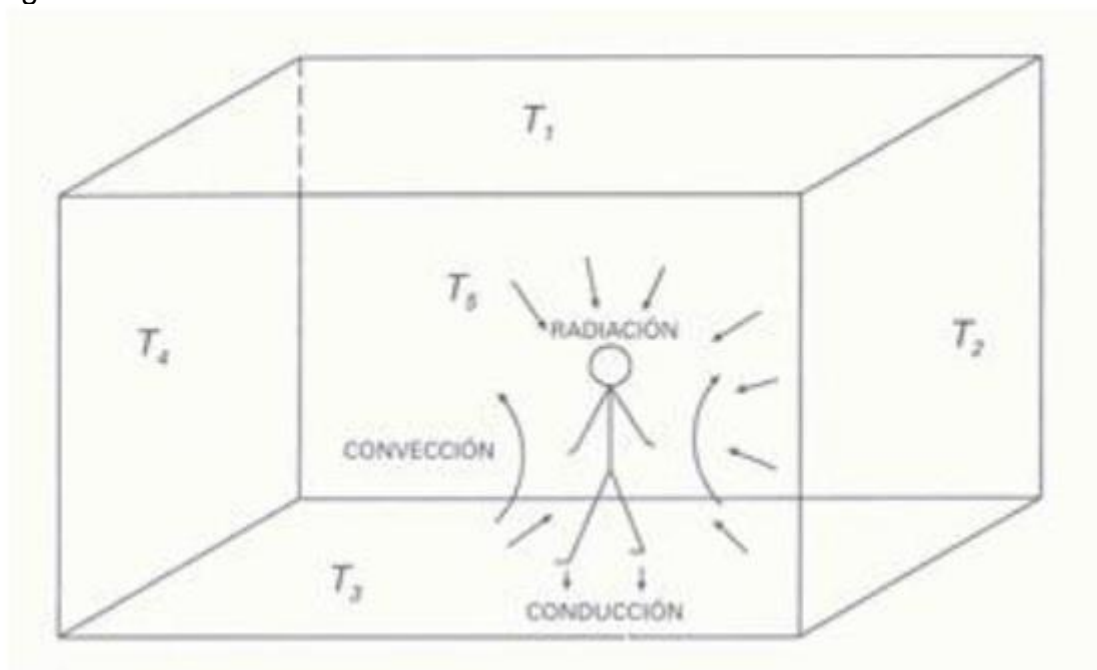


Figura 6.6: Relación térmica de un individuo en un local. [6]

Experimentalmente se han definido unos rangos de temperatura y de humedad del ambiente en los que las personas se encuentran satisfactoriamente. Estos rangos dependen de la actividad física que se desarrolle y del grado de vestimenta que se lleve, pero siempre al intentar aplicarlos a personas concretas aparece un aspecto subjetivo difícil de generalizar, por lo que los parámetros de temperatura y humedad que se consideran óptimos son siempre admitidos en términos estadísticos.

La American Society of Heating and Air Conditioning Engineers (Asociación



Americana de Ingenieros de Calefacción y Aire Acondicionado), conocida como ASHRAE, ha propuesto un gráfico muy utilizado para definir si una determinada combinación de temperatura y humedad relativa del aire puede considerarse como confortable o no.

En la figura 6.7 se representa este diagrama, en el que se observa que las condiciones de confort se encuentran para un rango de humedad relativa del 25 al 85%, y para temperaturas de entre 22 y 28 °C. Matizando un poco este diagrama, se puede observar que en invierno habrá que mantener unas condiciones interiores de 20 a 24 °C y en verano de 24 a 28 °C.

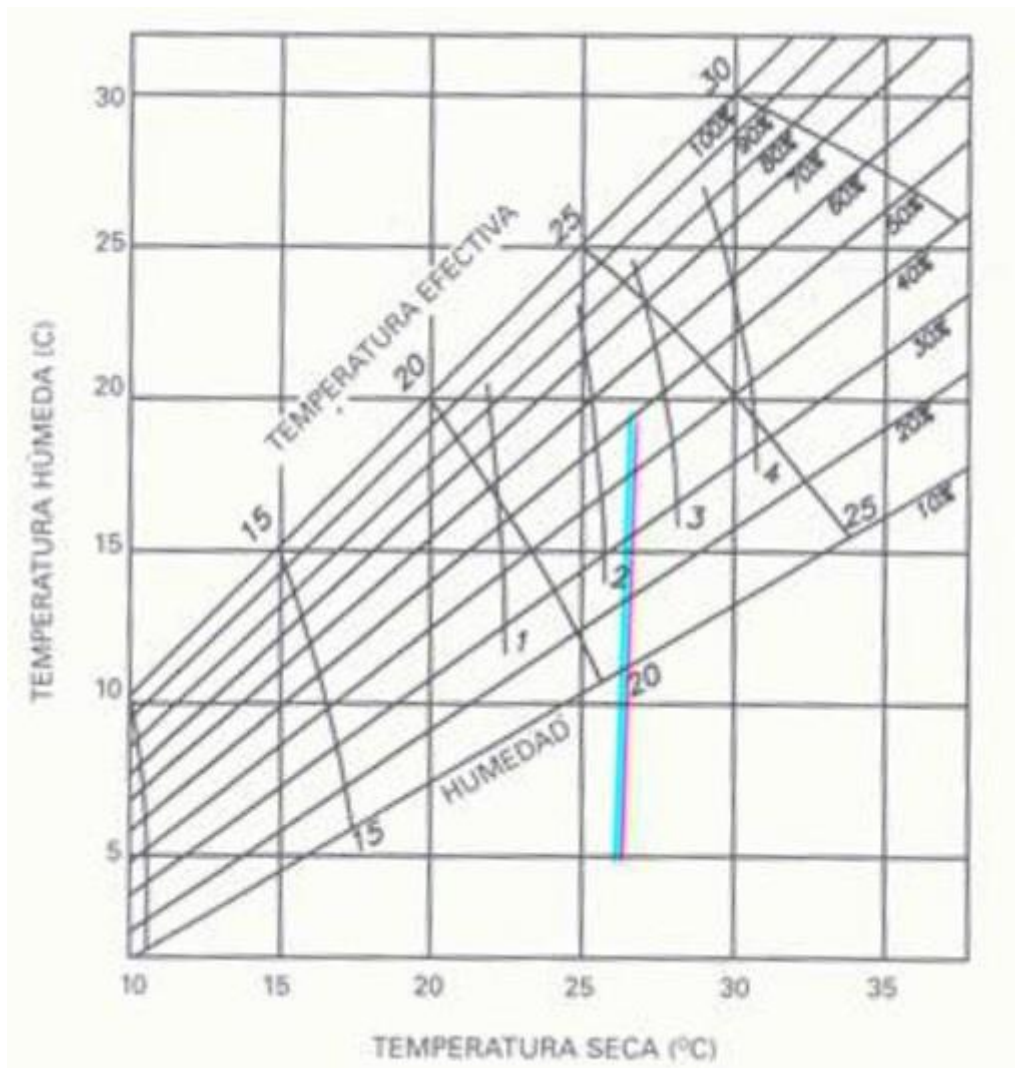


Figura 6.7: Diagrama de confort de ASHRAE. [6]

La temperatura que aparece en el eje horizontal de este diagrama es la llamada temperatura seca, es decir, la medida con un termómetro normal.

En el eje vertical se representa la temperatura húmeda, que es la temperatura que se lee en un termómetro cuyo bulbo está envuelto en una

gasa porosa y empapada en agua, de modo que al circular por el bulbo el aire del ambiente con unas condiciones de humedad determinadas se evapora agua de la gasa llevando el aire hasta el 100% de humedad relativa (saturación), para esta evaporación se absorbe calor del entorno bajando la temperatura del termómetro húmedo. De modo que la temperatura húmeda siempre es menor que la temperatura seca.

Otras líneas que aparecen en el gráfico de la figura 6.7 son las indicadas por los números 15, 20, 25, 30, éstos indican temperatura efectiva. La temperatura efectiva es la temperatura de sensación debida a la combinación de temperatura seca y humedad relativa del aire, por ejemplo para 22 °C y un 60 % de humedad relativa la temperatura efectiva sería de 20 °C.

El Reglamento de Instalaciones Térmicas de la Edificación, RITE, en su Instrucción Técnica Complementaria sobre condiciones interiores, ITE.02.2.I Bienestar térmico, dice:

“Las condiciones interiores de diseño se fijarán en función de la actividad metabólica de las personas y su grado de vestimenta, y en general estarán comprendidas entre los siguientes límites:

Tabla 6.1: Condiciones interiores de diseño.

Estación	Tª Operativa (°C)	Velocidad media del aire (m/s)	Humedad relativa (%)
Verano	23 a 25	0,18 a 0,24	40 a 60
Invierno	20 a 23	0,15 a 0,20	40 a 60

El proyectista podrá variar las condiciones interiores indicadas en la tabla 6.1 dependiendo de uso".

El reglamento habla de temperatura operativa, esta se define:

"La temperatura uniforme de un recinto imaginario en el que el cuerpo intercambia el mismo calor seco ( no hay evaporación )por radiación y convección que en un medio ambiente real".

De otro modo se puede definir como:

“El índice empírico de confort que tiene en cuenta la temperatura y movimiento del aire y la radiación del entorno y que se define como la temperatura seca del aire de otro recinto similar, con aire en reposo y que teniendo las paredes a la misma temperatura que el aire, produce la misma sensación térmica”.



### 1.3.6. SUPERFICIES RADIANTES Y SUELO RADIANTE

Si se puede mantener alguna superficie interior de la edificación (suelo, paredes, techo) a una temperatura controlada, fría o caliente, para contrarrestar el calor o frío que penetra transmitiéndose a través de los cerramientos, o por renovación e infiltraciones de aire exterior, esta superficie establecerá intercambios de calor por radiación con el cuerpo humano y con el resto de superficies y los elementos que se encuentren dentro de su radio de “visión” e intercambio convectivos con el aire del ambiente.

Cuando el sistema de climatización se basa en lo anterior se tiene un sistema de calefacción o refrescamiento por superficie o superficies radiantes.

La superficie en la que es más fácil implementar un sistema radiante es el suelo. Las paredes presentan el problema de que se cubren con muebles y otros elementos. El techo es algo menos eficiente dado que las tuberías no se envuelven en morteros sino que se montan en una cámara de aire que es la que intercambia el calor con el material de construcción, además el intercambio convectivo del techo es más desfavorable.

Desde el punto de vista del confort, es idóneo poder controlar la temperatura de todas las superficies que rodean al sujeto, puesto que si el cuerpo humano emite radiación calórica de manera uniforme en todas las direcciones, se producirá una mejor sensación de bienestar.

Por los motivos anteriores, este proyecto se va a centrar en las instalaciones por suelo radiante que utilizan tuberías termoplásticas por las que circula agua.

En un sistema de acondicionamiento térmico por superficies radiantes, se podrá controlar la temperatura radiante media del entorno del sujeto e indirectamente la temperatura del aire o temperatura ambiente, es decir, la temperatura operativa de confort,  $T_o$ .

La sensación de frío comienza a notarse por los pies, de ahí el uso extendido del brasero y la mesa camilla, incluso en viviendas que disponen de calefacción por aire o radiadores. Por otro lado, si a la altura de la cabeza la temperatura es excesiva el cuerpo humano notará la sensación de malestar y embotamiento, entre otras causas debido a la respiración de aire caliente. Si a la altura de los pies, se tiene  $24\text{ }^{\circ}\text{C}$  y a  $1,80\text{ m}$  del suelo  $18\text{ }^{\circ}\text{C}$ , se puede afirmar que se habrá una sensación de confort respirando aire fresco.

En la figura 6.8 se puede comprobar lo explicado anteriormente.

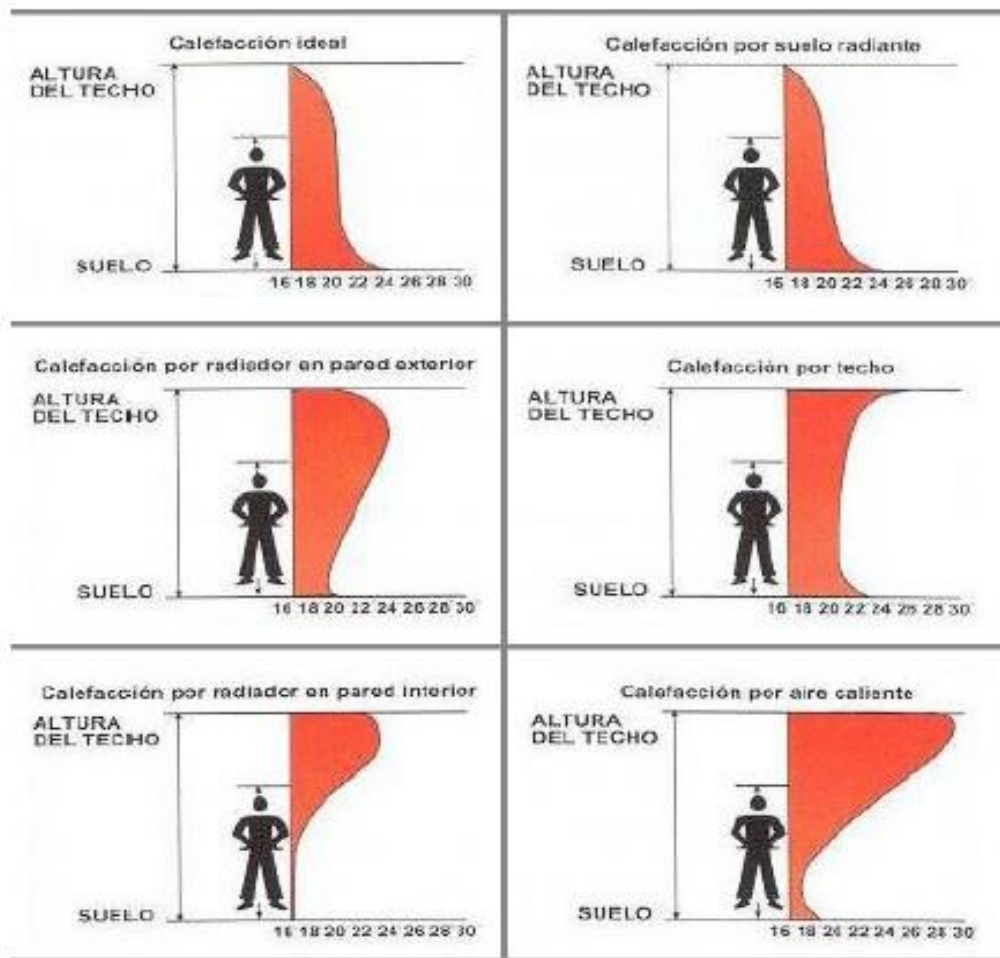


Figura 6.8: Distribución de temperaturas según la altura para distintos sistemas de calefacción. [8]

### 1.3.7. CARACTERÍSTICAS DEL SUELO RADIANTE

Las diferencias fundamentales con el resto de los sistemas de calefacción son las siguientes:

- La temperatura de trabajo del agua está entre los 30 y 50 °C, no superando nunca los 55 °C. Los sistemas de radiadores funcionan con agua entre 70 y 90 °C.

Esto permite, usar generadores de calor a baja temperatura como pueden ser las bombas de calor o los paneles solares, así como cualquier tipo de caldera eléctrica, de gas o gasoil, evitando el riesgo de quemaduras.

- En un local calefactado por este sistema, la temperatura es muy uniforme. No existen zonas frías y zonas calientes como ocurre en calefacciones por aire o por radiadores, donde las zonas próximas a los emisores están más calientes que las alejadas o que las próximas a ventanas,

formándose bolsas de aire caliente en los techos.

- La ausencia en paredes y techos de emisores de calor, permite más versatilidad en las propuestas de decoración y disposición del mobiliario aumentando el confort visual y la estética.

- La velocidad de circulación del aire no supera los 0,05 m/s con lo que no hay movimientos de polvo ni ennegrecimiento de paredes y cortinas. Además, por este motivo se evita la sensación desagradable de corrientes fluctuantes de aire.

Los llamados radiadores que se colocan en las paredes sólo radian entre un 10% y un 30% de su potencia calórica, el resto de la emisión la realizan por convección. En una superficie radiante la radiación representa más del 60% de su potencia calórica.

- Desde el punto de vista de la salud, disminuye la probabilidad de contraer afecciones respiratorias, al no existir prácticamente corrientes de aire y no influir de manera importante a la humedad relativa, ya que se trabaja con una temperatura seca del aire ambiente de al menos dos grados por debajo que con otras calefacciones.

- En locales con techos altos como iglesias, auditorios, teatros, cines, etc., el ahorro energético es sustancial, ya que se trabaja con temperatura de aire del ambiente inferior al menos en 2 °C a los sistemas que utilizan exclusivamente aire como vehículo portador de calor. Hay que tener en cuenta que en estos edificios el volumen de aire a tratar es muy elevado y por circulación natural se acumula en las zonas altas de la edificación.

En la figura 6.9, se muestra la fluctuación que sufre el aire según el tipo de calefacción que esté instalada.

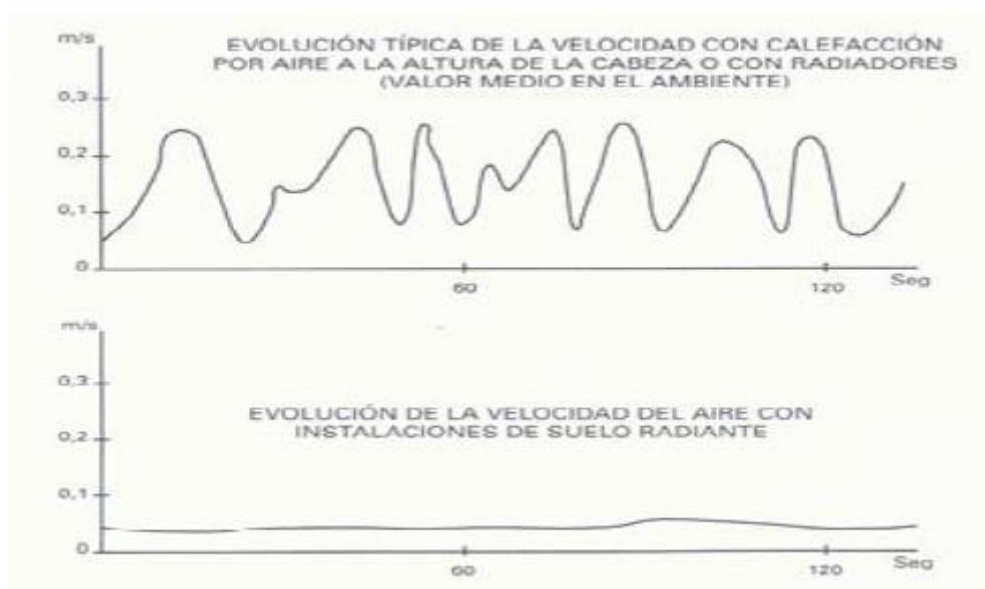


Figura 6.9: Gráficos de fluctuación de la velocidad del aire a la altura de la cabeza según el tipo de calefacción. [6]

- Un sistema radiante cumple mejor que ningún otro con las condiciones interiores de bienestar térmico establecidas en el RITE en su ITE 02.2.1 [2], en lo que se refiere a gradiente térmico según la altura y a velocidad de circulación del aire, expuestas en la tabla 1 del mismo.

- Observando el valor de los coeficientes de convección  $h_c$  y de radiación  $h_r$ , el cuerpo humano intercambia un 30% de calor por convección, para el intervalo de temperaturas ambiente de 20 a 28 °C, un 45% por radiación y un 25% por evapotranspiración. Por lo tanto, calentando o enfriando superficies grandes, se puede llegar a aumentar la eficacia de los intercambios entre el cuerpo y el entorno.

### **1.3.8. CAUSAS DEL AHORRO ENERGÉTICO DE UNA CALEFACCIÓN POR SUELO RADIANTE**

Además de las características enumeradas en el apartado anterior, una de las principales ventajas de un sistema radiante es el ahorro energético que produce en comparación con otros sistemas que usan el mismo tipo de energía primaria.

Otras de las causas de la eficiencia energética son:

- Menor temperatura del agua de distribución: la temperatura en las tuberías generales es como mínimo 25 °C inferior a la de otros sistemas, por lo que cuando éstas pasan por dependencias o zonas que no necesitan calor, se disminuirá considerablemente las pérdidas.

- Menor temperatura del techo. el techo de una habitación con suelo radiante estaba a una temperatura inferior en 6 °C a la de otros sistemas, pudiendo llegar hasta 10 °C menos.

Es decir, que con una calefacción convectiva, ya sea por radiadores, ventilo-convectores o por bomba de calor, y para estos parámetros térmicos, se pierde aproximadamente un 50% más de calor por el techo.

- Menor temperatura del aire del ambiente: con una calefacción por suelo radiante se obtiene aire alrededor de 20 °C, para sentir confort, mientras que por radiadores el aire debe estar a unos 22 °C. Al ventilar el local o se producen renovaciones incontroladas del aire interior, se pierde el calor contenido en el mismo.

- El aprovechamiento de las aportaciones gratuitas de calor: la mayor inercia técnica que tiene una calefacción por suelo radiante. El suelo es capaz de aprovechar las aportaciones gratuitas de calor, como las procedentes de la radiación solar, de aparatos que emiten calor, de lámparas halógenas o de un

aumento brusco del número de personas.

La emisión varía menos de un 4% si el ambiente sube 2 grados su temperatura. Un sistema radiante ahorra en estas circunstancias un 50% de combustible, mientras otro sistema no llega a ahorrar ni un 5%.

Según lo anterior, esto influirá la incidencia en el consumo de combustibles, sobre todo en locales como aulas, teatros, auditorios, etc., donde irrumpe bruscamente un número considerable de personas, mientras que los sistemas convectivos tienen dificultades para adaptarse con rapidez a la nueva situación.

Teniendo en cuenta todos los factores que inciden en el ahorro energético de los sistemas radiantes, se puede llegar a producir un ahorro de entre un 10 y un 20% de energía respecto a otros sistemas de calefacción.

- Capacidad de redistribución del calor: cuando se produce una aportación gratuita de calor o frío en una zona del suelo o superficie radiante, el sistema de tubos empotrados absorbe esta fluctuación térmica repartiéndola por el resto de circuitos o superficies, y como consecuencia entre los distintos ambientes.

### **1.3.9. APLICACIONES DEL SUELO RADIANTE**

El suelo radiante se emplea para los siguientes usos:

- Locales habitados de uso público o privado:

Viviendas unifamiliares.

Viviendas multifamiliares.

Centros de enseñanza.

Guarderías.

Locales de altura elevada, iglesias, naves, industrias, etc. En estos locales la calefacción por aire o por radiadores provoca enormes consumos de energía al tener que calentar grandes volúmenes de aire.

Piscinas cubiertas, para caldear las zonas de estancia y tránsito.

Salas y pasillos de hospitales.

Centros trabajo y oficinas en general.

Edificios emblemáticos en rehabilitación.

Hoteles.

Edificios construidos en reformas, siempre que la altura de los techos lo permita y el forjado esté en condiciones de soportar el peso añadido.

- Espacios cubiertos dedicados a la agricultura:

Invernaderos. Para mantener unas temperaturas mínimas del aire, favoreciendo la floración y la fructificación.

Semilleros. Para acelerar la germinación y el desarrollo de los plantones.

- Alojamientos ganaderos, para aumentar rendimientos:

Establos.

Cochineras.

Granjas avícolas.

- Superficies no cubiertas:

Andenes de ferrocarril. Para eliminar la sensación de helor en los pies.

Campos de fútbol. Para evitar las escarchas y el hielo.

Terrazas, azoteas y tejados. Para evitar la acumulación de nieve.

Aparcamientos de vehículos. Para evitar placas de hielo.

Aceras en zonas muy frías. Para evitar accidentes.

### **1.3.10. CARACTERÍSTICAS CONSTRUCTIVAS DE UN SUELO RADIANTE**

En la zona inferior de los tabiques y de los muros exteriores, se coloca una banda de material aislante flexible de no más de 1 centímetro de espesor, que llegará hasta el nivel de solería. Esta tira lateral elimina la unión sólida del mortero y el solado con el tabique.

Sobre el forjado van colocadas planchas de aislamiento, con espesor de 2 a 4 cm, de material sintético o mineral con densidad suficiente como para soportar sobradamente las cargas de presión habituales en una vivienda y, si el suelo es industrial y debe soportar maquinaria u objetos de mucho peso habrá que tenerlo en cuenta a la hora de elegir el material aislante base más adecuado, en cuanto a densidad y resistencia a la compresión se refiere.

Al aplicar el mortero fresco, para evitar su penetración por los intersticios entre paneles aislantes si éstos no van machihembrados, o entre los paneles y la franja perimetral se suele usar una lámina delgada de plástico que se coloca

sobre el aislante, o montada entre franja perimetral y el aislamiento base.

Cuando la humedad puede penetrar por el forjado y ser absorbida por el aislamiento ganando éste conductividad se puede usar también una capa delgada de plástico como barrera antivapor. Esto último, debe hacerse en las zonas de las estancias que se encuentren sobre balconadas o voladizos.

Sobre el aislamiento se distribuyen las tuberías, normalmente de no más de 20 mm de diámetro. El mortero formado por la mezcla de cemento, arena, agua y un aditivo especial las envuelve, quedando una capa por encima de ellas con un mínimo, salvo casos especiales, de 4 cm.

Y por último se sitúa la solería de cualquier material de los usados habitualmente, desde el granito hasta el parqué. Lo que no debe hacerse nunca es colocar una tarima que deje una cámara de aire entre el mortero y el solado.

Si el tubo tiene que atravesar algún tabique o cerramiento es necesario envainarlo en tubo concéntrico de diámetro suficiente como para que exista holgura. Esto lo protege de rozamientos indeseados, con aristas de ladrillo u otro material, al contraer y dilatar con los cambios de temperatura.

Del mismo modo, es conveniente enfundarlo cuando discorra transversalmente a las juntas de dilatación de pavimento y en la curva de ascenso o descenso al distribuidor de circuitos.

Pueden utilizarse como fundas o vainas tramos de tubo corrugado resistente, del que se usa como canalización de cables, tramos de PVC flexible de 32 o 40mm, del que se usa como tubería de evacuación en instalaciones sanitarias, etc.

En las figuras 6.10 y 6.11, se muestra un ejemplo de un esquema constructivo de un suelo radiante.



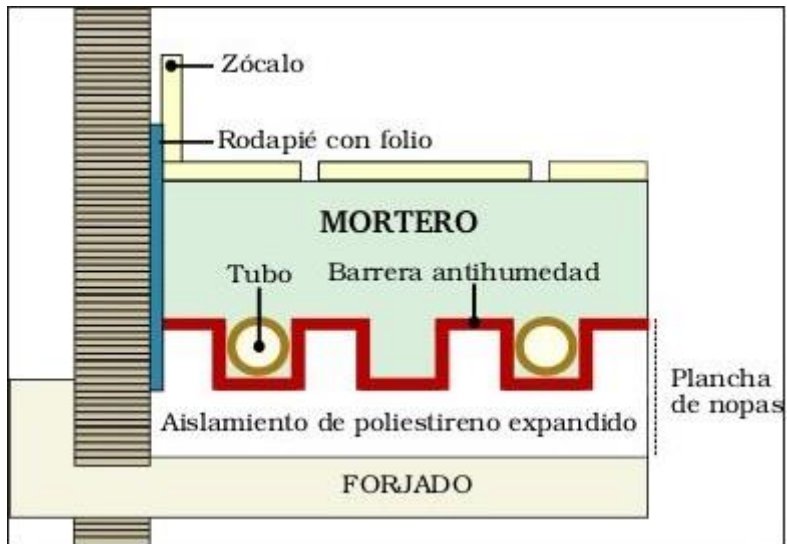


Figura 6.10: Corte en sección de un suelo radiante.

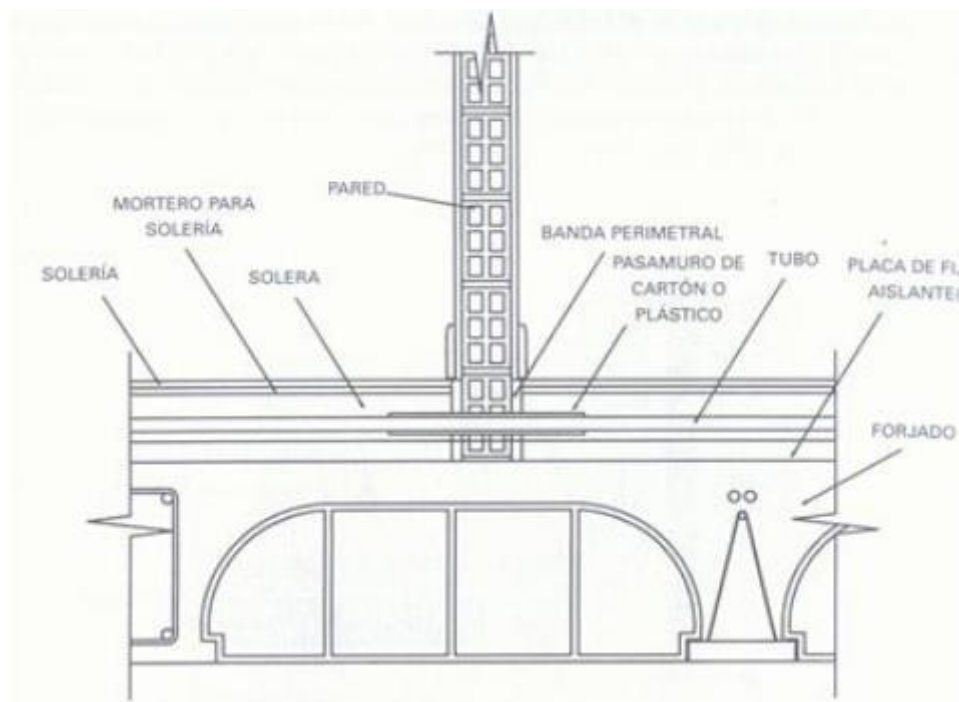


Figura 6.11: Vaina o pasamuros.



### **1.3.11. DESCRIPCIÓN DE INSTALACIÓN Y ELEMENTOS**

#### **1.3.11.1. TUBERÍAS PLÁSTICAS**

Actualmente, las instalaciones se realizan con tuberías de plástico resistentes a temperaturas de trabajo incluso superiores a los 100°C, las llamadas tuberías termoplásticas.

Está ya extendido el uso de tres tipos de tuberías de plástico, éstos son: polipropileno copolímero (PP-c), polibutileno (PB), o polietileno reticulado (PER o VPE).

Los tres materiales son polímeros formados por macromoléculas que a su vez están formadas por la concatenación de unidades o monómeros de moléculas orgánicas de menor tamaño.

Las tres tuberías termoplásticas mencionadas tienen características comunes: son flexibles, de paredes muy lisas y sensibles a la componente ultravioleta de la radiación solar, que provoca en ellas efectos de envejecimiento y pérdida de elasticidad.

El tubo de polipropileno tiene la gran ventaja de que puede soldarse con facilidad por polifusión, tanto diámetros pequeños como grandes, con una máquina-herramienta llamada polifusor. Además, existen en el mercado accesorios de todo tipo -manguitos, codos, etc. que pueden soldarse entre sí y a la tubería para posibilitar cualquier tipo de montaje.

El tubo de polipropileno copolímero es el más rígido de los tres plásticos, por lo que para la realización de curvas cerradas (pequeño radio de curvatura) es necesario llenarlo de agua caliente o insuflarle aire caliente.

La tubería de polibutileno presenta gran resistencia a la temperatura, pudiendo trabajar hasta 80 °C sin problemas de envejecimiento. Su gran ventaja estriba en la mayor flexibilidad respecto de los otros dos plásticos mencionados, lo que hace que sea más fácil el montaje.

Por otro lado, el polietileno reticulado es el más resistente a la temperatura, tiene una flexibilidad intermedia y presenta la mayor conductividad térmica, por su relación calidad/precio es el más usado en la actualidad en este tipo de instalaciones.

El polietileno reticulado utilizado para instalaciones hidrosanitarias y de calefacción, no tiene las mismas características físicas que el utilizado en las redes de gas, que es de mayor espesor y densidad, o que el utilizado para agua fría o riego, que no es reticulado, por lo que no se debe confundirlos.

Los diámetros comerciales útiles y habituales para este tipo de instalaciones son el 12/16 mm (16x2) y el de 16/20 mm (20x2), correspondiendo en esta nomenclatura el primer número al diámetro interior y el segundo al diámetro exterior (o bien, entre paréntesis, metro exterior y espesor de pared).

El tubo de 12/16 es el que más se utiliza en instalaciones de menos de 150 m<sup>2</sup>, con diámetros menores se podría aumentar la densidad de tubo embutido (metros lineales de tubo por unidad de superficie emisora), aumentando de este modo la superficie exterior del tubo en contacto con el mortero y mejorando el intercambio de calor.

Cuando la instalación tiene cierta envergadura (p.e. superficies de más de 200 m<sup>2</sup>) se deberá utilizar tubería de 16/20.

Los tubos se suministran, habitualmente, en rollos de 50, 120 o 200 m, y con otras longitudes según el fabricante o bajo pedido. La elección del número de rollos de cada tamaño debe ir encaminada a optimizar el costo reduciendo al máximo los restos sobrantes si se usa materiales de fabricantes que no recomiendan la realización de uniones mecánicas bajo el suelo.

Algunas de las características principales de las tuberías de plásticos están resumidas en la tabla 6.2.

Tabla 6.2: Algunas características físicas de las tuberías de plástico.

Características	Unidad	Polibuteno (PB)	Polipropileno (PP.C)	Polietileno reticulado (VPE)
Densidad	g/cm <sup>2</sup>	0,93	0,91	0,94
Resistencia a rotura	N/mm <sup>2</sup>	33	45	23
Alargamiento hasta rotura	%	280	1100	250
Módulo de elasticidad	N/mm <sup>2</sup>	350	1000	750
Conductividad térmica	W/m K	0,22	0,22	0,38
Coefficiente de dilatación lineal	mm/mK	0,13	0,18	0,19

### 1.3.11.2 AISLAMIENTOS

Para evitar que el calor se propague hacia abajo es preciso colocar un aislante entre el forjado y el mortero que cubre los tubos. El material más empleado para este fin es el poliestireno expandido ( porexpan ) de alta densidad, con una densidad superior a 20 Kg por m<sup>3</sup>. Ésta es la densidad mínima para que soporte sin deformaciones la losa del pavimento y todo lo que se encuentre sobre ella. Además del prexpan existen en el mercado otros materiales que pueden usarse como aislamiento base tales como el P.V.C. expandido (cloruro de polivinilo ), la lana de roca, el poliuretano, etc.

Las distintas casas comerciales ofrecen varios sistemas de aislamientos de suelo con espesores generalmente comprendidos entre 2 y 4 cm, teniendo:

- Planchas lisas de porexpan de alta densidad sin machihembrar. Este sistema requiere la colocación de una lámina de plástico encima de del aislamiento ( película de polietileno ) con el fin de evitar la creación de puentes térmicos y acústicos, al poder penetrar el mortero de cemento fresco por las rendijas que quedan entre plancha y plancha.

- Planchas lisas de porexpan machihembradas que se solapan unas con otras por el lateral.

- Planchas con tetones para guiar el tubo a las distancias adecuadas y servir de sistema de fijación. Aunque las tensiones del tubo al venir enrollado de fábrica hacen necesaria a veces la utilización de grapas de fijación.

- Planchas especiales de muy alta densidad con capas rígidas de cloruro de polivinilo o de polietileno para soportar pesos importantes.

- Planchas en rollos que incorporan láminas de papel Kraft, film de aluminio y film de polietileno. Sin tetones y con solapas adhesivas a un lateral para fijar unas bandas con otras.

- Planchas de pequeño espesor y de muy alta densidad, para lugares en los que la altura está limitada.

En la tabla 6.3, se recoge las características que posee el poliestireno expandido usado como aislante para los suelos radiantes.

Tabla 6.3: Características del aislante de poliestireno expandido.

	Unidad	TIPO				
		I	II	III	IV	V
Densidad nominal	Kg/m <sup>3</sup>	10	12	15	20	25
Densidad mínima	Kg/m <sup>3</sup>	9	11	13,5	18	22
Conductividad térmica a 0 °C	W/m k	0,044	0,042	0,037	0,034	0,033
Conductividad térmica a 20 °C	W/m k	0,047	0,045	0,04	0,037	0,035
Resistencia a la compresión	Kg/m <sup>2</sup>	4000	4000	5000	9000	12 000

No hay que olvidar que un aislamiento de suelo también produce como efecto añadido la disminución de la transmisión del sonido de impacto, con lo que mejoran las propiedades acústicas de los cerramientos de suelo.

En las figuras 6.12 y 6.13, se muestra un ejemplo de los distintos tipos de aislamientos usados para los suelos radiantes.



Figura 6.12: Aislamiento base con tetones. [6]



Figura 6.13: Aislamiento en rollos con láminas auto adhesivas para solapar.

### 1.3.11.3. SISTEMAS DE FIJACIÓN

Al desenrollar la tubería sobre el aislante base, es necesario fijarla al mismo. Cualquier sistema de fijación del tubo al aislamiento puede ser válido siempre que no se provoquen rozamientos que pudieran deteriorar las paredes del tubo en sus esfuerzos de dilatación y contracción, debido a los habituales cambios de temperatura.

Algunos de los más usuales por orden cronológico de aparición y uso:

- Fijación con mallazo y lazos: consiste en colocar un mallazo (red de varillas de acero electrosoldadas) sobre la capa de aislante y fijar los tubos a él mediante lazos no metálicos. Las bridas de nailon pueden ser útiles para esta tarea. Esta técnica se encuentra en desuso, hasta el punto que algunos fabricantes no garantizan el tubo si se utiliza el mallazo.

- Fijación con guías y grapas: con tacos y tornillos en el forjado se fijan sobre el aislamiento base unas guías metálicas o de plástico que llevan incorporadas, o sobre las que se encajan, unas grapas que a su vez sirven para la fijación del tubo. Con este sistema, sólo se podrá distribuir el tubo en serpentín, ya que no es posible hacerlo en espiral. Un ejemplo de este sistema se muestra en la figura 6.14.



Figura 6.14: Guías y grapas. [6]

- Fijación con grapas: consiste en unas grapas que se roscan sobre el aislamiento y en las que se encaja posteriormente el tubo. Aproximadamente se debe colocar una grapa por cada metro lineal, y de 2 a 3 grapas en cada cambio de dirección de  $90^\circ$  y de 3 a 4 cuando la dirección es de  $180^\circ$ . Debido a la debilidad de esta unión, hay que tener cuidado con las tensiones de los tubos en las curvas para evitar que salten las grapas antes de taparlos con el mortero. La figura 6.15, se muestra un ejemplo de este sistema de fijación.



Figura 6.15: Grapa – rosca y grapa para encajar en dos tetones. [6]

- Fijación con grapas arpón: las grapas se colocan con una herramienta especial al mismo tiempo que se desenrolla el tubo.

- Fijación incorporada en el aislamiento: las planchas incorporan unos tetones entre los que se encaja el tubo. No obstante, a veces hay que completar el anclaje con alguna grapa, sobre todo en las curvas de  $180^\circ$ , ya que en éstas a veces el tubo tiende a levantarse. Estos sistemas, llevan también unas bandas salientes estrechas que sobresalen de la base para que el tubo quede separado del aislamiento unos milímetros, con objeto de que el mortero lo envuelva totalmente. Este sistema de placa base con tetón y sistema de fijación incorporado es el más usado en la actualidad.

La figura 6.16, muestra el aspecto que tiene los aislamientos con fijación incorporada.





Figura 6.16 – Tubo encajado en aislamiento base con tetón. [6]

#### 1.3.11.4. BANDA PERIMETRAL

Es una banda de material aislante que separa la losa de mortero y el solado de las paredes, logrando que éste sea un pavimento flotante, facilitando la dilatación del mismo y paliando el efecto de fuga de calor debido al puente térmico del suelo con las paredes y cerramientos laterales.

La temperatura de trabajo de los sistemas radiantes no implica riesgo de rotura del solado por efectos de dilatación.

El material para la banda perimetral puede ser poliuretano, poliestireno expandido o algún otro material aislante. Su espesor no suele ser superior a 10 mm y su altura de 10 a 16 cm.

#### 1.3.11.5. EL DISTRIBUIDOR

Como su nombre indica, su misión es distribuir el agua de la tubería general que lleva agua caliente o fría a cada uno de los circuitos emisores, normalmente divididos por habitaciones, y recoger el agua de los circuitos para devolverla por una tubería general al generador distribuidor. Está compuesto de dos tuberías horizontales paralelas sujetas a la pared mediante un soporte, a estas tuberías llamadas colectores, se les acoplan en derivación, válvulas, detentores, purgadores, termómetros, grifos de vaciado y caudal metros, y de ellos parten los tubos hacia el suelo. Uno de los tubos colectores es el de «ida» y el otro el de «retorno».

Los distribuidores, deben llevar un detentor por circuito para que el técnico pueda regular el caudal de paso a cada uno de ellos, realizando un equilibrado hidráulico de la instalación. También deben incorporar una válvula micrométrica por cada circuito para que el usuario pueda conectar o desconectar la calefacción en las distintas zonas o habitaciones a las que corresponde.



Figura 6.18: Tubos colectores que incorporan válvulas de usuarios y detentor.

Otros mecanismos imprescindibles que debe incorporar el distribuidor son los purgadores.

Los purgadores permiten la evacuación del aire de las instalaciones, y pueden ser manuales o automáticos; debe situarse uno en el colector de “ida” y otro en el de “retorno”, o al menos uno en el tubo colector que esté situado más alto, que será preferiblemente el de retorno.

A cada uno de los tubos colectores, con objeto de poder independizarlos del resto de la instalación, se le conectarán unas llaves de esfera, una a la entrada del colector de ida y otra a la salida del de retorno.

En la configuración del distribuidor, debe existir un mecanismo para permitir al instalador hacer un ajuste del caudal de cada circuito, al objeto de equilibrar la instalación hidráulica y térmicamente.

Si esto no fuera así la mayor parte del caudal se iría por el circuito más corto, que presenta menos resistencia al paso del agua, teniendo zonas o estancias con exceso de calor y zonas frías.

Según los elementos de medida montados, los distribuidores se clasifican en:

- Los que no incorporan termómetros, ni a la ida ni al retorno. No se conoce la temperatura de ida ni de la retorno. Son los más simples.



- Los que incorporan información de temperatura de ida y de retorno. Llevan dos racores portatermómetro con termómetro, uno a la entrada del colector de ida y otro a la salida del colector de retorno, que proporcionan la temperatura de entrada del agua a todos los circuitos y la temperatura de retorno global.

Al mismo tiempo permite comprobar que el agua no va a los circuitos a temperatura superior a 50 °C, pues el límite máximo de mal uso y del riesgo está en los 55°C.

- Los que incorporan información de temperatura de ida para todos los circuitos y de temperatura de retorno para cada circuito. Permiten al instalador o al técnico, conocer el salto térmico por circuito, pudiendo actuar sobre los detentores. Disminuyendo el caudal, el salto térmico aumenta, o a la inversa.

- Los que incorporan información de temperatura de ida y de caudal por circuito. Llevan un caudalímetro por circuito indicando los litros/hora que pasan por él. Permiten un ajuste de los detentores para cada uno de los emisores o circuitos independientes.

- Los que incorporan información de temperatura de ida, de caudal por circuito y de temperatura de retorno por circuito.

#### **1.3.11.6. GENERADORES DE CALOR**

En una instalación de calefacción por suelo radiante puede usarse cualquiera de los aparatos existentes para producir agua caliente para calefacción tales como: calderas de gasoil, calderas de gas, chimeneas recuperadoras, bombas de calor aire-agua, calderas eléctricas y colectores solares.

Sin embargo, pueden ser más simples los sistemas que incorporen generadores de calor que puedan trabajar con temperaturas de agua de 30 a 50 °C. Esto lo cumplen las calderas de gas, las bombas de calor y las calderas eléctricas.

También son muy apropiados los colectores solares térmicos de placa plana, dado que por su temperatura de trabajo se adaptan perfectamente a los requerimientos térmicos del agua de circulación.

### **1.3.12. FORMAS BÁSICAS DE DISTRIBUCIÓN DEL TUBO**

La distribución del tubo debajo de la solería no debe ser aleatoria, procurando que la disposición del tubo embutido en la capa de mortero repercute en un reparto homogéneo del calor por toda la superficie del solado.

Esto se consigue determinando la separación entre tubos y manteniendo un mínimo espesor de la capa de mortero por encima de la generatriz superior del tubo (recomendable 4 cm).

Se puede jugar con este espesor si se tiene en cuenta que a mayor espesor habrá más acumulación de calor y por tanto más inercia, y a menor espesor el efecto térmico en los recintos se notará con más rapidez desde la puesta en marcha.

El tubo se extiende formando serpentines o espirales con tres formas básicas: la distribución en serpentín simple, la distribución en doble serpentín, la distribución en espiral.

Para cualquiera de los tipos de distribución, siempre se comienza a unos 10 o 15 cm de una de las paredes o límites del circuito y se alinea el tubo de forma paralela a los mismos.

#### **1.3.12.1. DISTRIBUCIÓN EN SERPENTÍN SIMPLE**

Consiste en deslizar el tubo formando líneas paralelas de ida y vuelta manteniendo la equidistancia de cálculo entre ellas.

Este sistema es el más sencillo pero presenta la desventaja de que se calienta más la solera al principio del recorrido que al final, por lo que se crean diferenciales de temperatura en las estancias.

Sin embargo, las diferencias de temperatura en la habitación no son tan grandes como cuando la calefacción es por radiadores.

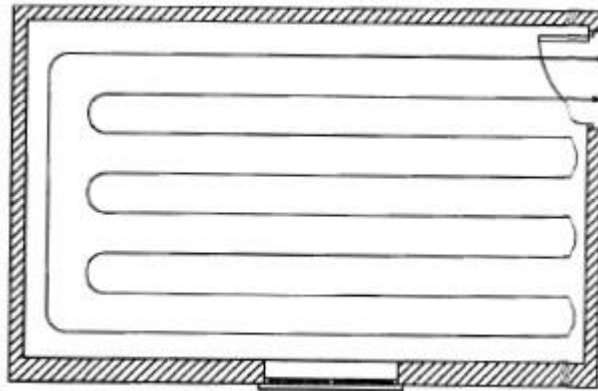
Para intentar subsanar esto debería instalarse un mecanismo que invirtiera el flujo cada cierto tiempo, convirtiendo la ida en el retorno y viceversa.

Los sistemas en serpentín se adaptan a espacios alargados.

Pueden hacerse curvas más cerradas si se calienta el tubo insuflándole aire caliente o llenándolo de agua caliente, nunca con llama directa del soplete, pues se romperían los enlaces químicos que forman el reticulado que confiere las especiales características de resistencia y durabilidad.

En la figura 6.19, puede observarse un ejemplo del sistema de distribución por serpentín simple.

Figura 6.19: Distribución en serpentín simple.



#### 1.3.12.2. DISTRIBUCIÓN EN DOBLE SERPENTÍN

Se ejecuta intercalando una línea de ida con otra de retorno. De este modo, lo que se tiene son dos tubos paralelos con fluido de ida seguidos de otros dos con fluido de retorno, por este motivo podrían provocarse franjas de solado más calientes y franjas más frías.

En la figura 6.20, se muestra un ejemplo del sistema de distribución por serpentín doble.

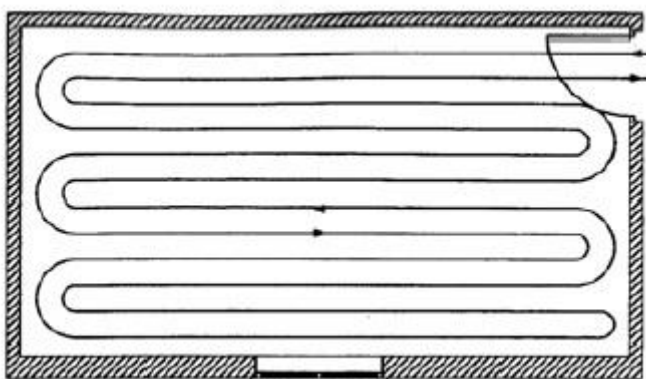


Figura 6.20: Distribución en doble serpentín. [6]

### 1.3.12.3. DISTRIBUCIÓN EN ESPIRAL

Consiste en desliar el tubo desde los límites exteriores hacia el centro de la habitación, dejando entre líneas paralelas dos distancias de separación para poder volver con el tubo por entre cada dos líneas y que al final todas las líneas disten la misma distancia unas de otras.

Una vez que se llega al centro se hacen dos giros de  $180^\circ$  y se sale por el medio del espacio dejado. La espiral debe seguir tramos paralelos a la forma de la habitación o zona aunque ésta sea irregular.

Es el modo de distribución que mejor homogeneíza la temperatura de la superficie radiante, pues se van intercalando los primeros tubos de ida con los últimos de retorno.

La figura 6.21, representa la distribución en espiral del circuito de distribución.

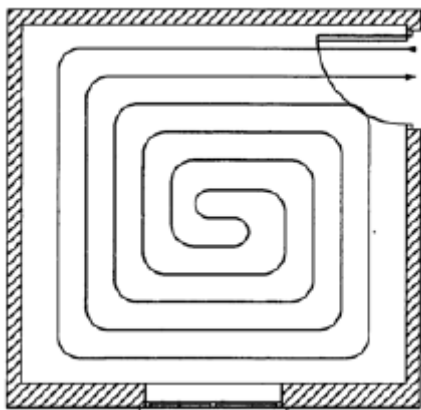


Figura 6.21: Distribución en espiral. [6]

La distribución en espiral se adapta con facilidad a cualquier forma geométrica cuadrada o rectangular, e incluso poligonal de más o menos de 4 lados; además permite salvar con sencillez zonas por donde no deben ir, o no es necesario que vayan, tuberías como son las superficies sobre las cuales se va a colocar una chimenea, o muebles de cocina o mobiliario de obra.

Las curvas son de  $90^\circ$  salvo geometrías con ángulos distintos y a excepción de las dos curvas necesarias para dar la vuelta en el centro de los circuitos. Por este motivo es muy adecuado para separaciones de tubo pequeñas, donde las curvas a  $180^\circ$  presentan enorme dificultad.

#### 1.3.12.4. VARIANTES EN EL MODO DE DISTRIBUCIÓN

Existen una serie de variantes de las tres formas básicas vistas hasta ahora. Éstas van encaminadas a mejorar las características de homogeneidad térmica del suelo y a evitar, o compensar, las asimetrías radiantes debidas a zonas superficiales más frías o calientes que otras, así como a facilitar los giros del tubo ampliando su radio de curvatura.

En habitaciones alargadas con un gran ventanal se crearán diferenciales de emisión térmica realizando dos zonas con distinta separación entre tubos.

Esto se puede conseguir con una doble espiral, se realiza primero una espiral con una separación entre tubos, y al terminar ésta, una segunda con menor separación en la zona más próxima al acristalamiento.

Si la estancia es muy grande, al calcular el número de circuitos es posible que salgan dos para la misma habitación. Esto ocurre, para evitar que los circuitos sobrepasen un número de metros de tubo que provocaría demasiada pérdida de carga.

Si algún circuito presenta mucha diferencia de caída de presión respecto de los demás puede dificultarse el equilibrado hidráulico y térmico de la instalación. En este último caso se puede realizar dos circuitos con separaciones diferentes. Un ejemplo de esta situación, se representa en la figura 6.22.

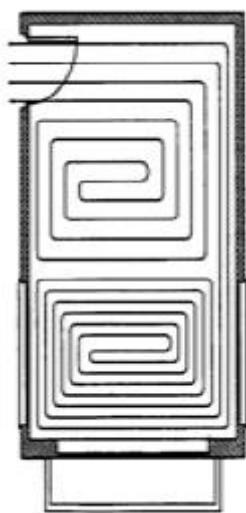


Figura 6.22: Distribución mediante doble espiral.

Una forma muy cómoda y adecuada de establecer un diferencial de emisión térmica consiste en hacer una sola espiral, en la que los tubos de debajo de los ventanales quedan a menor distancia que en el resto de la habitación.

Hay que tener en cuenta, que esto puede ser así para cada una de las paredes de un circuito que tenga grandes ventanas. A este sistema se le denomina distribución con diferencial de carga térmica.

En el caso de que la habitación o local tenga tres paredes exteriores que, por ejemplo, por su orientación norte, se prevea que van a ser paredes muy frías, se puede realizar una espiral partida, que es como un serpentín simple del centro hacia afuera, en la que el aporte de calor es mayor cuanto más cerca se esté de los muros exteriores.

En este caso no es indiferente la dirección de circulación del agua en el circuito, ya que la ida debe entrar por el exterior y el retorno salir del centro de la habitación, pues si se hiciese de manera errónea, se produciría el efecto contrario al deseado.

En la figura 6.23, se muestra un ejemplo de esquema de distribución por espiral partida.

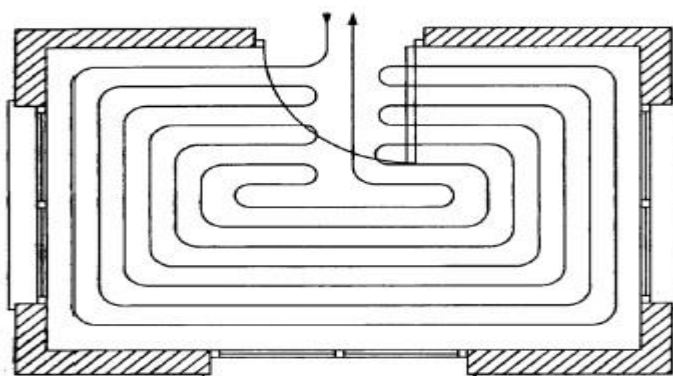


Figura 6.23. Espiral partida. [6]

En grandes locales, como iglesias, invernaderos, etc., o en exteriores, como tejados o campos de fútbol, la distribución puede hacerse utilizando dos tubos embutidos de mayor diámetro que actúen como tubos colectores de otros de menor diámetro conectados a ellos mediante té. Para esta solución la tubería idónea es el polipropileno copolímero, ya que se pueden usar accesorios para soldar por polifusión.

En instalaciones de este tipo es imprescindible la colocación de un inversor de flujo que actúe intercambiando la ida por el retorno cada cierto tiempo; una válvula de cuatro vías comandada por un cabezal eléctrico con accionamiento todo-nada puede realizar esta función.

La regulación del accionamiento de la electroválvula podría hacerse con un interruptor horario que la accione con intervalos de media hora o una hora.

Con este tipo de distribución deberá procurarse un buen equilibrado hidráulico para que por cada tubo de la red circule aproximadamente el mismo caudal de agua.

La figura 6.24, representa el sistema de emparrillado con tubos, un sistema alternativo al descrito anteriormente.

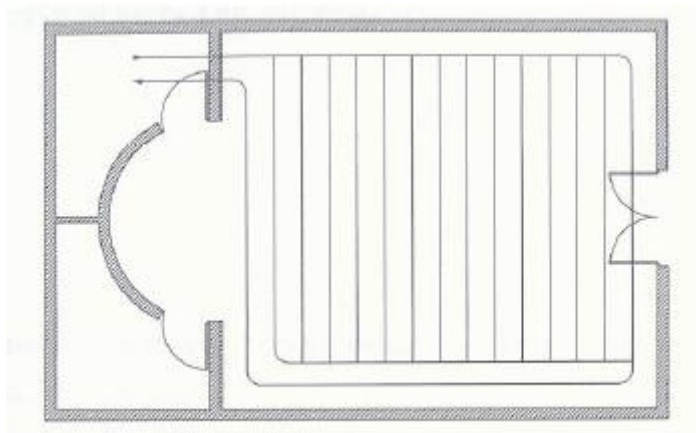


Figura 6.24: Distribución con emparrillado de tubos.

#### 1.4.1 Captadores solares

En líneas generales, la instalación está compuesta por un conjunto de captadores solares térmicos los cuales son captadores planos situados en una cubierta no transitable del edificio de oficinas, un sistema de intercambio y acumulación y un sistema de aporte de energía convencional auxiliar mediante caldera de biomasa.

Los tres sistemas están unidos entre sí mediante circuitos hidráulicos que conducen el fluido caloportador o el agua de consumo según el esquema de la instalación recogido en los planos correspondientes.

Los componentes de la instalación y sus características se describen en los siguientes apartados.

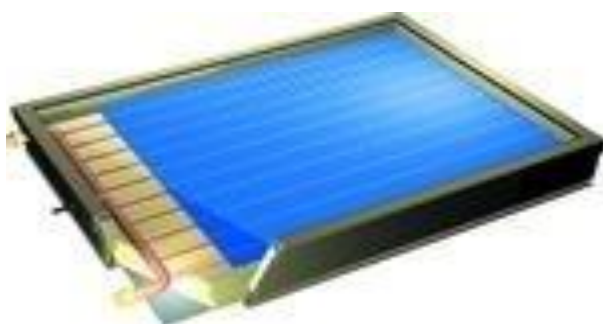
##### 1.4.1.1. Características de los captadores

Los captadores a colocar serán planos, donde la carcasa será de aluminio anodizado con doble pared para protegerlo de la corrosión, tapa posterior de aluminio sellado, para darle una impermeabilidad mayor ante cualquier situación atmosférica, para garantizar un alto rendimiento tendrá que tener un aislamiento ecológico de lana de roca, para una alta eficiencia el absorbedor será altamente selectivo de TINOX, el vidrio será prismático de



seguridad, sellado de goma EPDM que dará resistencia a rayo UV y a cualquier condición atmosférica y certificado por ITW.

- Largo x Ancho x Profundo.: 1985x1045x93 mm
- Superficie bruta: 2,08 m<sup>2</sup>
- Superficie de Absorción: 1,91 m<sup>2</sup>
- Conexiones 2x18 mm CU; conexión cónica
- Capacidad: 1,3 Litros
- Caudal: 100 Litros
- Peso en vacío: 38 Kg
- Rendimiento óptico  $\eta_0$ : 81,2 %
- Coeficiente de pérdidas a1: 4,31 W/m<sup>2</sup>/K
- Coeficiente de pérdidas a2: 0,0037 W/m<sup>2</sup>/K



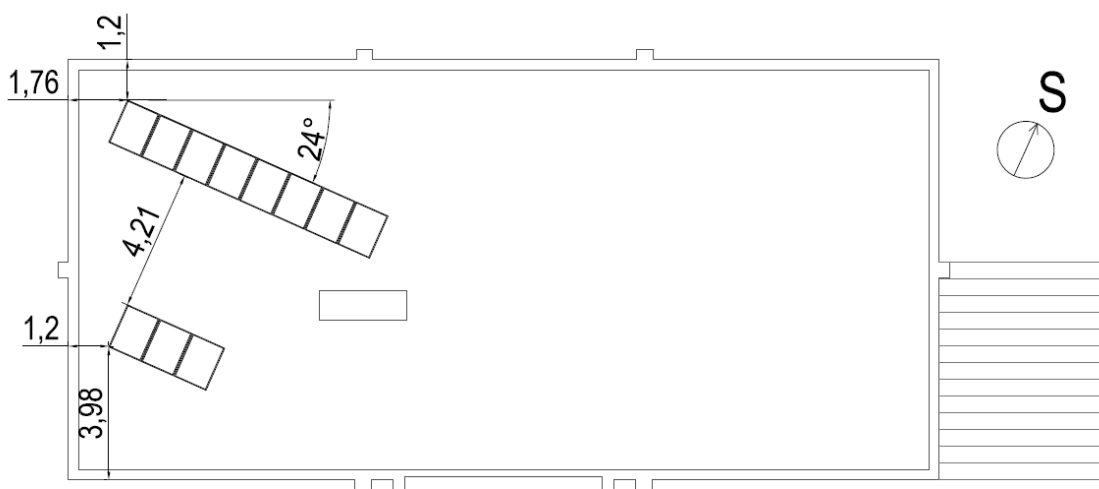
#### 1.4.1.2. Distribución de los captadores

Los captadores están situados en una cubierta no transitable horizontal donde se representa a continuación:

Inclinación de los captadores: 45°

Desviación respecto sur (ángulo azimuth): 0°

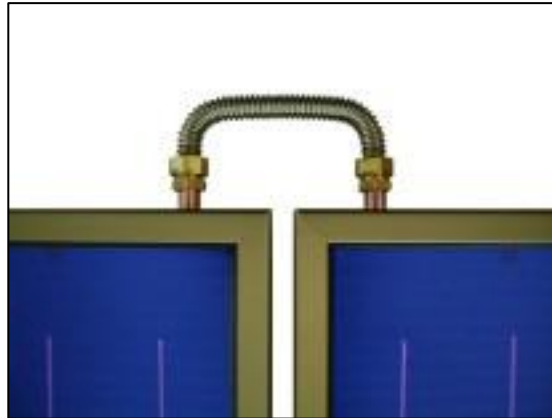
Latitud del captador: 37°





#### 1.4.1.3. Conexión de los captadores

El sistema de conexión de los paneles solares está situado en la parte superior de los mismos. Los tubos flexibles para la conexión captador-captador están realizados en acero inoxidable y los dos extremos disponen de ensamble con casquillo cónico para junta estanca.



#### 1.4.1.4. Estructura soporte de los captadores

Estructura para el montaje sobre cubiertas planas o terrazas con aleros de edificios hasta 8 metros de alto (DIN 1055/4). Inclinação del soporte ajustable entre 20 a 45°. Anclaje a cargo del instalador.

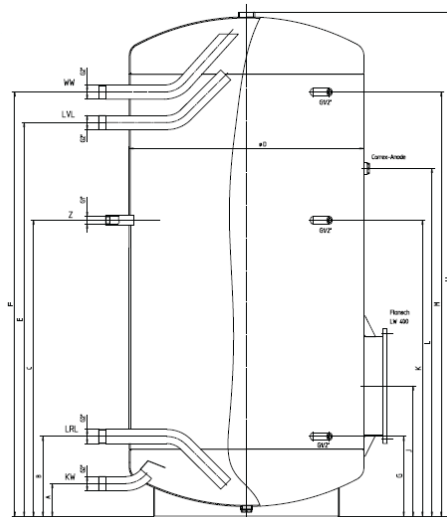
Comprende:

- Soportes pre-montados de aluminio, con raíles de montaje y pequeñas piezas de acero inoxidable
- Juego de empalmes cónicos 18 mm
- Conectores cónicos 18 mm para cada captador adicional



#### 1.4.2 Acumulador

El acumulador que se instalara será de acero vitrificado sin serpentín con las siguientes características o similar:



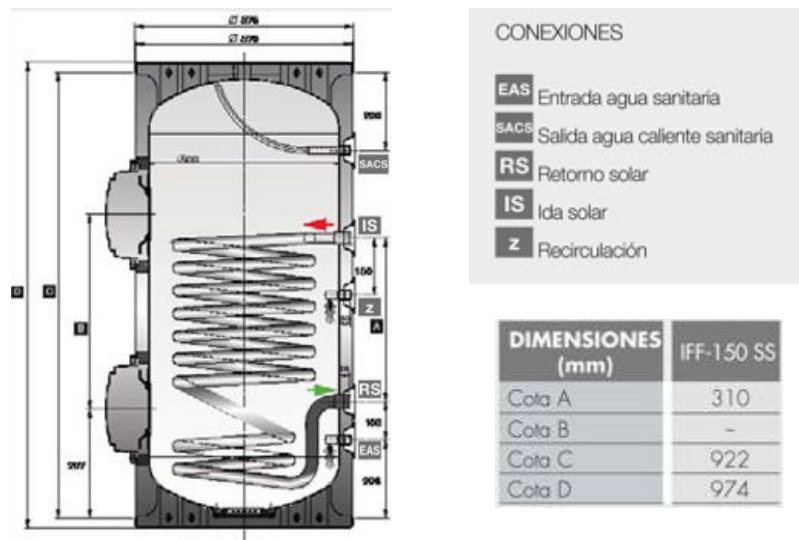
Tipo	H mm	fID mm	A mm	B mm	C mm	E mm	F mm	G mm	J mm	K mm	L mm	M mm	Peso Kg
LSD 2000	2313	1100	100	343	1225	1847	1997	318	547	1225	1612	1997	420

- Equipados con una brida de 400 mm.
- Construidos en acero al carbono y vitrificados interiormente al vacío con dos capas de esmalte cocido a 850°C, según proceso patentado VACUMAIL® (DIN 4753).
- Espesor del esmalte absolutamente uniforme.
- Todos los modelos incorporan ánodo de magnesio como protección suplementaria contra la corrosión. (Opcional AE CORREX) = ánodo de protección catódica.
- Caldera de chapa de acero esmaltada según DIN 4753
- Salida de agua caliente lateral
- Conexiones de carga: rosca interna de 6/4"
- Circulación: rosca interna de 1"
- Manguito de termómetro: rosca interna de 1/2"
- 2 manguitos de regulación o medición: rosca interna de 1/2"
- Revestimiento directo de espuma de PU hasta 500 litros con recubrimiento de chapa de acero en RAL 9016

- Envoltente blando para todos los modelos.
- Posibilidad de extracción adicional de agua a través del manguito o de la brida en la zona de la cubierta
- Termómetro indicador
- Presión de funcionamiento: máx. 10 bares
- Temperatura de funcionamiento: máx. 95°C

Para la prevención de la legionelosis se ha optado por la conexión puntual entre el acumulador solar y el sistema auxiliar, de forma que se pueda calentar éste último con el auxiliar, instalándose un termómetro en lugar fácilmente visible para la comprobación de la temperatura, y la realización de dicho tratamiento.

También se colocará un interacumulador de 150 litros para el consumo de agua caliente sanitaria con las siguientes características o similar:



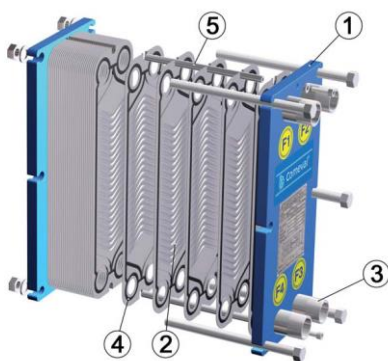
#### 1.4.4 Intercambiador de calor

La Serie estándar de Intercambiadores de Placas S consiste en un bastidor con placas recambiables y juntas de estanqueidad de caucho, sin elementos de soldadura. Las placas están preformadas de acuerdo a un diseño de corrugación que facilita el intercambio térmico entre los fluidos primario y secundario.



Las características de los Intercambiadores de Placas son las siguientes:

- Compactos; con una gran superficie de intercambio y las placas en conjunto proporcionan una mayor eficiencia térmica requiriendo menor espacio de instalación.
- Alto rendimiento térmico; Precisión de intercambio y mayor superficie de intercambio térmico, los circuitos funcionan a contra corriente y el resultado es una gran transferencia térmica.
- Seguridad; ausencia de contaminación entre circuitos debido al sellado independiente de ambos mediante las juntas de estanqueidad. El área intermedia ventea a atmósfera en caso de rotura ó desgaste de juntas, evitando así la no deseada contaminación interior.
- Livianos; su diseño proporciona más fácil manipulación en planta, embarque y seguridad de uso en la instalación.
- Ensuciamiento mínimo; debido a su diseño auto limpiante de las placas.
- Mínima corrosión y desgaste de materiales.
- Costes de operación mínimos.
- Expansibilidad y durabilidad; posibilidad de ampliación de placas para el futuro incremento del rendimiento térmico en planta y renovación de efectividad con el cambio de placas.
- Juntas de caucho incrustadas a presión, sin colas.



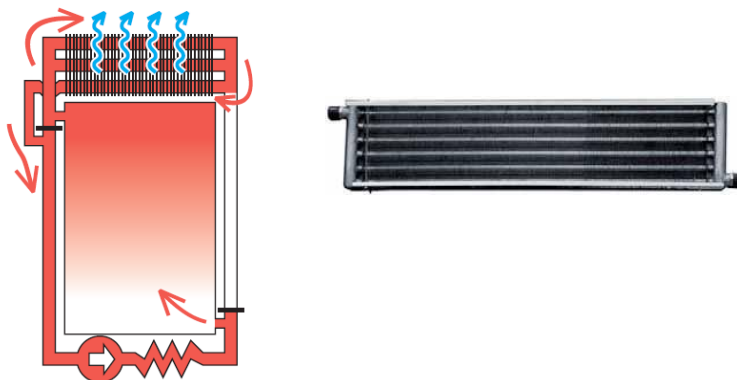
Partes del intercambiador de placas:

- 1 Bastidor de Acero Carbono (pintado) EPOXI
- 2 Placas Acero Inoxidable AISI 316
- 3 Conexiones roscadas Acero Inoxidable AISI 316
- 4 Juntas NBR ó EPDM
- 5 Guías Placas de Acero Inoxidable

#### 1.4.5 Sistema de disipación

En épocas de gran aportación solar y baja demanda de calor, situación típica del verano, y cuando la temperatura de salida de los colectores se sitúa en torno a los 90°C, la válvula inicia la apertura de la vía hacia el disipador y se produce el enfriamiento del fluido. A partir de éste momento, la válvula dará mayor ó menor paso hacia el disipador, en función de la temperatura de salida. El tubo de by-pass desempeña el papel de retorno del intercambiador de calor. A mayor temperatura, mayor sección de salida hacia el intercambiador y menor de paso a la instalación, e inversamente. El doble émbolo de la válvula se posicionará automáticamente, manteniendo en todo momento la temperatura límite consignada, 90°C.

DISIPACIÓN NORMAL CON BOMBA  
(BAJA DEMANDA ENERGÉTICA):



Para los meses sin demanda de calefacción ( de mayo a septiembre), se optara por la colocación de toldos, tapando la superficie de captadores, excepto en uno de ellos para el consumo de ACS y que llevara como disipador el método anteriormente mencionado.

#### 1.4.6 Circuito hidráulico

El sistema hidráulico es el esqueleto de toda la instalación. Gran parte del correcto funcionamiento de todo el sistema vendrá dado por el correcto dimensionado de todo el sistema. Todos los elementos que componen el sistema hidráulico están diseñados y dimensionados para cumplir los requisitos de la instalación solar.

Los componentes principales del sistema hidráulico de una instalación de energía solar están unidos entre sí mediante conductos cuyo fin es el de hacer llegar los fluidos que transportan y en consecuencia su energía.

#### 1.4.6.1. Circuito primario

El circuito primario une los captadores solares con el sistema de intercambio, y está constituido por tuberías de cobre sanitario formando todo ello un circuito cerrado. Las uniones serán soldadas, se ha concebido un circuito hidráulico equilibrado en sí mismo.

Para la disminución de las pérdidas de cargas terminas se colocará según el RITE un aislamiento de 35 mm según la tabla 1.2.4.2.1 de dicho reglamento para las tuberías que discurren por el exterior del edificio y un aislamiento de 25 mm, según la tabla 1.2.4.2.2 para aquellas tuberías que van a ir coloca en el interior, con lo cual esos serán los diámetros a colocar en esta instalación.

Las válvulas de acuerdo con las funciones que desempeñan serán de material compatible con las tuberías y son las indicadas en los planos de la instalación correspondientes. Los criterios para la instalación de válvulas dentro del circuito vienen determinadas en la HE 4 del CTE. Según su función serán válvulas de esfera.

El fluido caloportador de este circuito es agua con líquido anticongelante considerando las bajas temperaturas de invierno que pueden ocasionar problemas en las tuberías y captadores.

#### 1.4.6.2. Circuito secundario

El circuito secundario une el intercambiador con el acumulador

#### 1.4.6.3. Circuito de consumo

Circuito por el que circula el agua de consumo hasta cada usuario. Este circuito quedará definido en el capítulo correspondiente de fontanería.

#### 1.4.6.4. Bombas de circulación

La bomba de circulación será la encargada de hacer circular al fluido a través del circuito de la instalación venciendo la resistencia que presentarán los diferentes elementos de la instalación.

La bomba elegida para el circuito primario es un Wilo modelo Star-RS 15/4 con una potencia de 0,017 Kw o similar.

La bomba elegida para el circuito secundario de calefacción es de Wilo modelo Star-RS 25/2 con una potencia de 0,007 Kw o similar, dichas bombas se colocaran en paralelo.

En nuestra instalación la bomba que impulsará el fluido será de rotor húmedo, siendo el tipo de bomba más utilizado en instalaciones de pequeño y medio tamaño como la nuestra.

Habitualmente este tipo de bombas de circulación dispone de dos motores en el mismo cuerpo de la bomba, por lo que si fallase uno de los dos podría repararse sin detener la bomba y sin afectar al funcionamiento del sistema ya que la bomba auxiliar entraría en funcionamiento asegurando la impulsión del fluido a través de los conductos.

Su instalación se producirá en el retorno del circuito, también conocido como lado frío del sistema, e incorporará un manómetro diferencial para la comprobación de las pérdidas en los tramos de impulsión y retorno del circuito.

Incorporará además dos válvulas de corte para la reparación o cambio de bomba si fuera necesario para evitar de esta manera el vaciado total del circuito.



#### 1.4.6.5. Vaso de expansión

El vaso de expansión tendrá la finalidad de absorber las dilataciones del fluido caloportador, por lo que todas las instalaciones donde los fluidos sufran cambios de temperatura deberán incorporar alguno dentro del sistema.



Después de hacer los cálculos oportunos, teniendo en cuenta las pérdidas de carga y el volumen de fluido caloportador que va a poseer el circuito primario, se colocará un vaso de expansión de 18 litros y 8 bar de presión.



Para el circuito secundario de calefacción se colocará un vaso de expansión de 12 litros y 8 bar de presión.

#### 1.4.6.6. Purgador

Pese a que la presencia de purgadores manuales o automáticos en circuitos hidráulicos pueda ser perjudicial para la instalación a causa del posible efecto de la corrosión, cavitación de bombas, ruido o disminución del rendimiento de los intercambiadores, serán necesarios para permitir la evacuación del aire acumulado en el circuito.

Los purgadores se instalarán en los puntos más altos de los circuitos y en posición vertical.

El desaireador asegura que los gases disueltos en el líquido sean evacuados hacia el exterior por el purgador. Se logra haciendo 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 situado en la parte superior.

Cada cierto tiempo los circuitos deben ser purgados estando el circuito templado y con la bomba de circulación en funcionamiento.



#### 1.4.6.7. Válvulas

Las válvulas son elementos colocados estratégicamente dentro del circuito hidráulico para regular o interrumpir el paso del agua según las necesidades del circuito.

Los criterios para la instalación de válvulas dentro del circuito vienen determinadas en la HE 4 del CTE.



Las válvulas de paso serán las encargadas de interrumpir parcial o totalmente el paso del fluido a través del conducto. Contienen una bola de acero inoxidable que está situada en un orificio del mismo diámetro del tramo donde la instalamos. Según su posición introducirá un obstáculo más o menos importe al paso del agua introduciendo a su vez una pérdida de carga.

Otro tipo de válvulas necesarias en las instalaciones serán las válvulas termostáticas, ya que debemos saber que en las instalaciones solares se producirán temperaturas elevadas que pueden ocasionar quemaduras a los usuarios de la instalación.



Por esta razón el CTE posee un apartado denominado “Protección contra quemaduras” en la HE 4, que nos indica que en los puntos de consumo donde el agua pueda exceder los 60°C es de obligatorio cumplimiento la instalación de sistemas automáticos de mezcla que limiten la temperatura a los 60°C de consumo. Este sistema debe ser capaz de aguantar las temperaturas máximas que se puedan tener debidas a la radiación del Sol.

#### 1.4.6.8. Sistema de llenado

El circuito incorporará un sistema de llenado manual que permitirá llenar y mantener presurizado el circuito.

#### 1.4.6.9. Sistema de control

El sistema de control instalado es del tipo con *sondas de temperatura para el control diferencial se colocarán en la parte superior de los captadores de forma que representen la máxima temperatura del circuito de captación. El sensor de temperatura de la acumulación se colocará en la parte inferior en una zona no influenciada por la circulación del circuito secundario o por el calentamiento del intercambiador si éste fuera incorporado,* asegura el correcto funcionamiento de la instalación obteniendo un buen aprovechamiento de la energía solar captada y asegurando un uso adecuado de la energía auxiliar.

El sistema de control asegura que en ningún caso se alcancen temperaturas 90°C superiores a las máximas soportadas por los materiales, componentes y tratamientos de los circuitos, y que en ningún punto la temperatura del fluido de trabajo descienda por debajo de una temperatura 3 °C superior a la de congelación del fluido.

#### 1.4.7 Sistema de medida

La instalación dispone de los suficientes aparatos de medida de presión y temperatura que permiten su correcto funcionamiento, como son el manómetro y termómetros.

El manómetro será el elemento encargado de darnos el valor de la presión que tenemos en un determinado punto dentro del circuito.

En un sistema de energía solar como el nuestro serán obligatorio situar uno dentro del circuito primario y otro en el circuito secundario o dispositivo de acumulación solar.



Los termómetros empleados para el conocimiento de la temperatura del fluido en un determinado punto de todo el circuito hidráulico. Normalmente situados en los acumuladores y en los circuitos primario y secundario de los intercambiadores de calor. Se pueden clasificar en dos tipos, de contacto y de inmersión.

Dentro de grupo de termómetros de contacto encontramos los de abrazadera, que se colocarán alrededor y en contacto en el punto de la tubería donde necesitamos averiguar la temperatura de paso del fluido.

Los de inmersión se introducen en una vaina que se coloca en el interior de la tubería, obviamente la fiabilidad de este tipo de termómetros será mucho mayor ya que el contacto con el fluido es mucho más directo.



#### 1.4.8 Sistema de energía convencional auxiliar

Se dispone un equipo de energía convencional auxiliar para complementar la contribución solar suministrando la energía necesaria para cubrir la demanda prevista y garantizar la continuidad del suministro de agua caliente en los casos de escasa radiación solar o demanda superior a la prevista.

El sistema convencional auxiliar está diseñado para cubrir el servicio como si no se dispusiera del sistema solar. Sólo entrará en funcionamiento cuando sea estrictamente necesario y de forma que se aproveche lo máximo posible la energía extraída del campo de captación.

Se trata de caldera individual modulante que utiliza biomasa. Dispone de un termostato de control de temperatura que en condiciones normales de funcionamiento permite cumplir la legislación vigente en cada momento referente a la prevención y control de la legionelosis.

#### 1.4.9 Sistema de caldera

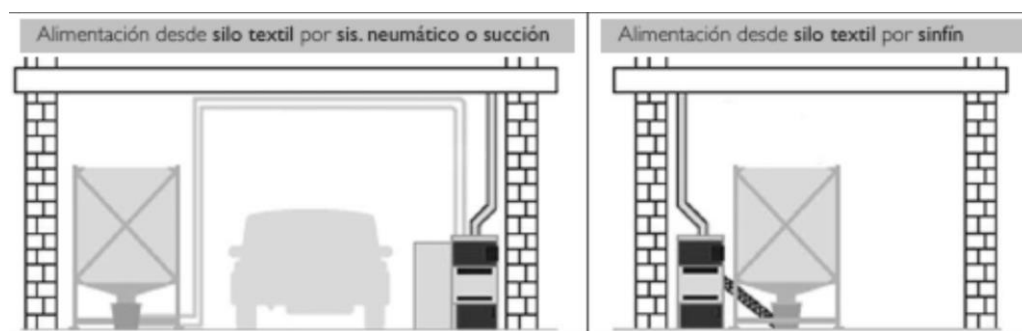
El sistema utilizado es una caldera de biomasa, por su alto rendimiento energético, con una potencia de 29 Kw, de la marca KP21 biocalora o similar.



Las características que deberá poseer dicha caldera será:

- Funcionamiento automático con microprocesador.
- Eficiencia de hasta el 92% dependiendo del modelo a instalar.
- Intercambiador vertical con tubuladores.
- Salida de potencia modulante.
- Ventilador de humos integrado.
- Construcción en acero de 5 mm recubierto con capa de comaxita para una larga vida.

La alimentación de la caldera se realizará mediante silos, donde podemos encontrar dos formas diferentes de la alimentación:



Para nuestra instalación utilizaremos la alimentación desde silo textil por sinfín, debido al poco espacio que hace falta para la realización de dicha alimentación.

#### 1.4.10 Sistema de monitorización

Para el caso de instalaciones mayores de 20 m<sup>2</sup>, como es el caso de nuestra instalación, se deberá disponer al menos de un sistema analógico de medida local que indique como mínimo las siguientes variables:

Temperatura inferior del acumulador solar

Temperatura de captadores

Caudal por el circuito primario

El tratamiento de los datos proporcionará al menos la energía solar térmica acumulada a lo largo del tiempo.

