

EREE03: CONFIGURACIÓN DE IST.

1. Configuraciones básicas y circuitos de IST.....	
1.1 Criterios de clasificación, esquemas de configuraciones básicas de IST.....	
2. Componentes de una IST.....	
2.1 Captadores. (EREE02).....	
2.1.1 Captador plano. (EREE02).....	
2.1.2 Tubos de vacío. (EREE02).....	
2.2 Fluido caloportador. (EREE02).....	
2.3 Campo de captadores. (EREE02).....	
2.4 Intercambiadores.....	
2.5 Depósitos de acumulación.....	
2.6 Energía de apoyo.....	
2.7 Circulación por termosifón y forzada.....	
2.8 Sistema Drain-Back.....	
2.9 Circuito hidráulico.....	
2.9.1 Tuberías.....	
2.9.2 Bombas de circulación.....	
2.9.3 Depósitos de expansión.....	
2.9.4 Aislamiento.....	
2.9.5 Purgadores.....	
2.9.6 Valvulería y accesorios.....	
3. Cálculo del circuito hidráulico (I).....	
3.1 Redes de tuberías.....	
3.2 Cálculo de presiones.....	
3.3 Estancamiento.....	
3.4 Selección del vaso de expansión.....	
4. Regulación y control.....	
4.1 Control diferencial.....	
4.2 Análisis arranque circuito primario.....	
4.3 Sistemas de protección al sobrecalentamiento.....	
4.4 Circuito de recirculación.....	
4.5 Tratamiento térmico para prevención de la Legionelosis.....	
5. Configuraciones de IST. Esquemas de principio.....	
5.1 ACS en viviendas unifamiliares.....	
5.2 ACS en grandes instalaciones individuales.....	
5.3 Instalaciones centralizadas para más de un usuario.....	
5.3.1. Totalmente centralizada.....	
5.3.2. Acumulación centralizada y apoyo descentralizado.....	
5.3.3 Producción de ACS descentralizada con intercambiadores distribuidos.....	
5.3.4. Acumulación y producción distribuidas.....	
5.3.5 Totalmente individuales.....	
5.4 IST para ACS y calefacción.....	
5.5 IST para piscina cubierta.....	
5.6 IST para piscina al aire libre.....	
6. Dimensionado básico. Superficie de captación.....	
6.1 Métodos de cálculo: simplificados y detallados.....	
6.2 Parámetros de funcionamiento.....	
6.3 Método simplificado F-chart (I).....	
6.4 Método simplificado F-chart (II).....	
6.5 Pérdidas en la distribución y recirculación.....	
6.6 Aplicaciones informáticas.....	
7. La Documentación técnica.....	
8. Mantenimiento.....	
.....	

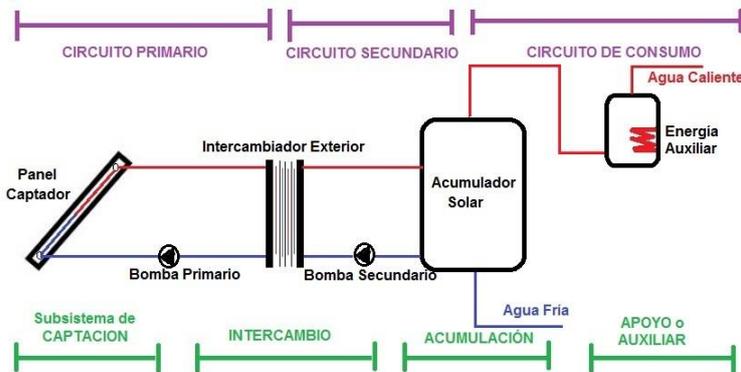
1.- Configuraciones básicas y circuitos de IST.

Piensa un poco en los subsistemas de la unidad anterior, y recuerda cómo en varios de ellos existía la posibilidad de encontrar diferentes modalidades de un mismo subsistema, cómo por ejemplo en el intercambiador, si era externo o interno al depósito acumulador, o si existía o no el intercambiador.

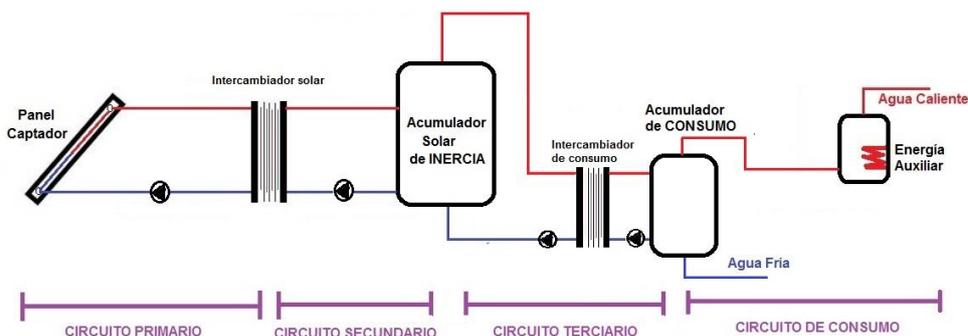
La ausencia o presencia, y sus variantes, tanto de los intercambiadores, como del resto de componentes de los subsistemas dan lugar a una amplia variedad de configuraciones. La elección de la más adecuada dependerá de muchos factores. Pero antes de pasar a analizar las diferentes configuraciones básicas, debes conocer previamente los diferentes circuitos que puedes encontrar en una IST. No siempre estarán todos.

- **Circuito primario:** es el que forman los captadores y las tuberías que los unen, y en el que el fluido de trabajo recoge la energía térmica producida en los captadores y la transfiere al circuito secundario a través de un intercambiador de calor.
- Circuito **secundario:** se encarga de recoger la energía captada en el circuito primario a través de un sistema de intercambio externo al subsistema de acumulación y transferirla a dicho subsistema.
- Circuito **de consumo:** es el que parte de la red de alimentación de agua fría y llega a los puntos de consumo.
- Circuito **terciario:** presente en sólo ciertas configuraciones, pues se trata del circuito encargado de recoger la energía almacenada en el acumulador, en este caso acumulador de inercia, y de transferirla al circuito de consumo a través de un intercambiador exterior. Será, por tanto, un circuito cerrado de inercia.

Cada uno de ellos tiene una relación directa con los subsistemas de una IST que ya viste en la unidad anterior, tal y como puedes identificar en la imagen del esquema adjuntado de la imagen



En esta otra imagen el esquema es con presencia de circuito terciario:



AUTOEVALUACIÓN:

El circuito secundario es el conjunto de conductos y componentes que:

- Sirve para transferir el calor captado en los paneles al acumulador solar.
- Transfiere al acumulador el calor recogido del circuito primario a través de un intercambiador exterior al depósito.
- Transfiere al subsistema de acumulación el calor recogido por el circuito primario a través de un intercambiador que se sitúa en el interior del propio acumulador.

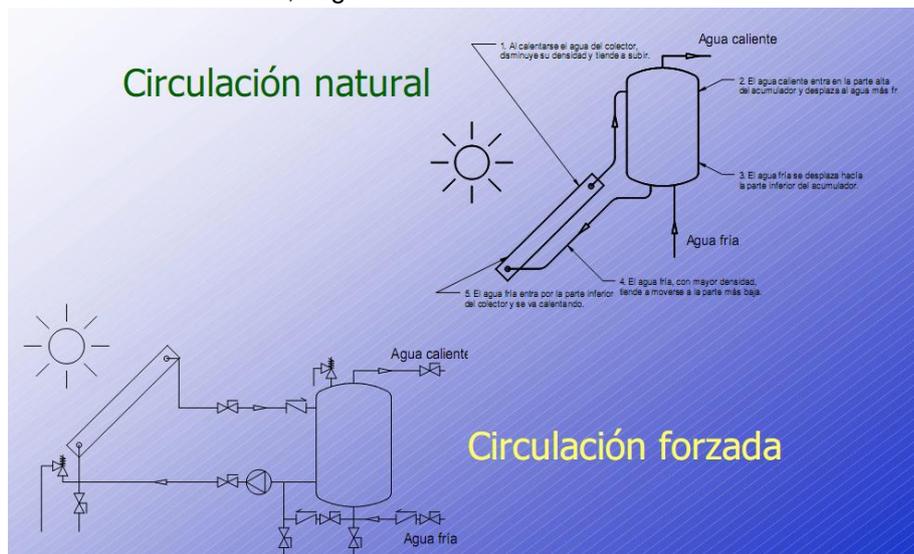
Siempre aparece en toda IST necesariamente, ya que transfiere al acumulador el calor recogido del circuito primario a través de un intercambiador.

1.1.- Criterios de clasificación, esquemas de configuraciones básicas de IST.

Ya conoces los posibles subsistemas de una IST y los circuitos que lo pueden componer y te habrás dado cuenta que muchas veces unas partes, circuitos, etc pueden estar presentes y otras no. Esto es debido a las necesidades de la instalación en sí, el tipo de edificio, de aplicación, etc. ¿Existirá, pues, una única configuración para todas las IST? Lógicamente, no.

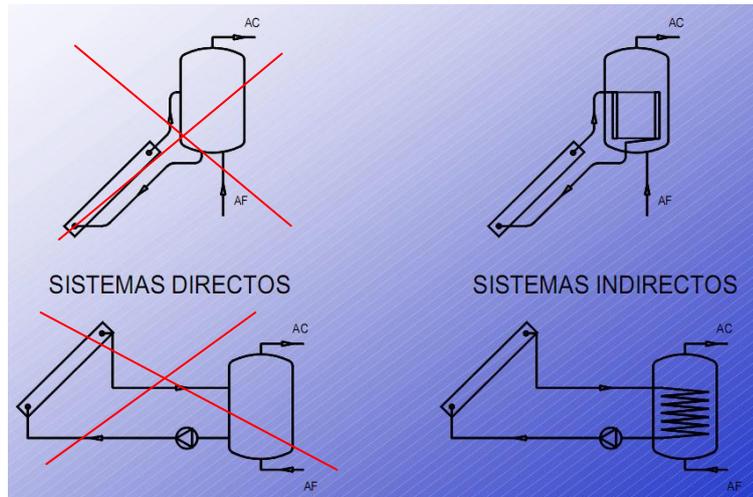
Las combinaciones de unos componentes u otros darán lugar a numerosas configuraciones. Pero una primera clasificación de las IST en base a varios factores, puede ser la siguiente:

- Atendiendo al **principio físico de circulación** en el primario, se clasificarán en
 - Instalaciones por **circulación forzada**. Utiliza una bomba de circulación para hacer circular el fluido de trabajo a través de los captadores solares por lo que la transferencia de calor al fluido tiene lugar por convección forzada.
 - Instalaciones por **termosifón**. Los propios cambios de densidad del fluido de trabajo, a consecuencia de las variaciones de temperatura, hacen circular al fluido caloportador entre el captador y el acumulador o entre el captador y el intercambiador de calor, según el caso.

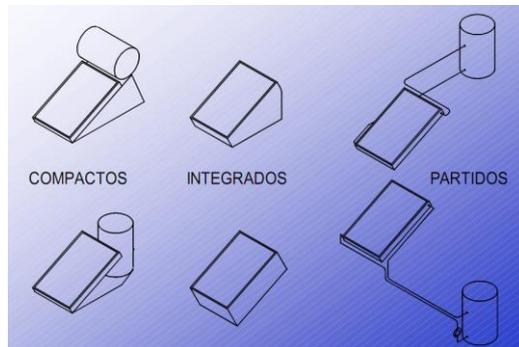


- En base al tipo de intercambio de calor entre captadores y el acumulador solar, se distinguen:
 - Instalaciones de transferencia directa, sin intercambiador de calor. Sólo en zonas con buena calidad del agua y sin riesgo de heladas. **Prohibido por el CTE.**

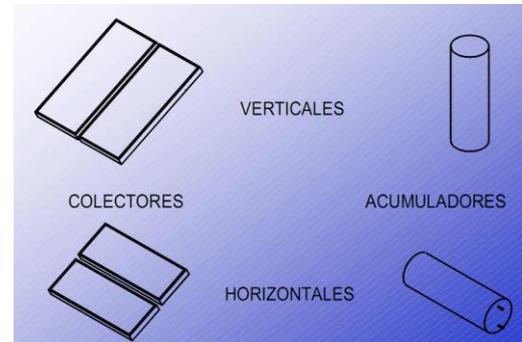
- Instalaciones indirectas, con intercambiador de calor incorporado en el acumulador solar. En este caso pueden ser de tipo serpentín o tipo doble envolvente.
- Instalaciones indirectas, con el intercambiador de calor exterior o independiente.



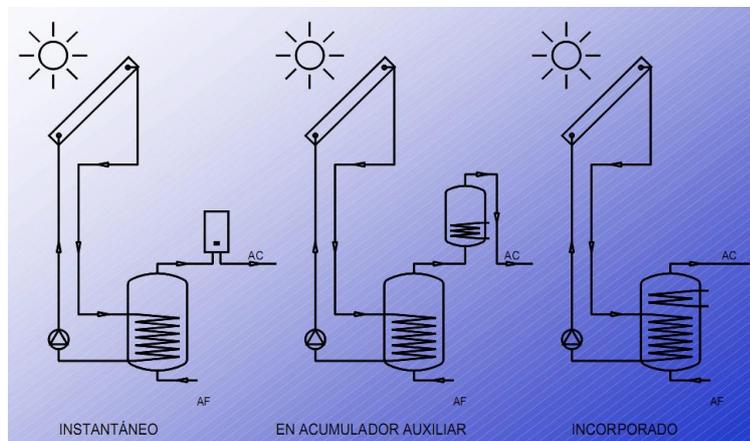
- Según el tipo del **subsistema de apoyo** o de energía auxiliar y las formas de acoplamiento, se diferencian:
- Sistema de energía auxiliar **individual en depósito secundario**.
 - Apoyo **centralizado en un depósito secundario**.
 - Sistemas de apoyos **distribuidos en depósitos secundarios**.
 - Sistema **centralizado en línea** (sin depósitos, con caldera instantánea o con intercambiador) .
 - Apoyo **distribuido en línea** (sin depósitos, con calderas o “termos” instantáneos)



En función acoplamiento componentes



En función disposición componentes



En función sistema de apoyo

AUTOEVALUACIÓN :

Una IST en un bloque de viviendas que cuente con sistema de energía de apoyo distribuido puede hacerlo colocando un depósito secundario o una caldera instantánea (en línea) en cada una de las viviendas:

- a) Verdadero.
- b) Falso.

2.- Componentes y dimensionado de una IST.

El especial funcionamiento de una IST, como es la variabilidad de la energía de entrada y de las condiciones de funcionamiento, del rendimiento de la instalación y las causas que lo modifican (estratificación, equilibrados hidráulicos, pérdidas térmicas, etc.), son cada vez más tenidas en cuenta, a diferencia del resto de instalaciones térmicas, debido fundamentalmente a las diferentes consideraciones económicas realizadas entre la energía convencional o renovable empleada.

La "inercia" tecnológica tendente a diseñar las IST como las convencionales, ha de ser necesariamente vencida por parte de los técnicos del sector con objeto de contribuir al objetivo final de conseguir instalaciones solares fiables, eficientes y duraderas. La óptima selección de los componentes es fundamental en ello.

AUTOEVALUACIÓN :

Cuál de los siguientes aspectos vistos hasta el momento en las unidades anteriores no es punto de partida para la selección y dimensionado de los componentes de una IST por parte de Estrella:

- a) Estudio de viabilidad y rentabilidad del anteproyecto.
- b) Evaluación del potencial solar del emplazamiento.
- c) Cálculo de la demanda energética.
- d) Conocimiento de la aplicación a la que va destinada la IST y de la normativa.

2.1 Captadores. (EREE02)

2.1.1.1 Captador plano. (EREE02)

2.1.1.2 Tubos de vacío. (EREE02)

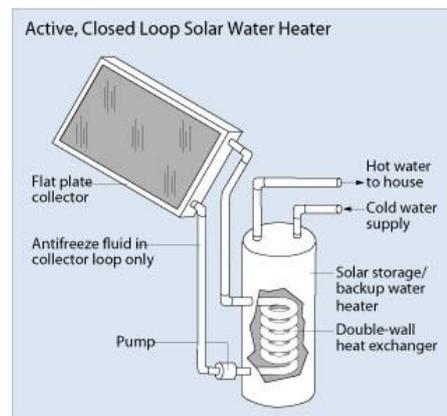
2.2 Fluido caloportador. (EREE02)

2.3 Campo de captadores. (EREE02)

2.4 Intercambiadores.

Ya viste en la unidad anterior el subsistema de intercambio. Obviamente este no se dará en los sistemas directos, en los que el fluido que circula por los captadores es la propia agua de consumo. Como vas a comprobar, existen varias formas de realizar el intercambio de calor del circuito primario al acumulador solar.

1. INTERACUMULADORES: intercambiadores incorporados en el acumulador, recomendables en instalaciones pequeñas por termosifón, ya que sus pérdidas de carga son menores respecto a los intercambiadores externos. Se recomienda una relación entre la superficie útil de intercambio y la de captación de al menos 0,2, frente al mínimo de 0,15 indicado por el CTE. Los hay de dos tipos:

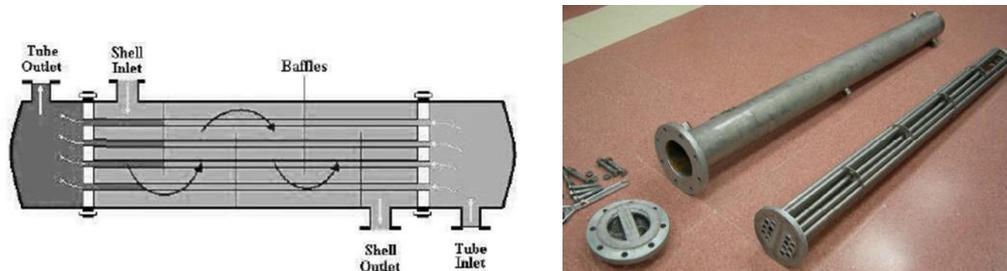
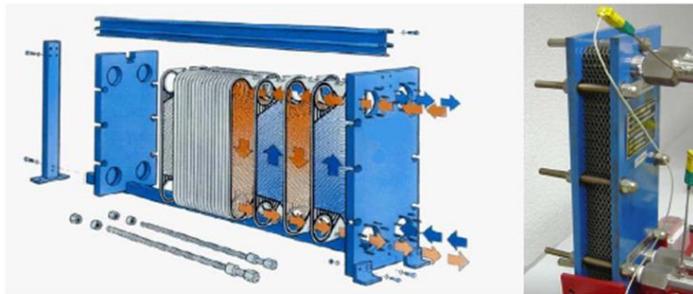


- **de serpiente**, sumergido en la parte inferior del depósito y con aletas para favorecer el intercambio de calor. El diámetro del tubo será $\leq 1"$ en sistemas forzados y $\geq 1"$ en termosifón (PCT de IST).

- **de doble envolvente**, en el que el fluido caloportador circula alrededor del depósito acumulador en una capa cilíndrica concéntrica. Este sistema es el más usado en los denominados equipos compactos, generalmente con sistema termosifón.

2. **Intercambiadores EXTERNOS**, usados únicamente en sistemas forzados, los dos fluidos que interactúan están en movimiento. Generalmente, la circulación de los fluidos frío y caliente tiene lugar en sentido contrario, en contracorriente, lográndose mayores rendimientos. El CTE aquí indica que su potencia mínima de diseño, en W: $P \geq 500 \cdot A$, siendo A el área de captadores en m^2 , siendo un valor bastante aceptado tomar $P = 600 \cdot A$.

Los hay de dos tipos, principalmente, como puedes observar en las imágenes adjuntas:
De placas (el más usual).
De haz tubular.



Se recomienda instalar intercambiadores externos para acumulaciones a partir de 1.000 litros; para 1.000 o menos litros se puede optar por interacumuladores, con el intercambiador incorporado en el acumulador.

El PCT de IST (página 69) indica una pérdida máxima de eficiencia por la presencia del intercambiador del 10%, incluso cuando haya más de uno (con circuitos terciarios) y que se diseñen con unas temperaturas de trabajo en primario y secundario referenciadas en una tabla según la aplicación de la IST.

AUTOEVALUACIÓN

Cuál es la opción más coherente para una gran IST, en cuanto a la elección del intercambiador solar:

- a) Interacumulador se serpiente. b) Interacumulador de doble envolvente. c) Intercambiador de haz tubular o de placas. d) Ninguna, puesto que lo más eficiente es instalar un sistema directo sin intercambiador.

2.5. Depósitos de acumulación.

Como la generación de calor solar no es simultánea con el consumo del agua caliente, es necesario contar con al menos un acumulador encargado de almacenar la energía térmica generada por los captadores.

Para un buen aprovechamiento de la energía solar se debe dimensionar correctamente el acumulador, ya que un acumulador pequeño provocará altas temperaturas y agotamiento rápido del volumen del acumulador y uno demasiado grande dificultará el alcance de la temperatura de uso. De esta forma el CTE y el PCT de IST, como ya viste, indican los márgenes del volumen de acumulación en relación a la superficie captadora para ACS y climatización. En piscinas no se usará acumulación (el propio vaso de la piscina es el acumulador), aunque sí podrá disponerse, si es preciso, de un acumulador de inercia, que transmitirá la energía al vaso de la piscina a través de un intercambiador.



Se recomienda el uso de acumuladores verticales, aunque a veces por problemas de espacio es necesario el empleo de acumuladores horizontales, especialmente en sistemas compactos por termosifón. Para alcanzar una óptima estratificación de la temperatura en el interior del depósito solar, además de que el depósito o acumulador vertical cuente con un factor de forma mínimo de 2 es imprescindible una óptima conexión de tuberías y entrada de los fluidos en el interior del depósito.

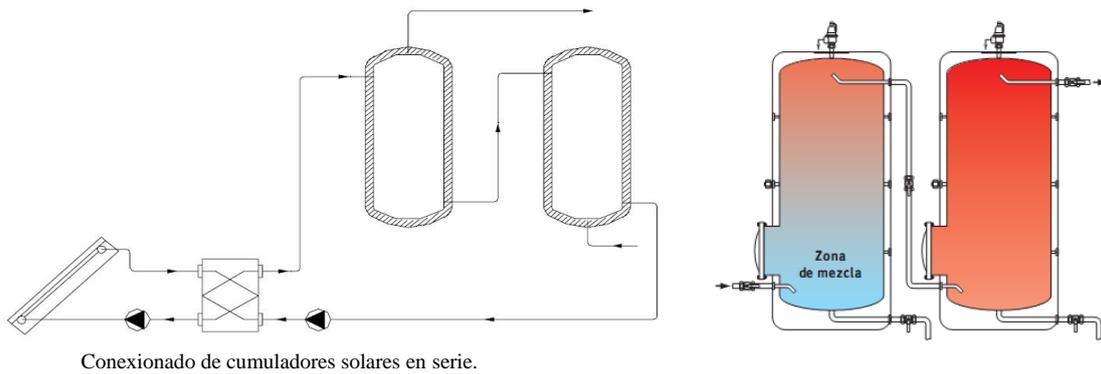
De acuerdo con el CTE, las conexiones de entrada y de salida se situarán de forma que se eviten caminos preferentes de circulación del fluido y, además:

- la conexión de entrada de agua u otro fluido caliente procedente del intercambiador o de los captadores al interacumulador se realizará, preferentemente a una altura comprendida entre el 50% y el 75% de la altura total del mismo. Es recomendable cerca del 50% en interacumuladores y para el resto de casos 75%.
 - la conexión de salida del fluido caloportador frío del acumulador hacia el intercambiador o los captadores se realizará por la parte inferior del depósito.
 - la conexión de retorno de consumo al acumulador (circuito de inercia) y la del agua fría de red se realizarán por la parte inferior, utilizándose deflectores para evitar que la velocidad de entrada no destruya la estratificación.
 - la extracción de agua caliente del acumulador se realizará por la parte superior.
- En acumuladores horizontales estará situada en el extremo opuesto al de la entrada del agua fría.

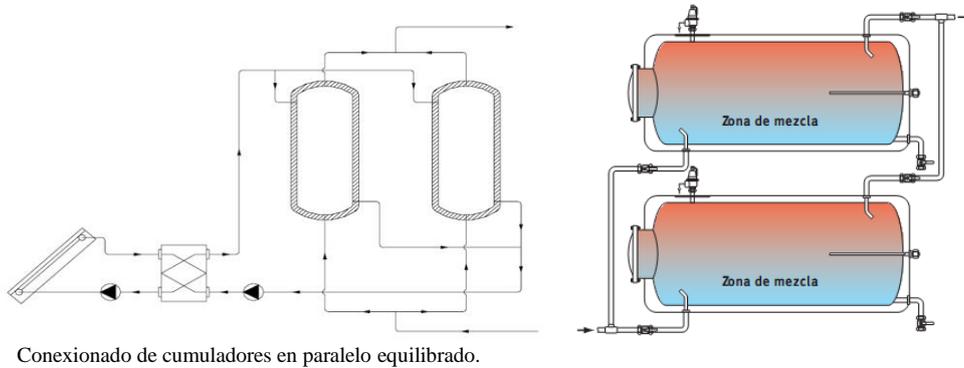
En aplicaciones para ACS es necesario contar con un conexionado puntual entre el sistema auxiliar y el acumulador solar de forma que se pueda calentar este último con el auxiliar hasta más de 70°C, para poder cumplir con las medidas de prevención de legionella (RD 865/2003).

Según el CTE, cuando sea necesario que el sistema de acumulación solar esté formado por más de un depósito, se conectarán en serie invertida o en paralelo con los circuitos secundarios equilibrados, como puedes apreciar en las siguientes imágenes del PCT de IST del IDAE de conexionado de acumuladores solares en serie, en el esquema superior, y en paralelo equilibrado, en el inferior.

La conexión en serie reduce la zona de mezcla, aprovechando mejor la estratificación; las conexiones hidráulicas son más complejas: en caso de avería en alguno de los depósitos hay que prever conexiones que permitan dejarlos fuera de ser vicio sin afectar al resto de los depósitos, y las pérdidas de carga son mayores, ya que el agua de consumo debe pasar por el conjunto de depósitos.



La conexión en paralelo es más sencilla y provoca menores pérdidas de carga; como contrapartida se tiene una mayor zona de mezcla, ya que la misma se da en todos los depósitos, con un menor aprovechamiento del volumen acumulado y mayor riesgo de desarrollo de la legionella.



2.6. Energía de Apoyo.

Ya sabes que una IST no ofrece un 100% de cobertura sobre la demanda energética de la instalación térmica a la que abastece, por lo que para asegurar la continuidad en el abastecimiento, las IST disponen de un sistema auxiliar mediante energía convencional. Este subsistema de apoyo a la IST se debe dimensionar de forma que aporte todo el calor necesario en la instalación térmica **como si no se dispusiese del sistema solar.**



Los aspectos a reseñar más importantes del DBHE-4 y del PCT son los siguientes:

- Lógicamente se prohíbe el uso de energía convencional en el circuito primario, pero también su aporte directo en el propio acumulador solar, excepto bajo ciertas condiciones contempladas en el PCT de IST. Si, como ocurre con frecuencia, el acumulador trae incorporado de fábrica una resistencia eléctrica a modo de energía auxiliar, ésta debe anularse mediante sellado.
- Por la difícil regulación y baja eficiencia, se desaconseja el uso de energía eléctrica como fuente auxiliar.
- En el caso de que el sistema de energía convencional auxiliar sea en línea será el equipo modulante.
- Salvo en equipos modulantes, es preciso contar con un termostato de control que ajuste la temperatura de preparación según el uso, y permita controlar la legionella.

- En caso de optar por un sistema de apoyo auxiliar con acumulación, el volumen del depósito deberá no superar el 50% del acumulador solar (menos de la mitad del consumo diario para el caso de solo ACS).

AUTOEVALUACIÓN:

Señala la conexión que no es adecuada en un captador solar:

- Entrada del agua procedente de un intercambiador de haz tubular ligeramente por encima de la mitad de la altura del depósito.
- Entrada del agua de la red por la parte inferior.
- Salida hacia un intercambiador exterior de placas por la parte inferior del acumulador.
- Entrada del fluido caloportador en interacumuladores ligeramente por encima de la mitad de su altura.

2.7. Circulación por termosifón y forzada.

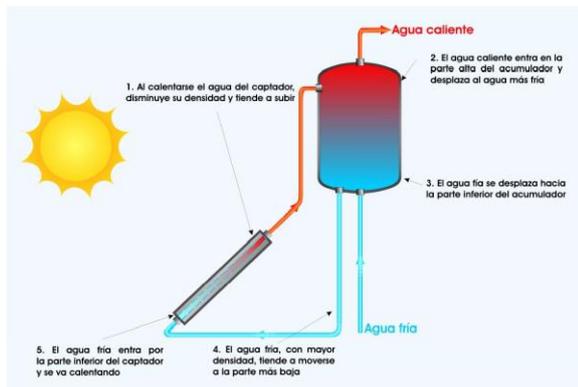
Ya ha salido varias veces el término termosifón. Y por conocimientos previos del ciclo, del propio o de otros módulos, debes saber qué es **una corriente convectora**. Esta es la clave de la circulación por termosifón. En efecto, cuando el agua (u otro fluido caloportador) es calentado por el sol en los captadores, se dilata y siendo más ligera que el agua fría a igual volumen, sube. Así pues, crea un movimiento en el circuito hidráulico que conecta los captadores al depósito de almacenamiento sin necesidad del impulso de una bomba.

Si el circuito hidráulico se concibe con las condiciones normales, el agua calentada en los captadores circulará a través de un intercambiador en el depósito y la temperatura del agua en el depósito aumentará progresivamente. Puedes ver su principio de funcionamiento en el esquema de la imagen adjunta.

En la imagen se representa, además de un sol, un panel situado más abajo de un acumulador en posición vertical para favorecer la corriente convectora por termosifón. Igualmente, se aprecian en color azul o rojo, según la temperatura nominal de funcionamiento, de las tuberías del primario y del suministro de agua de la red y del consumo de ACS.

Sus ventajas son la simplicidad; escasos riesgos de averías; bajo coste, incluido el del mantenimiento; óptimos resultados, sobre todo en regiones soleadas (Sur de España); su autorregulación e independencia del suministro eléctrico. Y entonces, si sólo hay ventajas, porqué las IST por termosifón son poco frecuentes.

Pues, porque tienen el **hándicap** de que el acumulador debe colocarse por encima de los paneles, aproximadamente un 1 m de diferencia entre el punto medio del intercambiador y el medio del panel (ó 30cm entre la salida del interacumulador y la del panel), lo que provoca pérdidas energéticas en el acumulador al estar en la intemperie, una más compleja estructura soporte y montaje y una peor integración en el edificio.



su uso es limitado a pequeñas instalaciones, pues no es válida, lógicamente, con intercambiadores externos.

Se comercializan casi siempre en los conocidos como equipos o sistemas compactos domésticos, por ser IST prefabricadas cuyos elementos se encuentran integrados y montados en una sola unidad. A su vez, pueden ser indirectos si cuentan con intercambiador, o directos en caso contrario; recuerda que estos últimos están prohibidos para ACS y, en todo caso, sólo serían viables en regiones con buena calidad del agua y sin riesgo de heladas.

CIRCULACIÓN FORZADA.

Cuando no es posible la configuración por termosifón, se recurre a instalaciones forzadas, equipadas con dispositivos que provocan la circulación forzada del fluido de trabajo. ¿Qué dispositivos? Las bombas o electrocirculadores que verás algo más adelante y con más profundidad en el módulo de Equipos e Instalaciones Térmicas. Entonces, ¿para que una IST forzada funciones precisa de suministro eléctrico? Sí. Es necesario siempre y cuando no sea posible diseñar un movimiento por termosifón, lo que ocurre en la gran mayoría de las IST, y en todas las de grandes dimensiones



AUTOEVALUACIÓN.

Indica las opciones correctas:

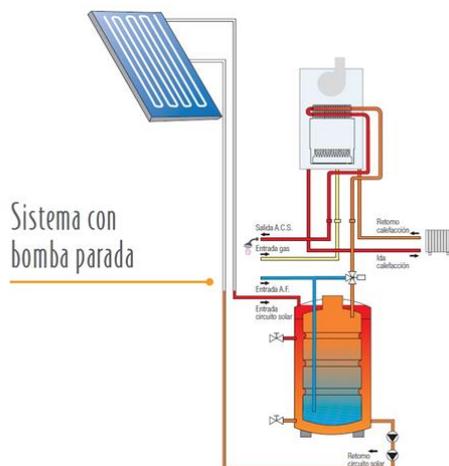
- a) Una IST forzada no puede instalarse en pequeñas instalaciones.
- b) En el Levante español, son suelos alcalinos, no pueden instalarse sistemas por termosifón.
- c) Los sistemas por termosifón funcionan con interacumuladores pero no con intercambiadores de placas o tubulares.
- d) Los sistemas por termosifón tienen escaso mantenimiento y se autorregulan sin ayuda de ningún tipo de control eléctrico.

2.8. Sistema Drain-Back.

En lugares con climas continentales severos en invierno y verano, donde el riesgo de deterioros por heladas y sobrecalentamientos en ambos periodos es alto. Existen instalaciones que cuentan como fluido caloportador agua más aire, sin necesidad de anticongelante, y que eliminan la posibilidad de deterioros o fallos provocados por estas causas.

Vas a ver ahora en qué consisten estas instalaciones. Pero, ¿es muy complejo su principio de funcionamiento? No, es muy sencillo. Se trata de un sistema de **drenaje automático** que presenta una provechosa utilidad: la presencia de aire y líquido caloportador solar (generalmente agua) en el circuito primario de la instalación

Cuando la bomba está parada por falta o por exceso de radiación el líquido permanece en la parte inferior del circuito mientras que el aire ocupa los captadores. De esta manera no le afectan ni las heladas ni las altas temperaturas

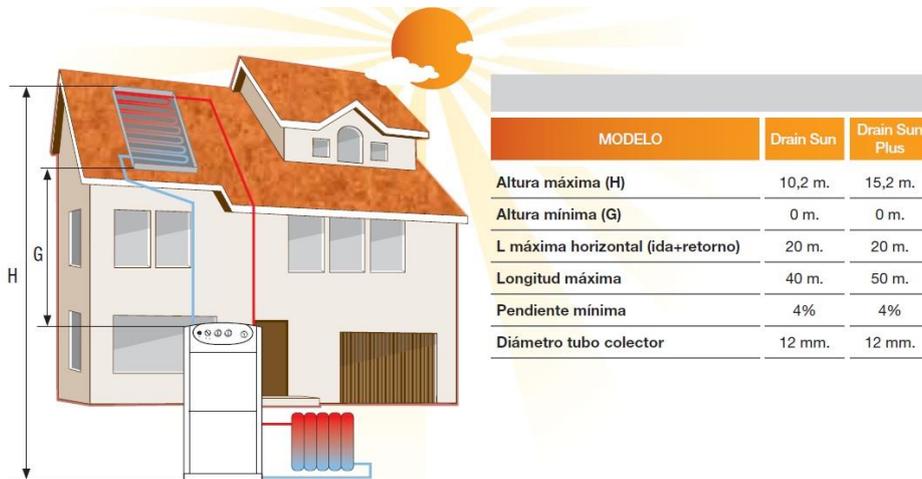




Cuando la temperatura del acumulador baja por debajo de la de consignada y la radiación solar es aprovechable, la bomba se pone en funcionamiento y el líquido solar empuja al **aire hacia el serpentín del depósito**. Pero, ¿el aire no sigue discurriendo por el resto del circuito? No, se aloja en la parte alta del conducto del serpentín, que ha sido sobredimensionado para acoger todo el volumen de aire además del líquido caloportador que está en circulación por la parte inferior por su mayor densidad, transmitiendo el calor de esta manera al depósito. Te ayudará a entenderlo la imagen esquemática adjunta.

Esta combinación de líquido solar y aire, correctamente gestionada, ofrece interesantes ventajas frente a los sistemas convencionales, además de que evitan el deterioro que pudieran provocar las heladas y los excesos de calentamiento: su escaso mantenimiento, innecesaria instalación de purgadores y vaso de expansión y ofrece las mismas prestaciones.

Pero no todo son ventajas. Las limitaciones constructivas son considerables: no es capaz de suministrar adecuadamente a acumuladores solares de más de 300 l; capaz de salvar distancias máximas verticales entre acumulador y panel de 15 m y de longitud horizontal de hasta 20m ida (total 50m). Los tramos horizontales deben contar con una pendiente de al menos un 4% y los diámetros de los conductos, lógicamente, vienen preestablecidos. Así puedes verlo reflejado en la siguiente imagen correspondiente a uno de los fabricantes de estos sistemas.



AUTOEVALUACIÓN.

Los sistemas drain-back son adecuados para IST que suministren ACS a más de 15 usuarios:

- a) Falso.
- b) Verdadero

2.9.Circuito hidráulico.

¿Qué se entiende por circuito hidráulico? ¿Y qué elementos componentes lo conforman? El resto de elementos o componentes que no sean propiamente los paneles, los acumuladores e intercambiadores, conforman el circuito hidráulico. Entre ellos cabe destacar, por su importancia y análisis que a continuación realizarás:

- Las tuberías.
- Bombas de circulación.
- Aislamiento.
- Depósitos de expansión.
- Purgadores y valvulería en general.

La mayoría de ellos están presentes en los circuitos primarios, secundarios, terciarios, si estos se dieran, y en los de consumo. Al igual que en el resto de los componentes anteriores, verás en primer lugar las características de cada uno y los criterios de selección y diseño. Finalmente aprenderás a cómo llevar a cabo el cálculo del circuito hidráulico.

AUTOEVALUACIÓN

Indica las condiciones que son características de IST por termosifón:

- a) Los captadores, diámetros de tuberías y trayectos son seleccionados y diseñados para provocar pérdidas de carga mínimas.
- b) Los acumuladores consiguen mejor la estratificación de temperaturas que las instalaciones forzadas.
- c) Los captadores ofrecerán una pérdida de carga menor de 3 mmca al paso del fluido por su interior.
- d) Es importante que la tubería de entrada de agua fría entre en el acumulador por la parte inferior del mismo.

2.9.1. Tuberías.

¿De qué materiales estarán hechas las canalizaciones? ¿Qué características y especificaciones técnicas deben reunir?



En primer lugar, resaltar que las tuberías del primario, indicado por el CTE, podrán usarse el cobre y el acero inoxidable, aunque es común el uso de acero negro siempre y cuando no transporte agua para consumo humano. Si son de cobre conviene que sean con soldadura fuerte, para soportar las altas temperaturas. Si son de acero inoxidable, su principal inconveniente es el precio.

En las del secundario cabe la posibilidad de usar también materiales plásticos que soporten la temperatura máxima del circuito, menor que en el primario. El polipropileno, PP, y el Polietileno Reticulado, PE-X, son una buena opción, fácil y cómoda de trabajar, su inconveniente es el alto coeficiente de dilatación comparadas con las metálicas. Igualmente debe intentarse realizar un retorno invertido. En caso de no poder equilibrar los circuitos se colocarán válvulas de equilibrado en los que ofrezcan menor resistencia.

Hemos de destacar que el propio CTE, en su Documento Básico de Salubridad HS, en la sección de ahorro de agua HS4. Suministro de agua, obliga a contar con un CIRCUITO DE RECIRCULACIÓN de ACS hacia el sistema de energía de apoyo convencional en instalaciones donde la longitud de la tubería entre el acumulador de apoyo y la descarga más alejada sea superior a 15m, con el fin de evitar el derroche de agua hasta que llega a una temperatura considerable cuando se abre el grifo de agua caliente. Esto ocurrirá en las instalaciones centralizadas y en las unifamiliares de gran tamaño. Este circuito debe ser dimensionado de forma que se asegure una pérdida de temperatura entre impulsión y retorno al sistema de apoyo menor a 3°C (lo que se conseguirá con un buen aislamiento), y al menos de 50°C en el retorno para prevenir la actividad de la legionela.

Los **parámetros** de dimensionamiento de una tubería son principalmente el **diámetro** interior, que suele expresarse en mm como una relación del diámetro interior, d , diámetro exterior, D , del tipo d/D , o dxD , por ejemplo 16/18, o la del diámetro interior por el espesor 16x1, el **caudal** del fluido que circula por el interior normalmente en l/h, la **velocidad** a la que

va el fluido en m/s y la **pérdida de carga unitaria** que se genera en cada metro de tubería como consecuencia de la circulación del fluido por su interior medida en mm.c.a./m o Pa/m.

Las **especificaciones** técnicas que deben reunir las tuberías son las siguientes:

- Los tramos serán tan cortos como sea posible, evitando accidentes (codos, etc) en la medida de lo posible, y sin que exista posibilidad de formación de obturaciones o depósitos de cal para las condiciones de trabajo.

- Para facilitar el movimiento de las burbujas de aire, los tramos horizontales tendrán una pendiente mínima del 1% en el sentido del avance del fluido.

- Las tuberías de intemperie deberán llevar una protección mecánica externa que asegure la durabilidad del asilamiento ante las acciones climatológicas, por ejemplo chapa de aluminio de 0,6 mm.



AUTOEVALUACIÓN

Qué ventaja no se alcanza al diseñar tramos cortos de tuberías en circuitos primarios y secundarios:

- a) Menores pérdidas térmicas.
- b) Reducción de costes de inversión.
- c) Menores pérdidas de carga.

Reducción de las posibilidades de formación de incrustaciones y obturaciones.

2.9.2. Bombas recirculación.

Como se ha visto en el módulo de Equipos e Instalaciones Térmicas, el movimiento de los fluidos se realiza gracias a bombas eléctricas o electrocirculadores, salvo en instalaciones que funcionen con termosifón, aunque en este caso podría ocurrir que en el circuito secundario también hiciera falta instalar una bomba, a no ser que lo hiciera con la presión de la red de suministro de agua potable, y ésta fuera suficiente.

El comportamiento hidráulico de una bomba viene especificado en sus **CURVAS** características que representan una relación entre los distintos valores del caudal proporcionado por la misma con otros parámetros como la altura manométrica. Estas curvas, obtenidas experimentalmente en un banco de pruebas, son dadas por los fabricantes a una velocidad de rotación concreta, ya que suelen tener más de una velocidad.

¿Pero qué bomba debe elegirse? En base a las prestaciones anteriores, las bombas son seleccionadas de forma que consiguen satisfacer la demanda del circuito, es decir, que sean capaces de comunicar al caudal del fluido una presión o altura manométrica superior a la demandada para mantener su circulación por las tuberías del circuito, es decir, para compensar



todas las pérdidas de carga del circuito, o sea debe seleccionarse para que trabaje en el denominado punto de trabajo de la instalación. Más adelante, en el cálculo y diseño del circuito hidráulico verás cómo se realiza esta selección.

Se citan a continuación sus principales características y especificaciones técnicas:

- Las bombas se montan en las partes frías del circuito, para evitar la cavitación y con el eje de rotación en posición horizontal, siendo preferentemente del tipo en línea, alineadas con la línea de los

conductos

- En instalaciones superiores a 50 m², tanto en el circuito primario como en el secundario, se montarán dos bombas idénticas en paralelo, dejando una de reserva, y trabajando de forma alternativa.

- En instalaciones pequeñas (por ejemplo de menos de 20 m²) la potencia eléctrica de la bomba será de 50 W o el 2% de la mayor potencia calorífica que pueda suministrar el grupo de captadores, estimándose ésta en unos 0,7 kW por cada m² de captador. En instalaciones grandes la potencia eléctrica será inferior al 1% de esa potencia térmica.

AUTOEVALUACIÓN.

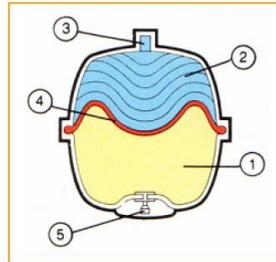
Para seleccionar una bomba se hará en base a las curvas de características de la misma, de forma que preste al circuito hidráulico la misma potencia que la demandada, es decir, el caudal e incremento de presión que experimentará el fluido gracias a la bomba debe ser el mismo que el del diseño de funcionamiento del circuito.

- Verdadero
- Falso.

2.9.3. Depósitos de expansión.

Como sabes el agua, a pesar de estar en estado líquido en los circuitos solares, puede dilatarse con la temperatura. Y si aumenta de volumen, ¿podrá llegar a aumentar la presión de los circuitos hasta tal punto que provoque deterioros y roturas en sus elementos? La respuesta es sí. Entonces, ¿qué solución se le puede dar? ¿Hay algún elemento que pueda absorber ese aumento de volumen? Y ¿será muy grande esa variación de volumen?

Ahora bien; las instalaciones térmicas con circuitos cerrados (primario, secundario, los de calefacción, etc) cuentan con un dispositivo que permite absorber las variaciones de volumen producidas por las variaciones de temperatura del fluido circulante, estos elementos son los **vasos de expansión**. La práctica totalidad de las IST lo utilizan. Se trata de un recipiente cerrado herméticamente dividido en dos cámaras, una de gas(aire, N₂) y otra del fluido del circuito, separadas por una membrana flexible intermedia, de tal forma que permite que el volumen de las cámaras sea variable en función de las necesidades de cada momento. Así se absorbe la expansión del fluido, por lo que debe estar dimensionado para aceptar dicha expansión en las condiciones más desfavorables.



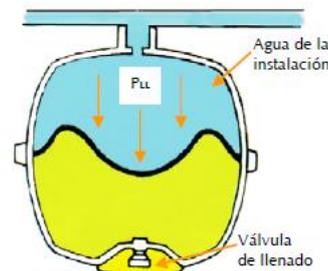
1. Cámara de nitrógeno.
2. Cámara de expansión de agua.
3. Orificio de conexión a la instalación.
4. Membrana especial.
5. Válvula de llenado de gas.

El cálculo y dimensionamiento del vaso lo verás en el módulo de EIT.

Llenado del vaso de expansión:

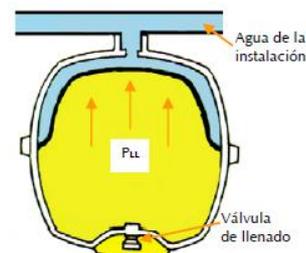
Ahora que eres capaz de calcular el volumen del vaso, debes determinar la presión a la que se ha de llenar la cámara de nitrógeno, por lo que en primer lugar has de comprender lo siguiente:

-Si la cámara de gas estuviese vacía (presión de llenado 0 ó muy baja), al rellenar la instalación de agua el vaso se inundaría completamente y, por tanto, no quedaría ningún volumen para absorber las dilataciones posteriores (ver figura). Es decir, que sería lo mismo que si el vaso no existiese.



Presión de nitrógeno muy baja.

Si la presión de llenado de nitrógeno es muy alta (ver figura), la presión ejercida por el agua de la instalación al dilatar no podría vencerla y, por tanto, sería lo mismo que no haber colocado vaso de expansión.

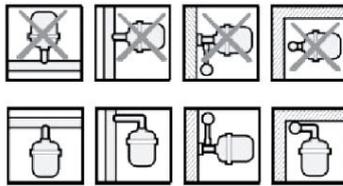


Presión de nitrógeno excesiva.

Como norma general, la presión de llenado del gas del vaso de expansión **debe ser aproximadamente 5 m.c.a. (0,5 bar) superior a la altura manométrica de la instalación**, para asegurar así que toda ella está llena de agua y facilitar la expulsión del aire que pueda haber en su interior.

Colocación vaso expansión:

El vaso se debe colocar de forma **que no facilite la entrada de bolsas** de aire en el mismo, que le hagan perder efectividad



El vaso se ha de colocar preferentemente en la aspiración de las bombas.

2.9.4. Aislamiento.

Con el fin de evitar pérdidas, se han de aislar térmicamente los elementos de las IST (tuberías, equipos, accesorios, depósitos, ect), tanto estén en intemperie como en interior. En concreto el R.I.T.E en su I.T.1.2.4.2.1 sobre “Aislamiento térmico de redes de tuberías”. Su aplicación y concreción a las IST están contemplados en el PCT de IST del IDAE, en el Anexo VII punto 9. El RITE obliga a todos los componentes de una IST a contar con aislamiento cuando sus fluidos discurren por locales no calefactados, como ocurre en la práctica totalidad de las veces. En el caso de elementos en el exterior, el aislamiento además de ser de mayores espesores deberá poseer protección mecánica, generalmente mediante chapa de aluminio de 0,6 mm de espesor.



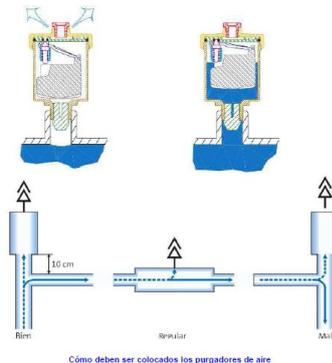
El diseño del aislamiento de las tuberías, según el RITE, puede establecerse por dos métodos: el **simplificado**, mediante tablas, o atendiendo a la norma UNE-EN-ISO 12241. El método simplificado establece los espesores mínimos de aislamiento en mm en función del diámetro exterior de la tubería sin aislar y de la temperatura del fluido para un **material aislante de referencia** de conductividad térmica ($\lambda = w/m^{\circ}C$) de 0,04 a los 10°C. Si usas otro **material de diferente conductividad térmica**, deberás conocer esta propiedad y extrapolar según las expresiones matemáticas indicadas en el R.I.T.E.

2.9.5. Purgadores.

Los circuitos cerrados se llenan de agua o de fluido caloportadores al completo mediante la operación de llenado. Pero, es necesario evacuar el aire ya que dificulta el funcionamiento y deterioran la instalación. La circulación de agua completamente libre de aire asegura el funcionamiento ideal del sistema, sin ruido, corrosión, sobrecalentamientos localizados ni daños mecánicos. Esto se logra gracias a la acción de los purgadores. Estos dispositivos pueden ser de acción manual o automáticos. Las principales consideraciones a tener en cuenta en su ubicación y utilización son:

- Se montarán en todos los puntos altos a la salida de cada grupo de captadores y en los puntos de la instalación donde pueda quedar aire acumulado (sifones); para ello se diseñan las tuberías con un 1% de pendiente
- Podrán ser automáticos, siempre y cuando se asegure que no se formará vapor en los paneles en condiciones de averías o extremas, como puede ocurrir, según diseño, en los estancamientos, y lógicamente en sistemas “drain-back”, en cuyo caso serán manuales.
- Deben soportar, al menos, la temperatura de estancamiento del captador y en cualquier caso hasta 130 °C en las zonas climáticas I, II y III, y de 150 °C en zonas climáticas IV y V.

Se presentan en distintas versiones para montar en tubos horizontales o verticales.



Cómo deben ser colocados los purgadores de aire

AUTOEVALUACIÓN.

Un correcto dimensionado de los espesores de aislantes en tuberías con materiales cuya conductividad térmica sea inferior a 0,04 W/(m·K) conlleva un aumento del espesor indicado en las tablas del RITE o del PCT de IST para este valor de referencia.

- Verdadero.
- Falso.

AUTOEVALUACIÓN.

Los purgadores serán manuales en sistemas Drain-Back y automáticos si se puede producir vapor debido a condiciones extremas, como en las de estancamiento.

- Verdadero.
- Falso.

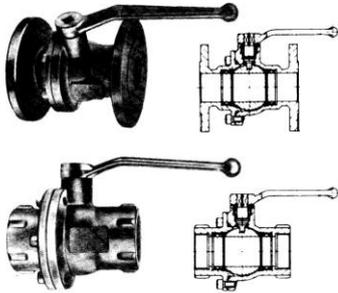
2.9.6. Valvulería y accesorios.

Además de los diferentes equipos y elementos visto hasta ahora, en las IST para garantizar su correcto funcionamiento precisan entre otros de los siguientes elementos:

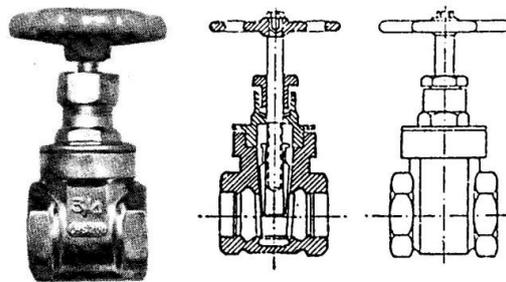
- Válvulas de corte o aislamiento de componentes para tareas de mantenimiento: válvulas de esfera;
- válvulas de equilibrado de circuitos (reguladores de caudal o detentores): válvulas de asiento;
- válvulas de vaciado: válvulas de esfera o de macho;
- válvulas de llenado: válvulas de esfera;
- válvulas de seguridad: válvula de resorte ;

- válvulas antirretorno o de retención: válvulas de clapeta. Se situarán en la tubería de impulsión de la bomba y se colocarán para evitar circulación de flujos inversos.
- Manguitos antivibratorios.

VÁLVULA BOLA

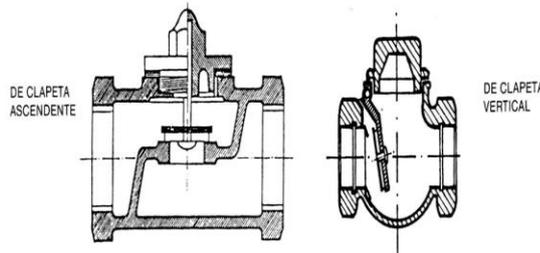
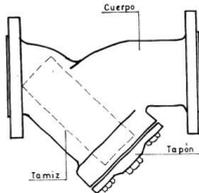


VÁLVULA COMPUERTA



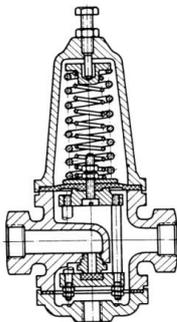
FILTRO

VÁLVULA RETENCIÓN



VÁLVULA SEGURIDAD

VÁLVULA EQUILIBRADO



STAD



STAF

3. Cálculo del circuito hidráulico (I).

La selección y cálculo de los componentes del circuito hidráulico se ha de realizar en base a su funcionalidad y fiabilidad. Para dicho cálculo, lo primero que deberá hacer será diseñar correctamente las tuberías y caudales circulantes, para una vez conocidas las pérdidas de carga o presión, poder elegir las bombas capaces de proporcionar el impulso necesario a los caudales implicados. A pesar de que este cálculo se trata en el módulo de EIT, recordaremos los conceptos básicos de dicho cálculo.

Para un cálculo adecuado de las redes de tuberías se han debido establecer los caudales idóneos y conocidas las características físicas de los fluidos circulantes, nos dará la posibilidad de dimensionar los diámetros óptimos y conocer las pérdidas de carga o presión.

Los circuitos deben ser diseñados para que ofrezcan una pérdida de carga reducida y no se **recomienda superar los 40 mm.c.a por metro lineal** (pérdida de carga unitaria). Las velocidades resultantes también se han de tener en cuenta para evitar problemas de ruidos en las instalaciones entre otras cosas. Las velocidades máximas recomendadas para tuberías metálicas **no deberán superar los 2 m/s** (aconsejable 1,5 m/s máx). Recordemos que para instalaciones de calefacción en viviendas el CTE las limita a 1 m/s.

Recordemos que puede haber varios circuitos, y cada uno con sus características propias. Por lo tanto, tendremos que calcular cada uno por separado.

Criterios para el dimensionado de tuberías de circuitos primarios y secundarios..

Recordemos que es conveniente en primer lugar diseñar el circuito primario, la disposición de los paneles, de forma equilibrada, con ida o con retorno invertidos. Si no fuera posible habría que optar con válvulas de equilibrado. En el dimensionado habrá que tener en cuenta varios aspectos:

- El CTE indica que el rango de **caudal** que circulará por cada captador se determinará de acuerdo con las especificaciones del fabricante, y en su defecto su valor estará comprendido entre 1,2 l/s y 2 l/s por cada 100 m² de red de captadores”, siendo recomendado de **50 a 60 l/h por m²**.
- Las tuberías se dimensionan para una pérdida de carga lineal, es decir, por cada metro lineal de tubería de entre 20 y 40 mmca/m máximo.
- Por medio de tablas, dependiendo de la composición del fluido caloportador (mezcla agua-anticongelante), se pueden seleccionar las tuberías en base al caudal, velocidad y diámetro de las mismas, relacionados por la ecuación de continuidad, así como a las pérdidas de cargas lineales. (En las siguientes páginas se adjuntan diferentes tablas)
- Velocidad del fluido superior a 0,5 m/s (para desplazar el aire formado en las tuberías) e inferior a 1,5 m/s, (para evitar ruidos, erosiones y altas pérdidas de carga).

Una vez conocidas las pérdidas unitarias por unidad de longitud, bastará con multiplicar por la longitud real para conocer las pérdidas en tramos rectos de tuberías. Las pérdidas secundarias, debidas a accidentes y accesorios que se encuentra el fluido en su camino, la **estimaremos** suponiéndolas como una longitud equivalente de un 30% de la real (el dimensionamiento y cálculo de redes de tuberías se realiza en el módulo de Equipos e Instalaciones Térmicas.). De esta forma las pérdidas totales serían la suma de ambas, o lo que es lo mismo, tomar como longitud total el producto de la longitud real por 1,30. Si el intercambiador es exterior hay que tenerlo en cuenta, sobre todo si es de placas, para considerarlo aparte del 30% por pérdidas secundarias, pues estos suelen contar con una alta pérdida de carga, del entorno de 1 a 2 mca, indicada por el fabricante. Existen métodos para determinar las pérdidas de cargas reales en los circuitos hidráulicos y que se verán en el módulo de EIT.

PÉRDIDAS DE PRESIÓN EN TUBOS DE COBRE (UNE-EN 1057)

FLUIDO: Agua

Temperatura del Fluido T=40°C

Caudal (l/h)	Diámetro nominal	V (m/s)	DP (mmc.a./m)	Diámetro nominal	V (m/s)	DP (mmc.a./m)	Diámetro nominal	V (m/s)	DP (mmc.a./m)
DIÁMETRO PEQUEÑO			DIÁMETRO RECOMENDADO			DIÁMETRO GRANDE			
100	8 x 1,0	0,98	263,1	10 x 1,0	0,55	67,1	12 x 1,0	0,35	23,4
150	10 x 1,0	0,83	135,8	12 x 1,0	0,53	47,0	15 x 1,0	0,31	13,6
200	12 x 1,0	0,71	77,6	15 x 1,0	0,42	22,3	18 x 1,0	0,28	8,4
250	12 x 1,0	0,88	114,7	15 x 1,0	0,52	32,9	18 x 1,0	0,35	12,3
300	12 x 1,0	1,06	157,9	15 x 1,0	0,63	45,2	18 x 1,0	0,41	16,9
350	15 x 1,0	0,73	59,3	18 x 1,0	0,48	22,1	22 x 1,0	0,31	7,7
400	15 x 1,0	0,84	74,9	18 x 1,0	0,55	27,9	22 x 1,0	0,35	9,7
450	15 x 1,0	0,94	92,2	18 x 1,0	0,62	34,2	22 x 1,0	0,40	11,8
500	15 x 1,0	1,05	111,0	18 x 1,0	0,69	41,2	22 x 1,0	0,44	14,2
600	18 x 1,0	0,83	56,8	22 x 1,0	0,53	19,6	28 x 1,5	0,34	6,8
700	18 x 1,0	0,97	74,6	22 x 1,0	0,62	25,7	28 x 1,5	0,40	8,9
800	18 x 1,0	1,11	94,4	22 x 1,0	0,71	32,5	28 x 1,5	0,45	11,2
900	18 x 1,0	1,24	116,4	22 x 1,0	0,80	40,0	28 x 1,5	0,51	13,8
1000	22 x 1,0	0,88	48,2	28 x 1,5	0,57	16,6	35 x 1,5	0,35	5,1
1100	22 x 1,0	0,97	57,1	28 x 1,5	0,62	19,7	35 x 1,5	0,38	6,1
1200	22 x 1,0	1,06	66,6	28 x 1,5	0,68	22,9	35 x 1,5	0,41	7,1
1300	22 x 1,0	1,15	76,8	28 x 1,5	0,74	26,4	35 x 1,5	0,45	8,1
1400	22 x 1,0	1,24	87,7	28 x 1,5	0,79	30,1	35 x 1,5	0,48	9,3
1500	22 x 1,0	1,33	99,1	28 x 1,5	0,85	34,0	35 x 1,5	0,52	10,5
1600	22 x 1,0	1,41	111,2	28 x 1,5	0,91	38,2	35 x 1,5	0,55	11,7
1700	28 x 1,5	0,96	42,5	35 x 1,5	0,59	13,1	42 x 1,5	0,40	5,1
1800	28 x 1,5	1,02	47,1	35 x 1,5	0,62	14,4	42 x 1,5	0,42	5,6
1900	28 x 1,5	1,08	51,8	35 x 1,5	0,66	15,9	42 x 1,5	0,44	6,2
2000	28 x 1,5	1,13	56,8	35 x 1,5	0,69	17,4	42 x 1,5	0,47	6,8
2100	28 x 1,5	1,19	61,9	35 x 1,5	0,73	19,0	42 x 1,5	0,49	7,4
2200	28 x 1,5	1,24	67,3	35 x 1,5	0,76	20,6	42 x 1,5	0,51	8,0
2300	28 x 1,5	1,30	72,9	35 x 1,5	0,79	22,3	42 x 1,5	0,53	8,7
2400	28 x 1,5	1,36	78,6	35 x 1,5	0,83	24,1	42 x 1,5	0,56	9,3
2500	28 x 1,5	1,41	84,6	35 x 1,5	0,86	25,9	42 x 1,5	0,58	10,0
2600	28 x 1,5	1,47	90,7	35 x 1,5	0,90	27,8	42 x 1,5	0,60	10,8
2700	28 x 1,5	1,53	97,1	35 x 1,5	0,93	29,7	42 x 1,5	0,63	11,5
2800	28 x 1,5	1,58	103,6	35 x 1,5	0,97	31,7	42 x 1,5	0,65	12,3
2900	28 x 1,5	1,64	110,4	35 x 1,5	1,00	33,7	42 x 1,5	0,67	13,1
3000	28 x 1,5	1,70	117,3	35 x 1,5	1,04	35,8	42 x 1,5	0,70	13,9
3200	28 x 1,5	1,81	131,7	35 x 1,5	1,11	40,2	42 x 1,5	0,74	15,6
3400	35 x 1,5	1,17	44,8	42 x 1,5	0,79	17,4	54 x 2,0	0,48	5,3
3600	35 x 1,5	1,24	49,6	42 x 1,5	0,84	19,2	54 x 2,0	0,51	5,9
3800	35 x 1,5	1,31	54,7	42 x 1,5	0,88	21,2	54 x 2,0	0,54	6,4
4000	35 x 1,5	1,38	60,0	42 x 1,5	0,93	23,2	54 x 2,0	0,57	7,1
4200	35 x 1,5	1,45	65,4	42 x 1,5	0,98	25,3	54 x 2,0	0,59	7,7
4600	35 x 1,5	1,59	77,1	42 x 1,5	1,07	29,8	54 x 2,0	0,65	9,0
5000	35 x 1,5	1,73	89,5	42 x 1,5	1,16	34,6	54 x 2,0	0,71	10,5
5500	42 x 1,5	1,28	41,0	54 x 2,0	0,78	12,4	64 x 2,0	0,54	5,2
6000	42 x 1,5	1,40	48,0	54 x 2,0	0,85	14,5	64 x 2,0	0,59	6,1
6500	42 x 1,5	1,51	55,4	54 x 2,0	0,92	16,8	64 x 2,0	0,64	7,0
7000	42 x 1,5	1,63	63,3	54 x 2,0	0,99	19,2	64 x 2,0	0,69	8,0
7500	42 x 1,5	1,74	71,7	54 x 2,0	1,06	21,7	64 x 2,0	0,74	9,0
8000	42 x 1,5	1,86	80,6	54 x 2,0	1,13	24,4	64 x 2,0	0,79	10,1
8500	42 x 1,5	1,98	89,9	54 x 2,0	1,20	27,2	64 x 2,0	0,84	11,3
9000	42 x 1,5	2,09	99,7	54 x 2,0	1,27	30,1	64 x 2,0	0,88	12,5
10000	42 x 1,5	2,33	120,6	54 x 2,0	1,41	36,4	64 x 2,0	0,98	15,1
11000	42 x 1,5	2,56	143,4	54 x 2,0	1,56	43,2	64 x 2,0	1,08	18,0
12000	54 x 2,0	1,70	50,6	64 x 2,0	1,18	21,0	64 x 2,0	1,18	21,0
14000	54 x 2,0	1,98	66,8	64 x 2,0	1,38	27,8	64 x 2,0	1,38	27,8

Tubo de cobre de rugosidad k=0,002 mm

PÉRDIDAS DE PRESIÓN EN TUBOS DE COBRE (UNE-EN 1057)

FLUIDO: 10% Propilenglicol, 90% Agua

Temperatura del Fluido T=40°C

Caudal (l/h)	Diámetro nominal	V (m/s)	DP (mmc.a./m)	Diámetro nominal	V (m/s)	DP (mmc.a./m)	Diámetro nominal	V (m/s)	DP (mmc.a./m)
DIÁMETRO PEQUEÑO			DIÁMETRO RECOMENDADO			DIÁMETRO GRANDE			
100	8 x 1,0	0,98	281,2	10 x 1,0	0,55	72,0	12 x 1,0	0,35	25,1
150	10 x 1,0	0,83	145,1	12 x 1,0	0,53	50,4	15 x 1,0	0,31	14,6
200	12 x 1,0	0,71	82,9	15 x 1,0	0,42	23,9	18 x 1,0	0,28	9,0
250	12 x 1,0	0,88	122,2	15 x 1,0	0,52	35,2	18 x 1,0	0,35	13,2
300	12 x 1,0	1,06	168,1	15 x 1,0	0,63	48,3	18 x 1,0	0,41	18,0
350	15 x 1,0	0,73	63,2	18 x 1,0	0,48	23,6	22 x 1,0	0,31	8,2
400	15 x 1,0	0,84	79,8	18 x 1,0	0,55	29,7	22 x 1,0	0,35	10,3
450	15 x 1,0	0,94	98,1	18 x 1,0	0,62	36,5	22 x 1,0	0,40	12,7
500	15 x 1,0	1,05	118,0	18 x 1,0	0,69	43,9	22 x 1,0	0,44	15,2
600	18 x 1,0	0,83	60,4	22 x 1,0	0,53	20,9	28 x 1,5	0,34	7,2
700	18 x 1,0	0,97	79,2	22 x 1,0	0,62	27,4	28 x 1,5	0,40	9,5
800	18 x 1,0	1,11	100,2	22 x 1,0	0,71	34,6	28 x 1,5	0,45	12,0
900	18 x 1,0	1,24	123,4	22 x 1,0	0,80	42,5	28 x 1,5	0,51	14,7
1000	22 x 1,0	0,88	51,2	28 x 1,5	0,57	17,7	35 x 1,5	0,35	5,5
1100	22 x 1,0	0,97	60,6	28 x 1,5	0,62	20,9	35 x 1,5	0,38	6,5
1200	22 x 1,0	1,06	70,7	28 x 1,5	0,68	24,4	35 x 1,5	0,41	7,5
1300	22 x 1,0	1,15	81,4	28 x 1,5	0,74	28,0	35 x 1,5	0,45	8,7
1400	22 x 1,0	1,24	92,9	28 x 1,5	0,79	32,0	35 x 1,5	0,48	9,9
1500	22 x 1,0	1,33	105,0	28 x 1,5	0,85	36,1	35 x 1,5	0,52	11,1
1600	22 x 1,0	1,41	117,7	28 x 1,5	0,91	40,5	35 x 1,5	0,55	12,5
1700	28 x 1,5	0,96	45,1	35 x 1,5	0,59	13,9	42 x 1,5	0,40	5,4
1800	28 x 1,5	1,02	49,9	35 x 1,5	0,62	15,3	42 x 1,5	0,42	6,0
1900	28 x 1,5	1,08	54,9	35 x 1,5	0,66	16,9	42 x 1,5	0,44	6,6
2000	28 x 1,5	1,13	60,1	35 x 1,5	0,69	18,5	42 x 1,5	0,47	7,2
2100	28 x 1,5	1,19	65,6	35 x 1,5	0,73	20,1	42 x 1,5	0,49	7,8
2200	28 x 1,5	1,24	71,2	35 x 1,5	0,76	21,9	42 x 1,5	0,51	8,5
2300	28 x 1,5	1,30	77,1	35 x 1,5	0,79	23,7	42 x 1,5	0,53	9,2
2400	28 x 1,5	1,36	83,1	35 x 1,5	0,83	25,5	42 x 1,5	0,56	9,9
2500	28 x 1,5	1,41	89,4	35 x 1,5	0,86	27,4	42 x 1,5	0,58	10,7
2600	28 x 1,5	1,47	95,9	35 x 1,5	0,90	29,4	42 x 1,5	0,60	11,4
2700	28 x 1,5	1,53	102,6	35 x 1,5	0,93	31,4	42 x 1,5	0,63	12,2
2800	28 x 1,5	1,58	109,5	35 x 1,5	0,97	33,5	42 x 1,5	0,65	13,0
2900	28 x 1,5	1,64	116,5	35 x 1,5	1,00	35,7	42 x 1,5	0,67	13,9
3000	28 x 1,5	1,70	123,8	35 x 1,5	1,04	37,9	42 x 1,5	0,70	14,7
3200	28 x 1,5	1,81	139,0	35 x 1,5	1,11	42,5	42 x 1,5	0,74	16,5
3400	35 x 1,5	1,17	47,4	42 x 1,5	0,79	18,4	54 x 2,0	0,48	5,6
3600	35 x 1,5	1,24	52,5	42 x 1,5	0,84	20,3	54 x 2,0	0,51	6,2
3800	35 x 1,5	1,31	57,8	42 x 1,5	0,88	22,4	54 x 2,0	0,54	6,8
4000	35 x 1,5	1,38	63,3	42 x 1,5	0,93	24,5	54 x 2,0	0,57	7,5
4200	35 x 1,5	1,45	69,1	42 x 1,5	0,98	26,8	54 x 2,0	0,59	8,2
4600	35 x 1,5	1,59	81,3	42 x 1,5	1,07	31,5	54 x 2,0	0,65	9,6
5000	35 x 1,5	1,73	94,4	42 x 1,5	1,16	36,5	54 x 2,0	0,71	11,1
5500	42 x 1,5	1,28	43,3	54 x 2,0	0,78	13,2	64 x 2,0	0,54	5,5
6000	42 x 1,5	1,40	50,6	54 x 2,0	0,85	15,4	64 x 2,0	0,59	6,4
6500	42 x 1,5	1,51	58,4	54 x 2,0	0,92	17,7	64 x 2,0	0,64	7,4
7000	42 x 1,5	1,63	66,7	54 x 2,0	0,99	20,2	64 x 2,0	0,69	8,5
7500	42 x 1,5	1,74	75,5	54 x 2,0	1,06	22,9	64 x 2,0	0,74	9,6
8000	42 x 1,5	1,86	84,8	54 x 2,0	1,13	25,7	64 x 2,0	0,79	10,7
8500	42 x 1,5	1,98	94,6	54 x 2,0	1,20	28,7	64 x 2,0	0,84	11,9
9000	42 x 1,5	2,09	104,9	54 x 2,0	1,27	31,7	64 x 2,0	0,88	13,2
10000	42 x 1,5	2,33	126,8	54 x 2,0	1,41	38,4	64 x 2,0	0,98	16,0
11000	42 x 1,5	2,56	150,7	54 x 2,0	1,56	45,5	64 x 2,0	1,08	19,0
12000	54 x 2,0	1,70	53,2	64 x 2,0	1,18	22,2	64 x 2,0	1,18	22,2
14000	54 x 2,0	1,98	70,3	64 x 2,0	1,38	29,2	64 x 2,0	1,38	29,2

Tubo de cobre de rugosidad k=0,002 mm

PÉRDIDAS DE PRESIÓN EN TUBOS DE COBRE (UNE-EN 1057)

FLUIDO: 20% Propilenglicol, 80% Agua

Temperatura del Fluido T=40°C

Caudal (l/h)	Diámetro nominal	V (m/s)	DP (mmc.a./m)	Diámetro nominal	V (m/s)	DP (mmc.a./m)	Diámetro nominal	V (m/s)	DP (mmc.a./m)
DIÁMETRO PEQUEÑO			DIÁMETRO RECOMENDADO			DIÁMETRO GRANDE			
100	8 x 1,0	0,98	314,4	10 x 1,0	0,55	80,9	12 x 1,0	0,35	28,3
150	10 x 1,0	0,83	162,0	12 x 1,0	0,53	56,5	15 x 1,0	0,31	16,4
200	12 x 1,0	0,71	92,5	15 x 1,0	0,42	26,8	18 x 1,0	0,28	10,1
250	12 x 1,0	0,88	136,0	15 x 1,0	0,52	39,3	18 x 1,0	0,35	14,8
300	15 x 1,0	0,63	53,8	18 x 1,0	0,41	20,2	22 x 1,0	0,27	7,0
350	15 x 1,0	0,73	70,3	18 x 1,0	0,48	26,3	22 x 1,0	0,31	9,2
400	15 x 1,0	0,84	88,6	18 x 1,0	0,55	33,1	22 x 1,0	0,35	11,5
450	15 x 1,0	0,94	108,7	18 x 1,0	0,62	40,6	22 x 1,0	0,40	14,1
500	18 x 1,0	0,69	48,7	22 x 1,0	0,44	16,9	28 x 1,5	0,28	5,9
600	18 x 1,0	0,83	66,9	22 x 1,0	0,53	23,2	28 x 1,5	0,34	8,1
700	18 x 1,0	0,97	87,6	22 x 1,0	0,62	30,4	28 x 1,5	0,40	10,5
800	18 x 1,0	1,11	110,7	22 x 1,0	0,71	38,3	28 x 1,5	0,45	13,3
900	22 x 1,0	0,80	47,0	28 x 1,5	0,51	16,3	35 x 1,5	0,31	5,1
1000	22 x 1,0	0,88	56,6	28 x 1,5	0,57	19,6	35 x 1,5	0,35	6,1
1100	22 x 1,0	0,97	66,9	28 x 1,5	0,62	23,1	35 x 1,5	0,38	7,2
1200	22 x 1,0	1,06	77,9	28 x 1,5	0,68	26,9	35 x 1,5	0,41	8,3
1300	22 x 1,0	1,15	89,7	28 x 1,5	0,74	31,0	35 x 1,5	0,45	9,6
1400	22 x 1,0	1,24	102,2	28 x 1,5	0,79	35,3	35 x 1,5	0,48	10,9
1500	22 x 1,0	1,33	115,4	28 x 1,5	0,85	39,8	35 x 1,5	0,52	12,3
1600	22 x 1,0	1,41	129,3	28 x 1,5	0,91	44,6	35 x 1,5	0,55	13,8
1700	28 x 1,5	0,96	49,6	35 x 1,5	0,59	15,3	42 x 1,5	0,40	6,0
1800	28 x 1,5	1,02	54,9	35 x 1,5	0,62	16,9	42 x 1,5	0,42	6,6
1900	28 x 1,5	1,08	60,4	35 x 1,5	0,66	18,6	42 x 1,5	0,44	7,3
2000	28 x 1,5	1,13	66,1	35 x 1,5	0,69	20,4	42 x 1,5	0,47	7,9
2100	28 x 1,5	1,19	72,0	35 x 1,5	0,73	22,2	42 x 1,5	0,49	8,7
2200	28 x 1,5	1,24	78,2	35 x 1,5	0,76	24,1	42 x 1,5	0,51	9,4
2300	28 x 1,5	1,30	84,6	35 x 1,5	0,79	26,0	42 x 1,5	0,53	10,2
2400	28 x 1,5	1,36	91,2	35 x 1,5	0,83	28,1	42 x 1,5	0,56	10,9
2500	28 x 1,5	1,41	98,0	35 x 1,5	0,86	30,2	42 x 1,5	0,58	11,8
2600	28 x 1,5	1,47	105,1	35 x 1,5	0,90	32,3	42 x 1,5	0,60	12,6
2700	28 x 1,5	1,53	112,3	35 x 1,5	0,93	34,6	42 x 1,5	0,63	13,5
2800	28 x 1,5	1,58	119,8	35 x 1,5	0,97	36,8	42 x 1,5	0,65	14,3
2900	28 x 1,5	1,64	127,5	35 x 1,5	1,00	39,2	42 x 1,5	0,67	15,3
3000	28 x 1,5	1,70	135,5	35 x 1,5	1,04	41,6	42 x 1,5	0,70	16,2
3200	35 x 1,5	1,11	46,6	42 x 1,5	0,74	18,1	54 x 2,0	0,45	5,6
3400	35 x 1,5	1,17	51,9	42 x 1,5	0,79	20,2	54 x 2,0	0,48	6,2
3600	35 x 1,5	1,24	57,5	42 x 1,5	0,84	22,3	54 x 2,0	0,51	6,8
3800	35 x 1,5	1,31	63,3	42 x 1,5	0,88	24,6	54 x 2,0	0,54	7,5
4000	35 x 1,5	1,38	69,3	42 x 1,5	0,93	26,9	54 x 2,0	0,57	8,2
4200	35 x 1,5	1,45	75,6	42 x 1,5	0,98	29,3	54 x 2,0	0,59	9,0
4600	35 x 1,5	1,59	88,8	42 x 1,5	1,07	34,5	54 x 2,0	0,65	10,5
5000	35 x 1,5	1,73	103,1	42 x 1,5	1,16	40,0	54 x 2,0	0,71	12,2
5500	42 x 1,5	1,28	47,4	54 x 2,0	0,78	14,4	64 x 2,0	0,54	6,0
6000	42 x 1,5	1,40	55,3	54 x 2,0	0,85	16,8	64 x 2,0	0,59	7,1
6500	42 x 1,5	1,51	63,8	54 x 2,0	0,92	19,4	64 x 2,0	0,64	8,1
7000	42 x 1,5	1,63	72,8	54 x 2,0	0,99	22,1	64 x 2,0	0,69	9,3
7500	42 x 1,5	1,74	82,3	54 x 2,0	1,06	25,0	64 x 2,0	0,74	10,5
8000	42 x 1,5	1,86	92,4	54 x 2,0	1,13	28,1	64 x 2,0	0,79	11,7
8500	42 x 1,5	1,98	103,0	54 x 2,0	1,20	31,3	64 x 2,0	0,84	13,1
9000	42 x 1,5	2,09	114,1	54 x 2,0	1,27	34,6	64 x 2,0	0,88	14,5
10000	42 x 1,5	2,33	137,8	54 x 2,0	1,41	41,8	64 x 2,0	0,98	17,5
11000	42 x 1,5	2,56	163,5	54 x 2,0	1,56	49,6	64 x 2,0	1,08	20,7
12000	54 x 2,0	1,70	57,9	64 x 2,0	1,18	24,2	64 x 2,0	1,18	24,2
14000	54 x 2,0	1,98	76,4	64 x 2,0	1,38	31,8	64 x 2,0	1,38	31,8

Tubo de cobre de rugosidad k=0,002 mm

PÉRDIDAS DE PRESIÓN EN TUBOS DE COBRE (UNE-EN 1057)

FLUIDO: 30% Propilenglicol, 70% Agua

Temperatura del Fluido T=40°C

Caudal (l/h)	Diámetro nominal	V (m/s)	DP (mmc.a./m)	Diámetro nominal	V (m/s)	DP (mmc.a./m)	Diámetro nominal	V (m/s)	DP (mmc.a./m)
DIÁMETRO PEQUEÑO			DIÁMETRO RECOMENDADO			DIÁMETRO GRANDE			
100	8 x 1,0	0,98	342,5	10 x 1,0	0,55	88,5	12 x 1,0	0,35	31,1
150	10 x 1,0	0,83	176,3	12 x 1,0	0,53	61,6	15 x 1,0	0,31	18,0
200	12 x 1,0	0,71	100,7	15 x 1,0	0,42	29,3	18 x 1,0	0,28	11,0
250	12 x 1,0	0,88	147,7	15 x 1,0	0,52	42,8	18 x 1,0	0,35	16,1
300	15 x 1,0	0,63	58,5	18 x 1,0	0,41	22,0	22 x 1,0	0,27	7,7
350	15 x 1,0	0,73	76,2	18 x 1,0	0,48	28,6	22 x 1,0	0,31	10,0
400	15 x 1,0	0,84	96,0	18 x 1,0	0,55	36,0	22 x 1,0	0,35	12,6
450	15 x 1,0	0,94	117,7	18 x 1,0	0,62	44,0	22 x 1,0	0,40	15,4
500	18 x 1,0	0,69	52,8	22 x 1,0	0,44	18,4	28 x 1,5	0,28	6,4
600	18 x 1,0	0,83	72,4	22 x 1,0	0,53	25,2	28 x 1,5	0,34	8,8
700	18 x 1,0	0,97	94,6	22 x 1,0	0,62	32,9	28 x 1,5	0,40	11,4
800	18 x 1,0	1,11	119,4	22 x 1,0	0,71	41,4	28 x 1,5	0,45	14,4
900	22 x 1,0	0,80	50,8	28 x 1,5	0,51	17,7	35 x 1,5	0,31	5,5
1000	22 x 1,0	0,88	61,0	28 x 1,5	0,57	21,2	35 x 1,5	0,35	6,6
1100	22 x 1,0	0,97	72,1	28 x 1,5	0,62	25,0	35 x 1,5	0,38	7,8
1200	22 x 1,0	1,06	83,9	28 x 1,5	0,68	29,1	35 x 1,5	0,41	9,0
1300	22 x 1,0	1,15	96,5	28 x 1,5	0,74	33,4	35 x 1,5	0,45	10,4
1400	22 x 1,0	1,24	109,9	28 x 1,5	0,79	38,0	35 x 1,5	0,48	11,8
1500	22 x 1,0	1,33	124,1	28 x 1,5	0,85	42,9	35 x 1,5	0,52	13,3
1600	28 x 1,5	0,91	48,0	35 x 1,5	0,55	14,9	42 x 1,5	0,37	5,8
1700	28 x 1,5	0,96	53,4	35 x 1,5	0,59	16,5	42 x 1,5	0,40	6,5
1800	28 x 1,5	1,02	59,0	35 x 1,5	0,62	18,3	42 x 1,5	0,42	7,1
1900	28 x 1,5	1,08	64,9	35 x 1,5	0,66	20,1	42 x 1,5	0,44	7,8
2000	28 x 1,5	1,13	71,0	35 x 1,5	0,69	22,0	42 x 1,5	0,47	8,6
2100	28 x 1,5	1,19	77,4	35 x 1,5	0,73	23,9	42 x 1,5	0,49	9,3
2200	28 x 1,5	1,24	84,0	35 x 1,5	0,76	25,9	42 x 1,5	0,51	10,1
2300	28 x 1,5	1,30	90,8	35 x 1,5	0,79	28,0	42 x 1,5	0,53	10,9
2400	28 x 1,5	1,36	97,9	35 x 1,5	0,83	30,2	42 x 1,5	0,56	11,8
2500	28 x 1,5	1,41	105,2	35 x 1,5	0,86	32,4	42 x 1,5	0,58	12,7
2600	28 x 1,5	1,47	112,7	35 x 1,5	0,90	34,8	42 x 1,5	0,60	13,6
2700	28 x 1,5	1,53	120,5	35 x 1,5	0,93	37,1	42 x 1,5	0,63	14,5
2800	28 x 1,5	1,58	128,5	35 x 1,5	0,97	39,6	42 x 1,5	0,65	15,4
2900	28 x 1,5	1,64	136,7	35 x 1,5	1,00	42,1	42 x 1,5	0,67	16,4
3000	28 x 1,5	1,70	145,1	35 x 1,5	1,04	44,7	42 x 1,5	0,70	17,4
3200	35 x 1,5	1,11	50,1	42 x 1,5	0,74	19,5	54 x 2,0	0,45	6,0
3400	35 x 1,5	1,17	55,7	42 x 1,5	0,79	21,7	54 x 2,0	0,48	6,7
3600	35 x 1,5	1,24	61,6	42 x 1,5	0,84	24,0	54 x 2,0	0,51	7,4
3800	35 x 1,5	1,31	67,8	42 x 1,5	0,88	26,4	54 x 2,0	0,54	8,1
4000	35 x 1,5	1,38	74,3	42 x 1,5	0,93	28,9	54 x 2,0	0,57	8,9
4200	35 x 1,5	1,45	80,9	42 x 1,5	0,98	31,5	54 x 2,0	0,59	9,6
4600	35 x 1,5	1,59	95,1	42 x 1,5	1,07	37,0	54 x 2,0	0,65	11,3
5000	35 x 1,5	1,73	110,2	42 x 1,5	1,16	42,8	54 x 2,0	0,71	13,1
5500	42 x 1,5	1,28	50,7	54 x 2,0	0,78	15,5	64 x 2,0	0,54	6,5
6000	42 x 1,5	1,40	59,2	54 x 2,0	0,85	18,1	64 x 2,0	0,59	7,6
6500	42 x 1,5	1,51	68,2	54 x 2,0	0,92	20,8	64 x 2,0	0,64	8,7
7000	42 x 1,5	1,63	77,8	54 x 2,0	0,99	23,7	64 x 2,0	0,69	9,9
7500	42 x 1,5	1,74	87,9	54 x 2,0	1,06	26,8	64 x 2,0	0,74	11,2
8000	42 x 1,5	1,86	98,7	54 x 2,0	1,13	30,1	64 x 2,0	0,79	12,6
8500	42 x 1,5	1,98	109,9	54 x 2,0	1,20	33,5	64 x 2,0	0,84	14,0
9000	42 x 1,5	2,09	121,7	54 x 2,0	1,27	37,0	64 x 2,0	0,88	15,5
10000	42 x 1,5	2,33	146,9	54 x 2,0	1,41	44,7	64 x 2,0	0,98	18,7
11000	42 x 1,5	2,56	174,2	54 x 2,0	1,56	52,9	64 x 2,0	1,08	22,1
12000	54 x 2,0	1,70	61,8	64 x 2,0	1,18	25,8	64 x 2,0	1,18	25,8
14000	54 x 2,0	1,98	81,4	64 x 2,0	1,38	34,0	64 x 2,0	1,38	34,0

Tubo de cobre de rugosidad k=0,002 mm

PÉRDIDAS DE PRESIÓN EN TUBOS DE COBRE (UNE-EN 1057)

FLUIDO: 40% Propilenglicol, 60% Agua

Temperatura del Fluido T=40°C

Caudal (l/h)	Diámetro nominal	V (m/s)	DP (mmc.a./m)	Diámetro nominal	V (m/s)	DP (mmc.a./m)	Diámetro nominal	V (m/s)	DP (mmc.a./m)
DIÁMETRO PEQUEÑO			DIÁMETRO RECOMENDADO			DIÁMETRO GRANDE			
100	8 x 1,0	0,98	387,4	10 x 1,0	0,55	100,7	12 x 1,0	0,35	35,7
150	10 x 1,0	0,83	199,1	12 x 1,0	0,53	69,9	15 x 1,0	0,31	20,5
200	12 x 1,0	0,71	113,6	15 x 1,0	0,42	33,2	18 x 1,0	0,28	12,6
250	12 x 1,0	0,88	166,0	15 x 1,0	0,52	48,3	18 x 1,0	0,35	18,3
300	15 x 1,0	0,63	65,9	18 x 1,0	0,41	24,8	22 x 1,0	0,27	8,7
350	15 x 1,0	0,73	85,7	18 x 1,0	0,48	32,2	22 x 1,0	0,31	11,3
400	15 x 1,0	0,84	107,6	18 x 1,0	0,55	40,5	22 x 1,0	0,35	14,2
450	15 x 1,0	0,94	131,7	18 x 1,0	0,62	49,5	22 x 1,0	0,40	17,3
500	18 x 1,0	0,69	59,2	22 x 1,0	0,44	20,7	28 x 1,5	0,28	7,3
600	18 x 1,0	0,83	81,0	22 x 1,0	0,53	28,3	28 x 1,5	0,34	9,9
700	18 x 1,0	0,97	105,6	22 x 1,0	0,62	36,8	28 x 1,5	0,40	12,9
800	18 x 1,0	1,11	133,0	22 x 1,0	0,71	46,3	28 x 1,5	0,45	16,2
900	22 x 1,0	0,80	56,7	28 x 1,5	0,51	19,8	35 x 1,5	0,31	6,2
1000	22 x 1,0	0,88	68,0	28 x 1,5	0,57	23,7	35 x 1,5	0,35	7,4
1100	22 x 1,0	0,97	80,3	28 x 1,5	0,62	27,9	35 x 1,5	0,38	8,7
1200	22 x 1,0	1,06	93,3	28 x 1,5	0,68	32,4	35 x 1,5	0,41	10,1
1300	22 x 1,0	1,15	107,2	28 x 1,5	0,74	37,3	35 x 1,5	0,45	11,6
1400	22 x 1,0	1,24	122,0	28 x 1,5	0,79	42,4	35 x 1,5	0,48	13,2
1500	22 x 1,0	1,33	137,6	28 x 1,5	0,85	47,7	35 x 1,5	0,52	14,8
1600	28 x 1,5	0,91	53,4	35 x 1,5	0,55	16,6	42 x 1,5	0,37	6,5
1700	28 x 1,5	0,96	59,3	35 x 1,5	0,59	18,4	42 x 1,5	0,40	7,2
1800	28 x 1,5	1,02	65,5	35 x 1,5	0,62	20,3	42 x 1,5	0,42	8,0
1900	28 x 1,5	1,08	72,0	35 x 1,5	0,66	22,3	42 x 1,5	0,44	8,8
2000	28 x 1,5	1,13	78,7	35 x 1,5	0,69	24,4	42 x 1,5	0,47	9,6
2100	28 x 1,5	1,19	85,7	35 x 1,5	0,73	26,6	42 x 1,5	0,49	10,4
2200	28 x 1,5	1,24	93,0	35 x 1,5	0,76	28,8	42 x 1,5	0,51	11,3
2300	28 x 1,5	1,30	100,5	35 x 1,5	0,79	31,1	42 x 1,5	0,53	12,2
2400	28 x 1,5	1,36	108,3	35 x 1,5	0,83	33,5	42 x 1,5	0,56	13,1
2500	28 x 1,5	1,41	116,3	35 x 1,5	0,86	36,0	42 x 1,5	0,58	14,1
2600	28 x 1,5	1,47	124,6	35 x 1,5	0,90	38,5	42 x 1,5	0,60	15,1
2700	28 x 1,5	1,53	133,1	35 x 1,5	0,93	41,2	42 x 1,5	0,63	16,1
2800	28 x 1,5	1,58	141,8	35 x 1,5	0,97	43,9	42 x 1,5	0,65	17,1
2900	28 x 1,5	1,64	150,9	35 x 1,5	1,00	46,6	42 x 1,5	0,67	18,2
3000	35 x 1,5	1,04	49,5	42 x 1,5	0,70	19,3	54 x 2,0	0,42	6,0
3200	35 x 1,5	1,11	55,4	42 x 1,5	0,74	21,6	54 x 2,0	0,45	6,7
3400	35 x 1,5	1,17	61,6	42 x 1,5	0,79	24,1	54 x 2,0	0,48	7,4
3600	35 x 1,5	1,24	68,1	42 x 1,5	0,84	26,6	54 x 2,0	0,51	8,2
3800	35 x 1,5	1,31	74,9	42 x 1,5	0,88	29,2	54 x 2,0	0,54	9,0
4000	35 x 1,5	1,38	81,9	42 x 1,5	0,93	32,0	54 x 2,0	0,57	9,8
4200	35 x 1,5	1,45	89,2	42 x 1,5	0,98	34,8	54 x 2,0	0,59	10,7
4600	35 x 1,5	1,59	104,7	42 x 1,5	1,07	40,8	54 x 2,0	0,65	12,5
5000	42 x 1,5	1,16	47,3	54 x 2,0	0,71	14,5	64 x 2,0	0,49	6,1
5500	42 x 1,5	1,28	55,9	54 x 2,0	0,78	17,1	64 x 2,0	0,54	7,2
6000	42 x 1,5	1,40	65,1	54 x 2,0	0,85	20,0	64 x 2,0	0,59	8,4
6500	42 x 1,5	1,51	75,0	54 x 2,0	0,92	23,0	64 x 2,0	0,64	9,6
7000	42 x 1,5	1,63	85,5	54 x 2,0	0,99	26,2	64 x 2,0	0,69	11,0
7500	42 x 1,5	1,74	96,6	54 x 2,0	1,06	29,5	64 x 2,0	0,74	12,4
8000	42 x 1,5	1,86	108,3	54 x 2,0	1,13	33,1	64 x 2,0	0,79	13,9
8500	42 x 1,5	1,98	120,6	54 x 2,0	1,20	36,8	64 x 2,0	0,84	15,4
9000	42 x 1,5	2,09	133,4	54 x 2,0	1,27	40,7	64 x 2,0	0,88	17,1
10000	42 x 1,5	2,33	160,9	54 x 2,0	1,41	49,1	64 x 2,0	0,98	20,6
11000	42 x 1,5	2,56	190,6	54 x 2,0	1,56	58,1	64 x 2,0	1,08	24,3
12000	54 x 2,0	1,70	67,8	64 x 2,0	1,18	28,4	64 x 2,0	1,18	28,4
14000	54 x 2,0	1,98	89,1	64 x 2,0	1,38	37,3	64 x 2,0	1,38	37,3

Tubo de cobre de rugosidad k=0,002 mm

PÉRDIDAS DE PRESIÓN EN TUBOS DE COBRE (UNE-EN 1057)

FLUIDO: 50% Propilenglicol, 50% Agua

Temperatura del fluido T=40°C

Caudal (l/h)	Diámetro nominal	V (m/s)	DP (mmc.a./m)	Diámetro nominal	V (m/s)	DP (mmc.a./m)	Diámetro nominal	V (m/s)	DP (mmc.a./m)
DIÁMETRO PEQUEÑO			DIÁMETRO RECOMENDADO			DIÁMETRO GRANDE			
100	8 x 1,0	0,98	421,4	10 x 1,0	0,55	110,7	12 x 1,0	0,35	40,2
150	10 x 1,0	0,83	216,2	12 x 1,0	0,53	76,3	15 x 1,0	0,31	22,7
200	12 x 1,0	0,71	123,3	15 x 1,0	0,42	36,2	18 x 1,0	0,28	13,8
250	12 x 1,0	0,88	179,7	15 x 1,0	0,52	52,5	18 x 1,0	0,35	19,9
300	15 x 1,0	0,63	71,4	18 x 1,0	0,41	27,0	22 x 1,0	0,27	9,5
350	15 x 1,0	0,73	92,7	18 x 1,0	0,48	35,0	22 x 1,0	0,31	12,3
400	15 x 1,0	0,84	116,3	18 x 1,0	0,55	43,8	22 x 1,0	0,35	15,4
450	15 x 1,0	0,94	142,1	18 x 1,0	0,62	53,5	22 x 1,0	0,40	18,8
500	18 x 1,0	0,69	64,0	22 x 1,0	0,44	22,4	28 x 1,5	0,28	7,9
600	18 x 1,0	0,83	87,3	22 x 1,0	0,53	30,5	28 x 1,5	0,34	10,7
700	18 x 1,0	0,97	113,7	22 x 1,0	0,62	39,7	28 x 1,5	0,40	13,9
800	18 x 1,0	1,11	143,1	22 x 1,0	0,71	49,9	28 x 1,5	0,45	17,4
900	22 x 1,0	0,80	61,1	28 x 1,5	0,51	21,3	35 x 1,5	0,31	6,7
1000	22 x 1,0	0,88	73,2	28 x 1,5	0,57	25,5	35 x 1,5	0,35	8,0
1100	22 x 1,0	0,97	86,2	28 x 1,5	0,62	30,1	35 x 1,5	0,38	9,4
1200	22 x 1,0	1,06	100,2	28 x 1,5	0,68	34,9	35 x 1,5	0,41	10,9
1300	22 x 1,0	1,15	115,1	28 x 1,5	0,74	40,1	35 x 1,5	0,45	12,5
1400	22 x 1,0	1,24	130,8	28 x 1,5	0,79	45,5	35 x 1,5	0,48	14,2
1500	22 x 1,0	1,33	147,4	28 x 1,5	0,85	51,3	35 x 1,5	0,52	16,0
1600	28 x 1,5	0,91	57,3	35 x 1,5	0,55	17,8	42 x 1,5	0,37	7,0
1700	28 x 1,5	0,96	63,6	35 x 1,5	0,59	19,8	42 x 1,5	0,40	7,8
1800	28 x 1,5	1,02	70,3	35 x 1,5	0,62	21,9	42 x 1,5	0,42	8,6
1900	28 x 1,5	1,08	77,2	35 x 1,5	0,66	24,0	42 x 1,5	0,44	9,4
2000	28 x 1,5	1,13	84,4	35 x 1,5	0,69	26,2	42 x 1,5	0,47	10,3
2100	28 x 1,5	1,19	91,8	35 x 1,5	0,73	28,5	42 x 1,5	0,49	11,2
2200	28 x 1,5	1,24	99,5	35 x 1,5	0,76	30,9	42 x 1,5	0,51	12,1
2300	28 x 1,5	1,30	107,6	35 x 1,5	0,79	33,4	42 x 1,5	0,53	13,1
2400	28 x 1,5	1,36	115,8	35 x 1,5	0,83	35,9	42 x 1,5	0,56	14,1
2500	28 x 1,5	1,41	124,4	35 x 1,5	0,86	38,6	42 x 1,5	0,58	15,1
2600	28 x 1,5	1,47	133,2	35 x 1,5	0,90	41,3	42 x 1,5	0,60	16,2
2700	28 x 1,5	1,53	142,2	35 x 1,5	0,93	44,1	42 x 1,5	0,63	17,3
2800	28 x 1,5	1,58	151,6	35 x 1,5	0,97	47,0	42 x 1,5	0,65	18,4
2900	28 x 1,5	1,64	161,1	35 x 1,5	1,00	49,9	42 x 1,5	0,67	19,5
3000	35 x 1,5	1,04	52,9	42 x 1,5	0,70	20,7	54 x 2,0	0,42	6,4
3200	35 x 1,5	1,11	59,2	42 x 1,5	0,74	23,2	54 x 2,0	0,45	7,2
3400	35 x 1,5	1,17	65,8	42 x 1,5	0,79	25,8	54 x 2,0	0,48	7,9
3600	35 x 1,5	1,24	72,8	42 x 1,5	0,84	28,5	54 x 2,0	0,51	8,8
3800	35 x 1,5	1,31	80,0	42 x 1,5	0,88	31,3	54 x 2,0	0,54	9,6
4000	35 x 1,5	1,38	87,5	42 x 1,5	0,93	34,2	54 x 2,0	0,57	10,5
4200	35 x 1,5	1,45	95,3	42 x 1,5	0,98	37,2	54 x 2,0	0,59	11,5
4600	35 x 1,5	1,59	111,7	42 x 1,5	1,07	43,6	54 x 2,0	0,65	13,4
5000	42 x 1,5	1,16	50,5	54 x 2,0	0,71	15,5	64 x 2,0	0,49	6,5
5500	42 x 1,5	1,28	59,6	54 x 2,0	0,78	18,3	64 x 2,0	0,54	7,7
6000	42 x 1,5	1,40	69,5	54 x 2,0	0,85	21,3	64 x 2,0	0,59	9,0
6500	42 x 1,5	1,51	79,9	54 x 2,0	0,92	24,5	64 x 2,0	0,64	10,3
7000	42 x 1,5	1,63	91,1	54 x 2,0	0,99	27,9	64 x 2,0	0,69	11,7
7500	42 x 1,5	1,74	102,8	54 x 2,0	1,06	31,5	64 x 2,0	0,74	13,2
8000	42 x 1,5	1,86	115,2	54 x 2,0	1,13	35,3	64 x 2,0	0,79	14,8
8500	42 x 1,5	1,98	128,2	54 x 2,0	1,20	39,2	64 x 2,0	0,84	16,5
9000	42 x 1,5	2,09	141,9	54 x 2,0	1,27	43,4	64 x 2,0	0,88	18,2
10000	42 x 1,5	2,33	170,9	54 x 2,0	1,41	52,2	64 x 2,0	0,98	21,9
11000	42 x 1,5	2,56	202,3	54 x 2,0	1,56	61,8	64 x 2,0	1,08	25,9
12000	54 x 2,0	1,70	72,1	64 x 2,0	1,18	30,2	64 x 2,0	1,18	30,2
14000	54 x 2,0	1,98	94,7	64 x 2,0	1,38	39,6	64 x 2,0	1,38	39,6

Tubo de cobre de rugosidad k=0,002 mm

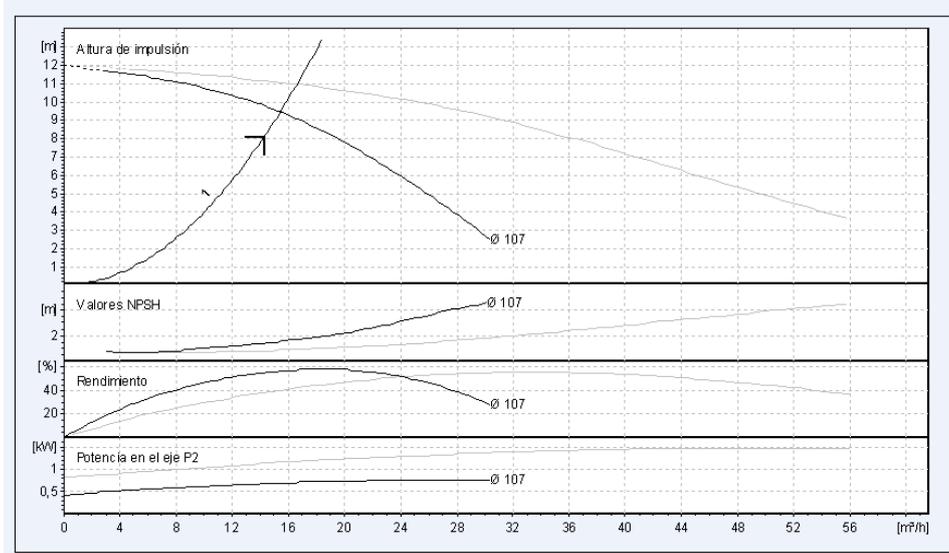
3.1. Cálculo del circuito hidráulico (II).



Con los parámetros de diseño (diámetro y caudal) y los averiguados (velocidad y pérdidas de carga) hasta el momento, no se puede mantener circulando el fluido. Falta seleccionar el elemento que mantiene la energía hidráulica al fluido. En base a la pérdida de carga y al máximo caudal que debe circular por cada circuito se diseña o se selecciona la **BOMBA** capaz de proporcionarle a dicho caudal, como mínimo, la potencia hidráulica para vencer las pérdidas calculadas. La bomba será pues seleccionada en razón de sus curvas de funcionamiento de caudal frente a altura manométrica comunicada, de forma que superen a la demandada por las necesidades del circuito.

La circulación del fluido por un circuito concreto conlleva unas pérdidas de carga por rozamiento en función del caudal que se esté moviendo, que en una gráfica altura-caudal da como resultado la curva de funcionamiento del circuito, y que debe estar situado dentro de la zona de la curva de trabajo de la bomba.

Pues bien, el **PUNTO DE FUNCIONAMIENTO** de la bomba es el resultado del corte de las curvas de funcionamiento del circuito con la de la bomba, por lo que proporcionará una altura manométrica a un determinado caudal, algo superiores a lo demandado por la instalación.



3.2. Cálculo de presiones.

Las variaciones de temperatura en las diferentes partes de una IST, como sabemos, son bastante grandes. ¿Cómo afecta esto a la instalación? Evidentemente esto supone unos cambios importantes de volumen del agua que circula por su interior, lo que provoca la aparición de elevadas presiones. Las IST deben estar diseñadas para soportar en todos sus puntos las presiones máximas a que pueden verse sometidas, por lo que en primer lugar, tienes que diferenciar las siguientes presiones propias de los circuitos hidráulicos de las IST:

- **Presión mínima o de llenado, Pm:** es la presión a la que se llena el circuito:



□ En circuito cerrado (el primario y el secundario de inercia), se asegura una presión relativa de 1 bar en la parte superior del circuito (generalmente los captadores del primario), para evitar la entrada o succión de aire al circuito.

En circuitos de consumo es la propia de la red; en ausencia de este dato se estima en unos 3 bar.

- **Presión inicial del vaso de expansión, P_i :** presión inicial de la cámara de aire o N_2 , que suele ser de unos 0,2-0,3 bar inferior a la de llenado, P_m . Así, al llenarse la instalación, el N_2 estará ligeramente comprimido, para permitir compresiones ligeras durante periodos de enfriamiento (noches), y evitar depresiones en captadores que provoquen succiones de aire.

- **Presión máxima de servicio, P_M** (en los puntos más altos de cada circuito):

En el primario, será la presión máxima que se produce durante el **estancamiento** de la instalación en **el cual parte del fluido se vaporiza** (lo que ocurre con frecuencia); se sitúa en torno a **3,5 bar** de presión relativa en los captadores (148°C).

Para evitar la formación de vapor se pueden tomar diversas medidas como la de aumentar la presión de trabajo en el circuito, mediante el aumento de las presiones de llenado y la inicial del vaso de expansión; de esta forma aumentará la temperatura de ebullición de manera que, dependiendo de la temperatura máxima que se puede alcanzar en captadores y de la presión máxima de servicio, no se pueda generar vapor en la instalación. Por eso, en primarios donde se asegura que **el fluido no se vaporiza la P_M** se establece en algo más de **5 bar**.

En circuitos **secundarios cerrados (de inercia)**, será la que alcanza el circuito cuando se calienta en torno a 80°C - 90°C. Será de unos **2 bar** (1 bar más que la de llenado), y

En los de **consumo**, aunque dependerá de la presión de la red, puede establecerse en unos **5,5 bar**.

Presión de la válvula seguridad, P_{VS} : presión a la que abre la válvula automática de alivio, superior en un 10% a la anterior máxima de servicio.

- **Presión de las válvulas de seguridad de los captadores:** aparte de la válvula de seguridad anterior, los captadores poseen sus propias válvulas de seguridad taradas a presión inferior a la nominal de los propios captadores (8-10 bar) y **Presión nominal máxima** de los componentes: presión de trabajo a la que podrán trabajar el resto de componentes de la instalación, y, que por tanto, deberá ser superior al tarado de la de seguridad.

- **Presión de prueba:** la que se realiza previamente a la puesta en marcha de la instalación y será de 1,5 veces la presión máxima de servicio, P_M , comprobándose el funcionamiento de las válvulas de seguridad.



El RITE establece la obligación de instalar una válvula de seguridad o alivio en cada circuito, aparte de las válvulas de seguridad en otros equipos como acumuladores, captadores y calderas.

Para el conocimiento de las presiones, se colocan manómetros indicadores de las presiones existentes, especialmente en captadores, bombas, vasos de expansión e intercambiadores.

Como es sabido para el control de las sobrepresiones se usan los vasos o depósitos de expansión. Los **circuitos primarios y secundarios**, son circuitos cerrados, y precisan de estos dispositivos que permiten absorber el volumen de dilatación del fluido. Los circuitos de **consumo** que cuentan con acumuladores de ACS (como son todas las instalaciones centralizadas sean del tamaño que sean) también precisarán absorber esta dilatación por la sobrepresión que se puede originar en dichos acumuladores por los cambios de temperatura en el agua acumulada. En el siguiente apartado se analiza.

3.3. Estancamiento de la IST.

Podemos definir el estancamiento de la instalación solar como la ausencia de circulación de fluido por los captadores cuando hay radiación.

La temperatura de estancamiento es la temperatura que alcanza el absorbedor del captador cuando está sin líquido, la irradiancia es de 1000 W/m² y la temperatura ambiente es de 30°C.

Actualmente muchos captadores solares tienen temperaturas de estancamiento superiores a 200°C. Los captadores alcanzarán la temperatura de estancamiento en el caso de se queden sin líquido bien de forma intencionada (sistemas drain back) o bien de forma accidental.

Si el estancamiento se produce con líquido, por ejemplo por fallo de suministro eléctrico, al subir la temperatura se producirá vapor que hará subir la presión. Si la instalación está bien diseñada, la temperatura máxima será la temperatura de saturación correspondiente a la presión máxima de diseño. Presiones relativas entre 4 y 6 bar indican temperaturas máximas entre 150 y 165°C.

Debemos distinguir entre estancamiento y sobrecalentamiento de la instalación. Si hay un corte del suministro eléctrico a la instalación cuando la radiación solar es elevada se producirá el estancamiento de la instalación independiente de la temperatura del acumulador solar.

El CTE en su DB-HE-4 indica que las instalaciones solares deben soportar el estancamiento de la instalación solar sin perder fluido en el circuito primario, debiendo ser capaces de restaurar la situación sin intervención externa. El estancamiento de la instalación es la situación donde la instalación solar se encontrará sometida a las mayores presiones y temperaturas. Es fundamental tener en consideración el estancamiento de la instalación solar en el diseño del circuito hidráulico de la instalación. El RITE 2007 obliga a realizar la prueba de estancamiento de la instalación solar.

El estancamiento puede ocurrir por diferentes causas.

La bomba no funciona. Se trata de una situación relativamente habitual, donde la bomba no funciona por fallo en el suministro eléctrico o por rotura de la misma. También puede ocurrir que la bomba no reciba la orden de arranque debido al fallo de la centralita de control o a la rotura o mal montaje de una de las sondas de control.

Aire en el circuito primario. Puede haber aire en el circuito primario, bien porque la purga está mal realizada, bien porque se haya producido una fuga con el consiguiente vaciado total o parcial del circuito o bien por una rotura o mal funcionamiento del vaso de expansión.

Manipulación incorrecta de la instalación. Se puede producir el estancamiento debido a una incorrecta manipulación de la instalación: apagado de la centralita de control, una válvula cerrada, etc. Las operaciones de mantenimiento deben realizarse con los captadores tapados si se trabaja con una irradiancia elevada.

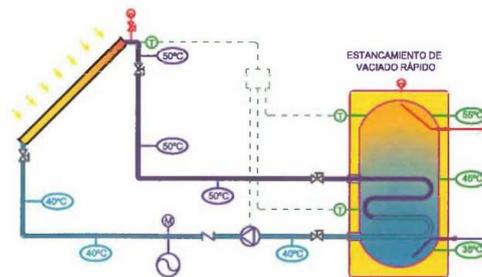
Medida para evitar el sobrecalentamiento.

La instalación puede diseñarse de forma que la medida para evitar el sobrecalentamiento de la instalación solar sea la parada de la bomba y por tanto el estancamiento de la instalación.

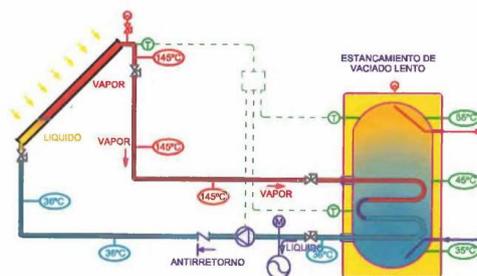
El estancamiento puede ocurrir con fluido térmico o aire en los captadores.

Estancamiento con fluido térmico. Se produce generalmente por parada intencionada o no de la bomba. Dadas las temperaturas y presiones que se alcanzan, se producirá parte de la evaporación del fluido térmico. Las características del estancamiento dependen principalmente del diseño del circuito primario: concretamente de la posición de la válvula antirretorno y el vaso de expansión:

- Estancamiento de tipo "vaciado rápido". Vaso de expansión situado aguas abajo de la válvula antirretorno.



- Estancamiento de tipo "vaciado lento". Vaso de expansión situado aguas arriba de la válvula antirretorno.



Estancamiento con aire. Se produce por vaciado de fluido térmico de los captadores solares. En el caso de sistemas denominados "**drain-back**", el vaciado es intencionado. También se puede producir estancamiento con aire cuando se produce un vaciado accidental del circuito primario o una purga incorrecta.

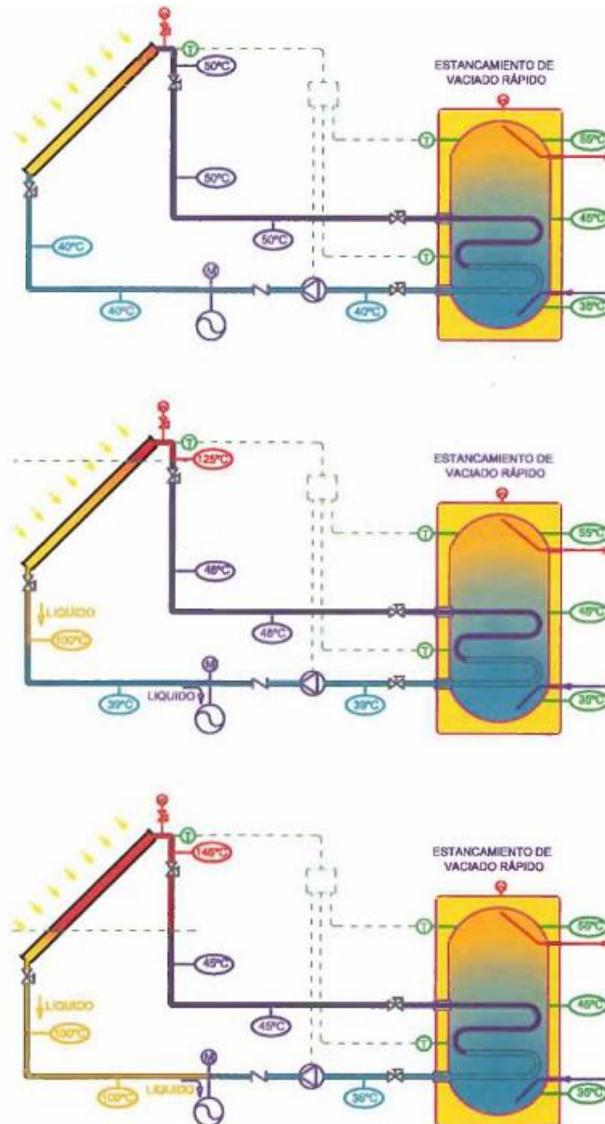
A continuación se realiza un análisis detallado de los 3 tipos de estancamiento posible.

a) Estancamiento por vaciado rápido.

Se denomina estancamiento de "vaciado rápido" cuando el circuito hidráulico está diseñado de forma que al producirse vapor en los captadores, éste vapor empuja el líquido hacia el exterior, vaciándose por la parte inferior del captador por la tubería de impulsión.

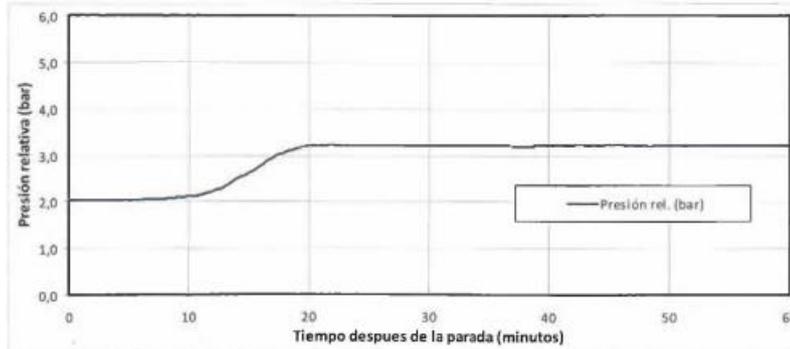
Consiste en reemplazar el agua en estado líquido por vapor de agua en el captador. Puede afirmarse que la parte del captador que contiene vapor, tiene una mala transmisión de calor y que únicamente la parte que contiene líquido produce un aporte efectivo de calor.

Los esquemas adjuntos muestran el estancamiento de una instalación solar en estancamiento del tipo "vaciado rápido".



Se puede observar, que el vaso de expansión se sitúa aguas abajo de la válvula antirretorno y por tanto en la impulsión de la bomba. Se trata de una posición del vaso de expansión que no suele ser recomendable por la posibilidad de que se produzca la cavitación de la bomba. Sin embargo, en circuitos primarios de energía solar, la altura de la bomba no suele ser elevada y si se presuriza convenientemente el circuito primario, no habrá peligro de cavitación.

La Figura muestra la evolución de la presión del circuito primario cuando se produce el estancamiento rápido con parada de la bomba desde el minuto cero. Se observa que a los 8-9 minutos de la parada la presión comienza a aumentar debido al inicio de la producción de vapor y que sólo alrededor de los 20 minutos después de la parada se ha llegado a una situación prácticamente estacionaria.



En el tercer esquema de la página anterior, representa las condiciones finales del estancamiento (30 minutos después de la parada). El vapor está confinado prácticamente en el captador, estando el nivel de la lámina libre fijado por la fluidoestática

El volumen máximo de vapor se puede determinar claramente para cualquier instalación y es igual al volumen de agua de los captadores más el volumen de todos los tramos de tuberías que se encuentran por encima del colector inferior de los captadores.

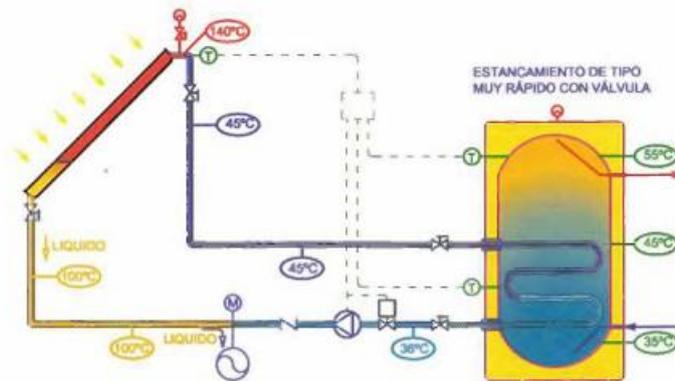
En estas condiciones se ha de evaluar si es conveniente arrancar la bomba o no tras el estancamiento.

- Si todo el circuito primario se encuentra en la cubierta y por tanto hay poca diferencia de altura entre el acumulador solar y los captadores, no deberá ser problemático arrancar la bomba si, por ejemplo, en un estancamiento por fallo en el suministro eléctrico, se restablece el suministro. Se trata de una situación donde la bomba de primario será capaz de vencer el estancamiento y mover la "burbuja" de vapor hasta el intercambiador de calor, donde condensará.

- Si el acumulador solar está unos metros por debajo de los captadores solares, se deberá evaluar si la bomba es o no capaz de vencer el estancamiento. Al arrancar la bomba, el agua empujará el vapor de los captadores hacia el tubo de retomo. La burbuja de vapor hará que se rompa la continuidad de líquido y la bomba deberá subir el agua a los captadores (no sólo vencer las pérdidas). Será frecuente que las bombas pequeñas de 4 a 6 m e.a. no sean capaces de vencer el estancamiento si se encuentran en una planta o más por debajo de los captadores solares.

La situación de estancamiento se detecta con la sonda de temperatura de los captadores solares. Si ésta mide más de 120°C, está claro que la instalación se encuentra en estancamiento. En este caso, si la bomba no es capaz de superar el estancamiento, lo más recomendable será no arrancar la bomba de primario hasta que la temperatura en los captadores baje de 120°C.

Si se instala una válvula automática del tipo "normalmente cerrada" en la aspiración de la bomba según se muestra en el esquema adjunto, el vaciado será más rápido ya que el tubo de retomo permanecerá lleno de líquido hasta la altura del colector superior de los captadores. En este caso el vaciado será más rápido, existirá menos vapor en la instalación y todo el vapor estará en los captadores, vaciándose de líquido rápidamente por el tubo de impulsión. Además, en este esquema puede eliminarse la válvula antirretorno.



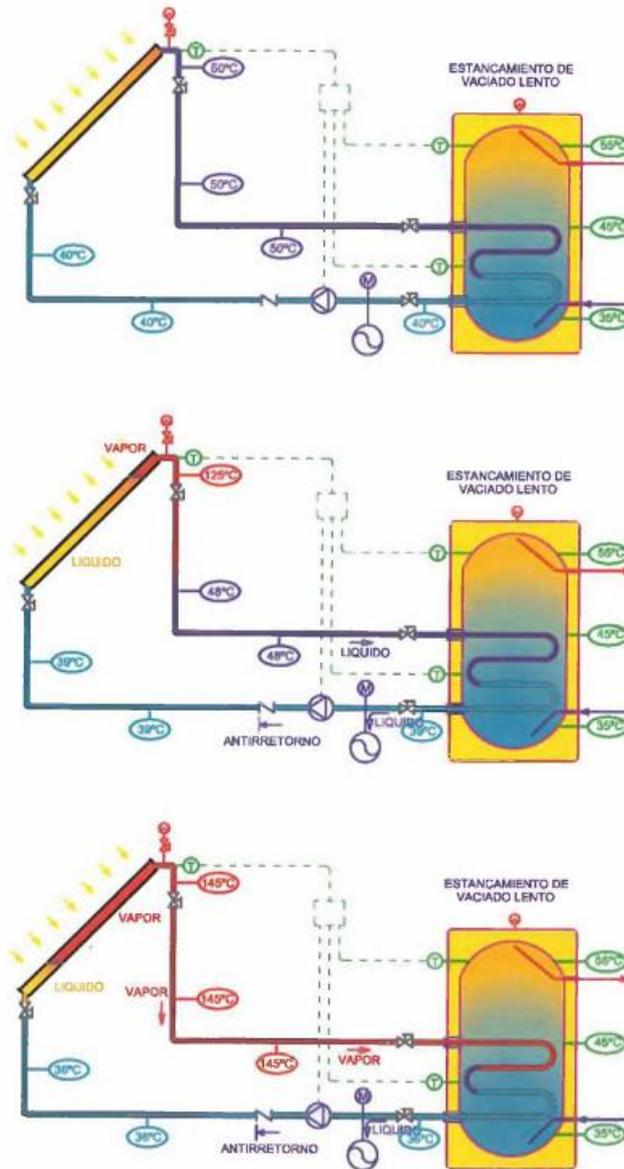
b) Estancamiento de tipo vaciado lento.

Se denomina estancamiento de tipo "vaciado lento" cuando el circuito hidráulico está diseñado de forma que al producirse vapor en los captadores, éste vapor empuja el líquido del tubo de retomo en la dirección habitual del flujo, llenándose de vapor el tubo de retomo.

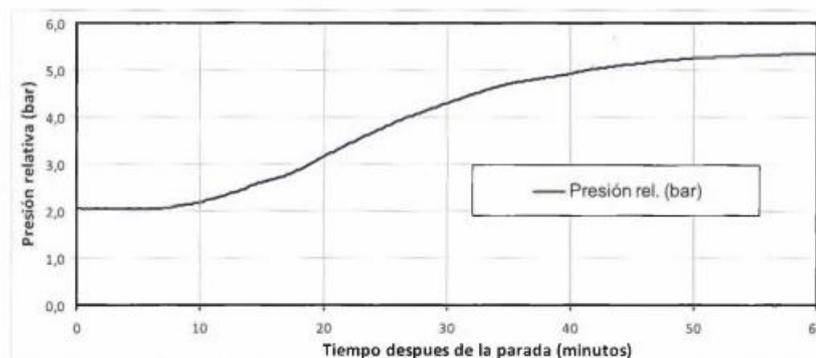
La Figura de la siguiente página muestra el esquema hidráulico del circuito primario. Se trata del diseño habitual de circuitos cerrados donde el vaso de expansión se sitúa en la aspiración de la bomba y la válvula antirretorno en la impulsión. La situación de la válvula antirretorno hace que el vapor producido en los captadores no pueda empujar el líquido por la parte inferior de los captadores sino que por la parte superior, dificultándose en gran medida el vaciado de los mismos.

Si el circuito primario está convenientemente aislado, el vapor puede llegar a llenar todos los tramos de tubería de retomo (captadores - interacumulador). El intercambiador del interacumulador producirá en cualquier caso la condensación del vapor. En el caso de intercambiador de calor externo, es posible que el vapor llegue al intercambiador y continúe hasta el vaso de expansión.

El técnico proyectista de la instalación solar deberá prever la propagación de vapor por la instalación y decidir si es viable el diseño del circuito hidráulico con el vaso de expansión aguas arriba de la válvula antirretorno. Se recomienda el diseño del tipo "vaciado rápido" frente al diseño del tipo "vaciado lento".



Si analizamos la evolución de la presión del circuito primario cuando se produce un estancamiento de "tipo lento", se puede observar en la figura adjunta que el incremento de presión del circuito (y por tanto el volumen de vapor) comienza a los 8 minutos de la parada y continua hasta 50 minutos después de la parada.



Si se compara esta curva con la indicada en la página 31, suponiendo que pertenecen a la misma instalación, donde únicamente se modificó la posición del vaso de expansión, se

observa que el ritmo en la generación de vapor de la instalación cambia completamente en función de la posición del vaso de expansión.

En este tipo de esquemas, el arranque de la bomba con la instalación en estancamiento suele ser muy difícil a no ser que todo el primario se encuentre a una altura similar. Deberá realizarse un análisis para determinar si la bomba de primario es o no capaz de mover el fluido cuando la tubería de retomo está vacía (llena de vapor). Si la bomba e intercambiador de calor están en una planta o más por debajo de los captadores solares, generalmente la bomba no será capaz de superar el estancamiento. En este caso, que se detecta de forma sencilla por estar la temperatura de captadores a más de 120°C, lo mejor será no arrancar la bomba.

c) Estancamiento de tipo con aire

Cuando el estancamiento de la instalación solar se produce con los captadores vacíos (llenos de aire), las características del mismo serán muy diferentes a las comentadas en las secciones anteriores.

En este caso no se producirá vapor y la temperatura que alcanzarán los captadores solares será similar a la temperatura de estancamiento nominal del captador dada por el fabricante y corregida mediante la siguiente expresión:

$$T_{EST} = T_{EXT} + \frac{I}{1000}(T_{EST,N} - 30)$$

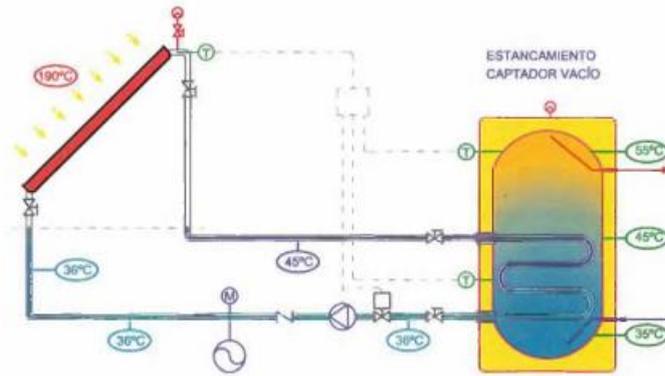
T_{EST} = Temperatura estancamiento.

T_{EXT} = Temperatura exterior.

$T_{EST,N}$ = (Temperatura de estancamiento nominal) definida como la temperatura que alcanza la superficie absorbadora del captador solar cuando está vacío, la radiación incidente es de 1000 W/m² y la temperatura ambiente es de 30°C.

El vaciado del captador puede ser accidental debido a una purga incorrecta o pérdida del fluido de primario. En este caso, no se tendrá ningún problema por la presión máxima que se alcanza ya que no se genera vapor. Los captadores soportan la temperatura de estancamiento sin ningún problema. Sin embargo, se deberá analizar si la exposición continua de los captadores solares a altas temperaturas produce un envejecimiento acelerado de los mismos.

Actualmente existe en el mercado la posibilidad de emplear sistemas denominados "**drain-back**" (visto anteriormente en esta unidad), que trabajan de forma que los captadores solares se quedan vacíos (con aire) cuando la instalación se encuentra parada. Se trata de un sistema que funciona adecuadamente en instalaciones de pocos captadores pero de difícil implementación en instalaciones con más de 10 captadores. Las dificultades se presentan en el llenado de la instalación y la consiguiente purga de aire. En la siguiente figura se representa un esquema de un estancamiento de una IST con vaciado del circuito accidental o provocado por sistema drain-back



3.4. Selección del vaso de expansión.

Hemos visto como influye en el estancamiento la posición relativa del vaso de expansión con respecto a la bomba en los circuitos primarios de la IST. Entonces, llegados a este punto, ¿qué vaso de expansión hay que seleccionar?; ¿qué volumen deberá tener el depósito?; ¿qué presión inicialmente hay que suministrar al vaso y cuál será la máxima que deberá soportar?

Una vez definidas las presiones, se deduce de forma general el **VOLUMEN TOTAL del vaso de expansión cerrado V_T** a partir de su capacidad de absorción o **VOLUMEN ÚTIL de dilatación V_U** y en base al coeficiente de presiones C_p dependiente de varias de las presiones anteriores, pero ABSOLUTAS de esta forma:

$$V_T = V_U \cdot C_p = V_U \cdot P_M / (P_M - P_m) \cdot P_m / P_i = 1,25 \cdot V_U \cdot P_M / (P_M - P_m), \text{ pues se puede tomar } P_m / P_i \approx 1,25$$

Ahora bien, ¿cómo deducir el volumen útil de dilatación V_U en cada circuito?, que será al menos el volumen útil de dilatación que debe absorber el vaso de expansión, por lo que dependerá del volumen total del circuito

- En el **circuito primario** se producen vaporizaciones, especialmente cuando se producen **estancamientos**, como se ha explicado en el apartado anterior, por falta de circulación del fluido a altas temperatura exterior y radiaciones. Para ello, un buen criterio que se indicó anteriormente es tomar V_U como 1,1 veces el volumen de captadores, que suele ser de 1,5 a 2 litros cada uno.
- Y en el **circuito secundario que actúa de inercia**, donde no se forma vapor alcanzando hasta 80°C, el volumen útil es el volumen de expansión del volumen total del circuito hidráulico, V , resultante de multiplicar a éste último por el **coeficiente de expansión o dilatación del fluido, C_e** , cuyo valor para dilatación de 20°C a 80°C es de 0,0262, y hasta los 90°C 0,0362.
- En **circuitos de consumo** que cuenten con depósitos de ACS (hoteles, hospitales, etc), estos cuentan con válvulas de seguridad que pueden saltar por la sobrepresión del agua acumulada al dilatarse sin que se abran los grifos. Es necesario absorber esta sobrepresión. ¿Cómo? Instalando vasos de expansión con V_U correspondiente a la dilatación de un 50% del volumen de acumulación de ACS en grandes acumulaciones

(hoteles, vestuarios, hospitales, etc), y de menor porcentaje en menores acumulaciones de consumo y teniendo en cuenta que tendrás que multiplicarlo por el coeficiente de dilatación de 20°C a 60°C: 0,0151.

4. Regulación y Control

Todas las instalaciones térmicas en general necesitan de un buen sistema de control para optimizar sus rendimientos por simples que sean. Las IST no son tan sencillas como pueda parecer en principio, debido a las diferentes condiciones a las que se encuentran sus componentes a lo largo del año. Para conseguir el máximo aporte de la energía solar incidente a la instalación (**rendimiento**), durante el mayor número de años posible (**durabilidad**) y con seguridad en su funcionamiento (**fiabilidad**) es imprescindible disponer de un buen sistema de regulación y control y deberá atender al:

- ✓ Control de **funcionamiento habitual** del circuito primario y, en su caso, del secundario y terciario.
- ✓ Sistema de **protección y seguridad** de las instalaciones contra sobrecalentamientos, estancamientos, heladas (visto en apartados anteriores) y legionella.
- ✓ Control de la **producción energética** de la IST.

¿Cuáles son los actuadores o componentes que mueven los caudales, y que deberán ser controlados? Pues, lógicamente las **bombas**, para el movimiento o parada del caudal y las **válvulas de 3 vías**, para la regulación o desviación del caudal por un recorrido u otro.

El **DB HE-4**, establece, que en sistemas forzados, el sistema de control se realizará por **control diferencial de temperaturas**, mediante un dispositivo electrónico (módulo de control diferencial), que compare la temperatura en dos lugares de referencia, que pueden ser los siguientes:

- En **acumulación centralizada**: temperatura de salida de captadores con la del acumulador o la vía de retorno. Si se opta por el acumulador, la sonda se colocará en la parte inferior, en una zona no influenciada por la circulación del circuito secundario o por el calentamiento del intercambiador, según el caso.
- En **acumulación distribuida**: una sonda de temperatura en la salida de los captadores y otra en la entrada.
- En instalaciones con varias aplicaciones: (ACS, calefacción, piscina,...) el sistema de regulación constará de un sistema individual para la puesta en marcha de cada aplicación, en su circuito de consumo, junto con otro que regula la aportación de energía a una u otra aplicación, mediante control diferencial de temperaturas anterior o por control de caudales de demanda combinado con sondas de temperatura.

Finalmente, con el objeto conocer la energía solar térmica acumulada a lo largo del tiempo, cabe destacar, que, tal y como indica el CTE, además de los aparatos de medida de presión y temperatura que permitan la correcta operación, para IST mayores de 20 m² se deberá disponer al menos de un sistema analógico de medida local y registro de datos que indique como mínimo las siguientes variables:

- 1) temperatura de entrada agua fría de red;
- 2) temperatura de salida acumulador solar;
- 3) caudal de agua fría de red

El disponer de estos datos se realiza con el objetivo de conocer en todo momento la energía solar térmica acumulada a lo largo del tiempo.

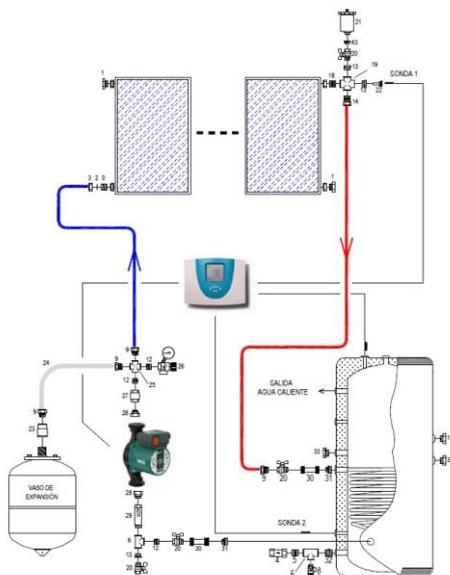
En la imagen, pulsando sobre ella, podrás distinguir nítidamente el sensor de temperatura, purgador manual, presostato o válvula limitadora de presión junto con el purgador, termómetro analógico y medidor de la radiación solar a la derecha. Debajo se observa una pequeña central de registro de dichos datos.



4.1. Control diferencial.

La medida de las temperaturas se realiza, preferentemente, con **sondas de inmersión**, evitando el uso de sondas de contacto. Para asegurar un buen contacto térmico con la parte que debe medirse, se introducirán en una vaina **dentro de la tubería y en contra corriente** con el fluido, además de estar aislados contra la influencia de las condiciones ambientales que le rodean.

Para llevar a cabo el control diferencial en el primario, los **puntos de referencia donde se colocan las sondas** para medir son **la salida de los captadores respecto de la salida del depósito acumulador** o de la zona intermedia del intercambiador en la parte inferior de un interacumulador. Hay ocasiones que se realiza con sondas a la entrada y salida de la captación. En intercambiadores exteriores también pueden colocarse a la entrada y salida de los dos circuitos. Para medir la acumulación térmica y regular el exceso de aporte cuando se alcanza la temperatura de consigna de uso se coloca también sondas en la parte superior del acumulador solar. Otras sondas también se sitúan en los conductos de distribución y en los de consumo.



El sistema de control diferencial de temperaturas “actuará y estará ajustado de manera que las bombas no estén en marcha cuando la diferencia de temperaturas sea menor de 2°C y no estén paradas cuando la diferencia sea mayor de 7 °C. La diferencia de temperaturas entre los puntos de arranque y de parada de termostato diferencial no será menor de 2°C”. De esta forma el funcionamiento de la parte solar de una instalación se optimiza. En caso de que exista intercambiador exterior, se instalarán dos controles diferenciales, uno para cada circuito del intercambiador.

Además deberá controlarse la temperatura máxima de acumulación de los depósitos (generalmente 60°C para ACS), para evitar sobretemperaturas en el circuito de consumo.

La **centralita** (autómata o dispositivo electrónico que controla la instalación), para llevar a cabo la regulación necesaria, actuará sobre uno o varios de los elementos reguladores, como son: válvulas de reparto, de tres vías, todo o nada, bombas de circulación para conseguir la distribución de caudales y el aporte solar adecuados.

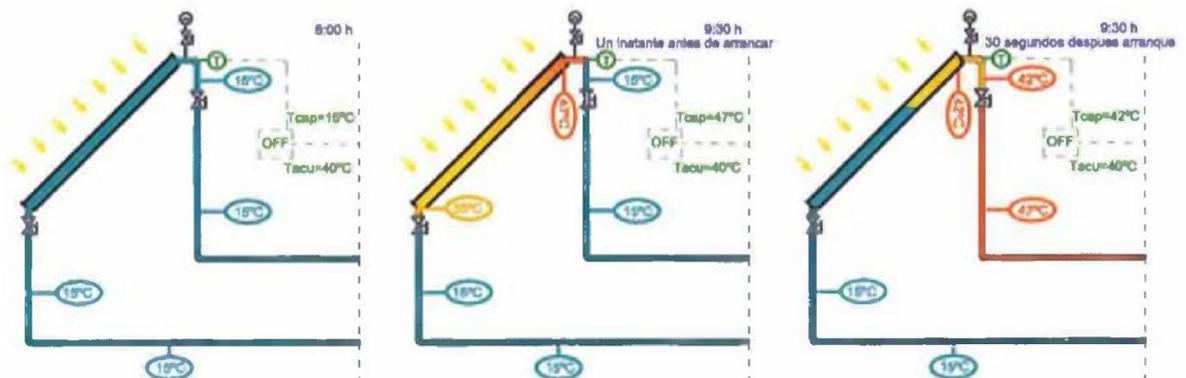
Asimismo, el sistema de control asegurará que **en ningún caso se alcancen temperaturas superiores a las máximas** soportadas por los componentes y que en ningún punto la temperatura del **fluido de trabajo descienda por debajo de una temperatura tres grados superior a la de congelación** del fluido del primario.

4.2. Análisis arranque circuito primario.

Aparentemente el control puede parecer relativamente fácil, pero en la realidad es algo más complejo. Surgen problemas en el control del funcionamiento, como ocurre durante el arranque del circuito primario. Veamos.

Como se ha indicado en el apartado anterior las instalaciones solares térmicas arrancan cuando la temperatura en los captadores es 7°C superior a la temperatura en el acumulador solar (criterio especificado en el apartado de Control del HE4). Es muy importante instalar de forma correcta las sondas de control para que midan adecuadamente las temperaturas del fluido en estos dos puntos y que de esta forma el sistema de control funcione adecuadamente. Se recomienda el empleo de sondas sumergidas y en el caso de emplear sondas de superficie, se prestará especial atención a su instalación. Como se verá más adelante, la parte superior de los captadores alcanzará en algunas ocasiones temperaturas entre 140 y 220°C, aspecto a considerar en la instalación de la sonda de temperatura de los captadores.

En la siguiente Figura se muestra el arranque de una instalación solar. En este ejemplo se supone que la sonda de control del acumulador solar indica 40°C. A las 8:00 h (antes del amanecer), el agua del captador está a una temperatura similar a la temperatura ambiente a esa hora.



Cuando sale el sol, la radiación solar va calentando poco a poco el fluido contenido en los captadores. El fluido más caliente va ascendiendo a la parte superior de los captadores. En un momento dado, la temperatura en la parte superior de los captadores llega a 47°C (7°C superior al acumulador) y arranca la bomba. Debe tenerse en cuenta que el agua en la parte

central e inferior de los captadores está más fría y la temperatura bajará por debajo de 42°C en unos segundos produciéndose la parada de la bomba (Figura izquierda).

En el análisis del arranque de la instalación solar debe tenerse en cuenta que cuando el caudal de la instalación solar es nulo, el rendimiento de la instalación solar no será cero: si fuera cero el captador no se calentaría y la instalación no arrancarían nunca.

Los captadores se calientan porque, cuando no circula fluido, hay una parte de la energía solar incidente con la que se incrementa la temperatura del captador solar.

Es decir, hay una parte de la energía incidente que produce el calentamiento del captador y por tanto el aumento de la temperatura del fluido térmico situado en el captador solar.

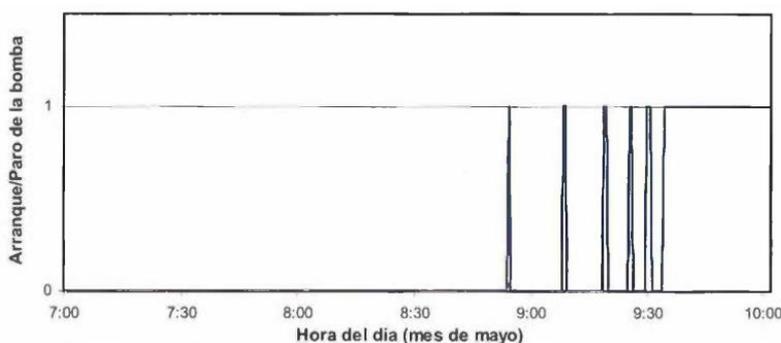
En la figura adjunta se representa la evolución de la temperatura en la parte superior del captador antes y durante el arranque de la IST $T_{CAP} = f(\text{Tiempo})$



Para entender el comportamiento del fluido primario en el captador solar cuando la bomba está parada, debe tenerse en cuenta que al calentarse el fluido, disminuye su densidad y el fluido más caliente se acumula en la parte superior del captador solar, concretamente en el tubo colector superior: es aquí donde se debe situar la sonda de control que mide la temperatura del captador solar.

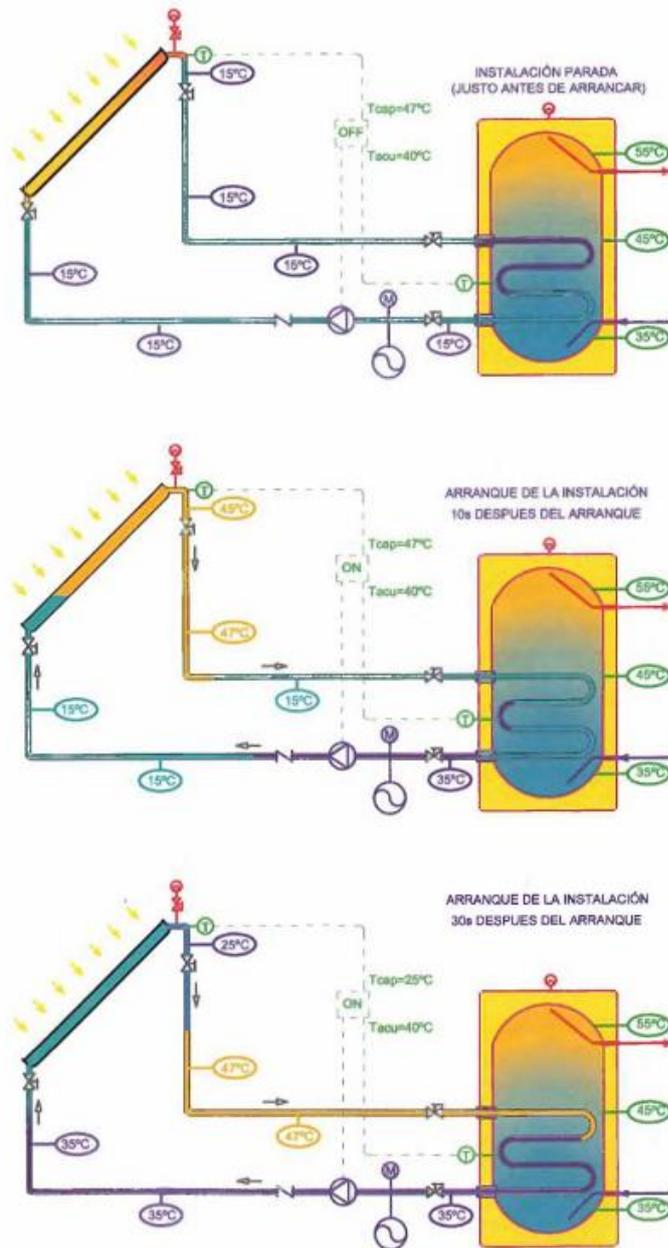
El análisis del arranque del circuito primario es más complejo. El sol calienta el fluido que se encuentra en los captadores, pero no el fluido que se encuentra en las tuberías. Cuando se produce el arranque de la instalación, el fluido frío de la tubería de impulsión entra a los captadores enfriándolos y produciendo generalmente la parada de la bomba ($T_{CAP} - T_{ACUM} = 2^\circ\text{C}$). De la misma forma, el fluido frío del tubo de retomo entra en el acumulador solar enfriándolo ligeramente.

En la siguiente Figura adjunta, se muestra el primer arranque de una instalación solar.



Es habitual que las instalaciones solares produzcan 4 - 5 arranques y paradas cuando arrancan por la mañana. Se recomienda temporizar la parada de la bomba, de forma que la parada se produzca cuando $(T_{CAP}-T_{ACUM} = 2^{\circ}C) +$ tiempo de residencia del circuito primario.

En los esquemas adjuntos se representa la evolución de la temperatura en la parte superior del captador antes y durante el arranque de la IST $T_{CAP} = f(Tiempo)$



Las instalaciones solares con **acumulación distribuida** presentan el problema de no disponer del dato de la temperatura en el acumulador solar. Como se verá más adelante que ocurre en algunos bloques de viviendas multifamiliares, la regulación del primario no se hace sobre el acumulador solar, puesto que es individual para cada vivienda e incluso puede ser que estos no sean utilizados en la configuración elegida (si se opta por intercambiadores de placas para aporte instantáneo de energía solar al ACS de cada vivienda).

La técnica para realizar el arranque de la instalación puede ser variada:

- Disponer de un piranómetro y realizar el arranque de la bomba cuando la radiación en el plano del captador sea superior a 300 - 400 W/m².

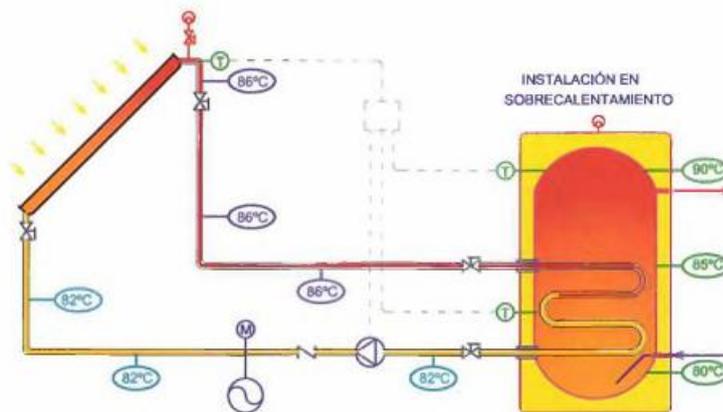
- Realizar el arranque cuando la temperatura en los captadores sea de 60°C. Cuando se alcanza esta temperatura en los captadores es una indicación de que la radiación es relativamente alta. Esta estrategia de control puede que no funcione excesivamente bien cuando la temperatura de los acumuladores sea superior a 60°C, pero no es problema porque la instalación estaría trabajando con una contribución solar del 100%.

- No se debe realizar el arranque de la instalación por tiempo. Esta técnica puede producir demasiados arranques los días nublados aumentando las pérdidas en el acumulador solar por calentar el circuito primario sin existencia de radiación. Si el tiempo entre arranques es demasiado alto, es posible que se alcancen 120°C y se produzca vapor, dificultando el arranque.

4.3. Sobrecalentamiento de las IST.

Todas las instalaciones solares pueden tener de forma temporal demandas muy por debajo de la nominal, teniendo riesgo de sobrecalentamiento. En una instalación con una relación volumen de acumulación entre área de captación baja ($V_{ACU}/A_{CAP} \sim 50$) si en 2 días seguidos no se consume agua caliente, el acumulador solar puede alcanzar los 80-90°C. Al diseñar una instalación, debemos conocer la temperatura y presión máxima que pueden alcanzar todos sus componentes. El límite de temperatura de la instalación solar suele venir dado por la temperatura nominal del acumulador solar. Los fabricantes de acumuladores solares proporcionan el dato de la temperatura nominal de los acumuladores que suministran.

Se recomienda emplear acumuladores solares con temperaturas nominales superiores a 80°C. En la actualidad muchos fabricantes proporcionan acumuladores solares con temperaturas máximas de 80 - 90°C (incluso 100°C). En la siguiente figura se muestra el funcionamiento de una instalación solar en el límite del sobrecalentamiento.



Las instalaciones solares deberán tener un sistema de seguridad frente a altas temperaturas. El sistema deberá actuar generalmente cuando se alcance la temperatura máxima en el acumulador solar. El CTE, DB HE-4, indica que en caso de que **en algún mes del año la contribución solar real de la instalación sobrepase el 110 % de la demanda energética o en más de tres meses seguidos el 100 %** (salvo periodos con demanda inferior

al 50% de la media del resto de año) habrá que **APLICAR SISTEMAS DE PROTECCIÓN CONTRA EL SOBRECALENTAMIENTO.**

En esos casos indica que se adoptarán cualquiera de las siguientes **MEDIDAS:**



a) Dotar a la instalación de la posibilidad de **disipar dichos excedentes** (a través de equipos específicos o mediante la circulación nocturna del circuito primario);

b) **Tapado parcial del campo** de captadores, con mantas

c) **Vaciado parcial del campo** de captadores. El fluido del circuito primario debe ser repuesto por un fluido de características similares para lo que debe contarse con un sistema de suministro

y otro de extracción (bombas y conductos).

d) **Desvío de los excedentes** energéticos a otras aplicaciones existentes.

4.4. Circuito de Recirculación.

En instalaciones con largos circuitos de distribución, situación muy habitual en instalaciones centralizadas y en grandes viviendas unifamiliares, se instala un circuito de recirculación o retorno para disponer de agua caliente de forma inmediata en el punto de consumo más alejado del sistema de preparación y evitar tirar demasiada agua.

El Documento Básico de Salubridad del CTE, concretamente su sección DB HS-4 de “Suministro de agua” establece en el apartado 3.2.2.1: “Tanto en instalaciones individuales como en instalaciones de producción centralizada, la red de distribución debe estar dotada de una red de retorno **cuando la longitud de la tubería de ida al punto de consumo más alejado sea igual o mayor que 15 m**”.

4.5. Tratamiento térmico para prevención de la Legionelosis.

Las instalaciones de producción de ACS son consideradas instalaciones de riesgo de proliferación de la legionella. La aplicación del RD 865 de 2003 lleva en la práctica a diseñar la instalación de ACS con apoyo solar de forma que:

- La temperatura del acumulador de apoyo sea $> 60^{\circ}\text{C}$
- La temperatura de distribución de ACS sea $> 50^{\circ}\text{C}$
- La instalación térmica sea capaz de alcanzar los 70°C para la desinfección térmica de la instalación de ACS

Las instalaciones de agua caliente sanitaria se limpiarán y desinfectarán como mínimo, una vez al año, cuando se pongan en marcha la instalación por primera vez, tras una parada superior a un mes, tras una reparación o modificación estructural, cuando una revisión general así lo aconseje y cuando así lo determine la autoridad sanitaria.

El procedimiento a seguir será el siguiente:

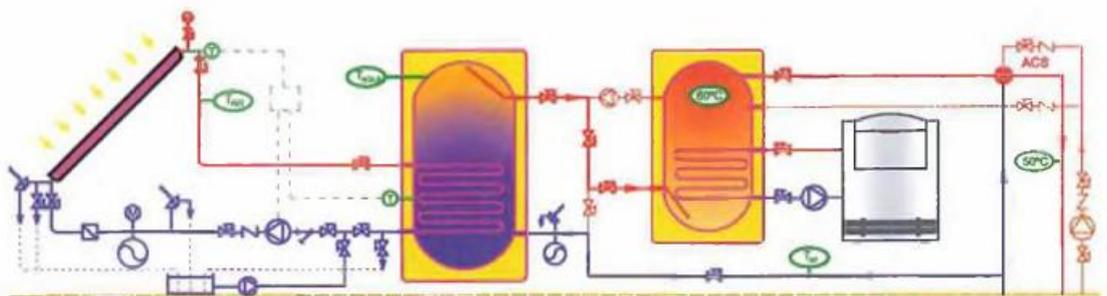
1º Vaciar el sistema y, si fuera necesario, limpiar a fondo las paredes de los depósitos acumuladores, realizar las reparaciones necesarias y aclarar con agua limpia.

2º Llenar el depósito acumulador y elevar la temperatura del agua hasta 70°C y mantener al menos 2 horas. Posteriormente abrir por sectores todos los grifos y duchas,

durante 5 minutos, de forma secuencial. Confirmar la temperatura para que en todos los puntos terminales de la red se alcance una temperatura de 60°C.

3º Vaciar el depósito acumulador y volver a llenarlo para su funcionamiento habitual.

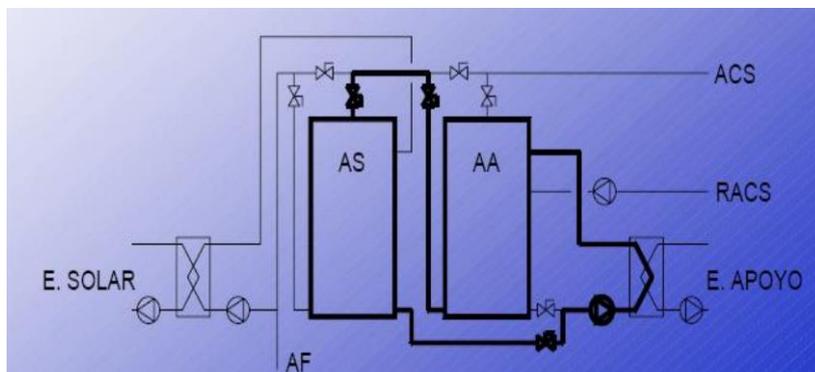
El esquema adjunto muestra el esquema de una instalación de producción de ACS con apoyo de energía solar en régimen de funcionamiento. Se observa que el sistema de control de la caldera de apoyo funciona para mantener una temperatura de 60°C en el acumulador de apoyo. Por otro lado, la válvula de 4 vías situada a la salida del acumulador de apoyo regula la temperatura de recirculación a 52°C, independientemente de la temperatura del acumulador. De esta forma se asegura que en el punto de consumo más alejado la temperatura no sea inferior a 50°C.

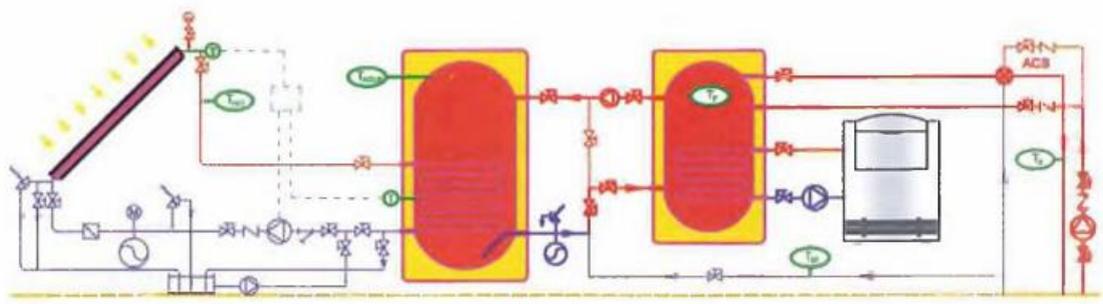


Se observa que la temperatura del agua en el acumulador solar puede estar durante mucho tiempo en el rango de temperaturas de riesgo: 20 a 45°C. La instalación se considera segura ya que la temperatura del agua sube a 60°C en el acumulador de apoyo y a esta temperatura la bacteria muere en unas horas.

El RD 865 de prevención y control de la legionelosis obliga a la realización de un tratamiento de desinfección al menos una vez al año. La Figura muestra el funcionamiento de la instalación de producción de ACS cuando se somete al choque térmico a 70°C.

Se observa que el tratamiento de choque a 70°C se realiza sobre todo el circuito en contacto con el ACS: acumulador solar, acumulador de apoyo y tuberías de suministro de ACS y de recirculación.





El ámbito de aplicación del RD 865 indica que quedan excluidas del ámbito de aplicación las instalaciones ubicadas en edificios dedicados al uso exclusivo en vivienda, excepto aquellas que afecten al ambiente exterior de estos edificios.

Se interpreta que no es de aplicación el Real Decreto de prevención y control de la legionelosis en el interior de las viviendas pero sí es de aplicación en la parte común de las instalaciones centralizadas.

5. Configuraciones de IST. Esquemas de principio.

Es cierto que se pueden dar casos en los que para propuestas similares tanto en las aplicaciones como en la demanda necesaria de energía, el diseño de distribución de los elementos de la instalación y sus esquemas de funcionamiento no sirven de unos edificios a otros.

Nos enfrentamos entonces a lo que se conoce como **selección del esquema de principio**, entendiéndolo por éste, el esquema de funcionamiento de la IST en el que figura la distribución y conexión de los diferentes componentes de la instalación vistos



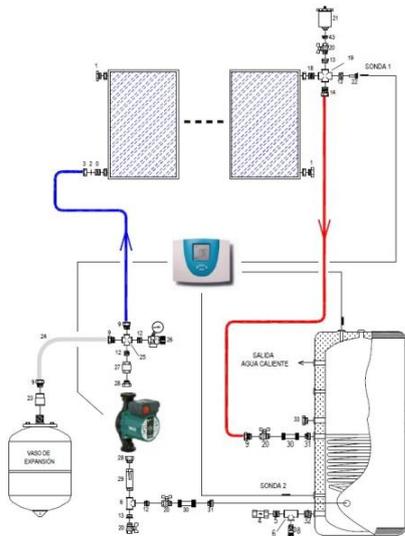
anteriormente. Su elección es vital como un aspecto más para conseguir un aprovechamiento integral de la totalidad de la instalación y la viabilidad real de la misma en cuanto a aspectos como disponibilidad de espacio, ahorros de costes de material e inversión, regulación, etc.

La variedad de esquemas es muy amplia, dadas las posibilidades de selección de los tipos de cada subsistema y de sus elementos necesarios según el caso, de la forma de conectarlos (por ejemplo, el tipo y la forma de conexión del sistema de apoyo de energía), de la forma de distribuirlos, ..., tal y como vas a poder comprobar a continuación, donde se muestran los principales **esquemas de principio para producción de ACS en grandes edificios, para producción de ACS y calefacción en vivienda unifamiliar y para piscina cubierta y al aire libre**, con o sin las aplicaciones anteriores.

5.1. ACS en viviendas unifamiliares.

En viviendas unifamiliares los esquemas son sencillos en cuanto a la ubicación, distribución y conexión de los componentes y control de funcionamiento.

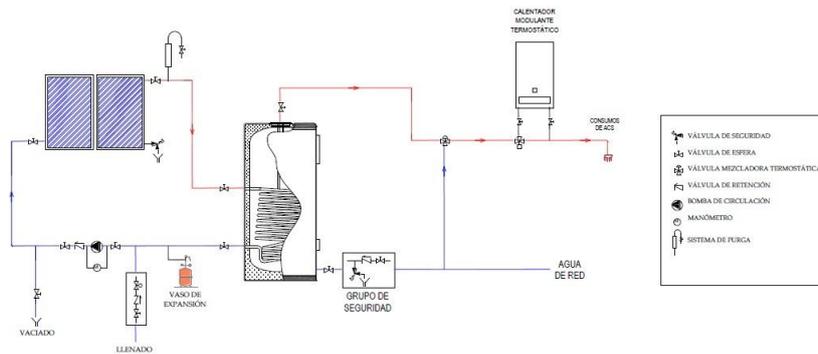
En **sistemas por termosifón**, el control se realiza de forma natural en el circuito primario. Su desventaja es la falta de control sobre la temperatura de sobrecalentamiento en el



captador, por lo que deben tomarse medidas en periodos de fuertes radiaciones, como el tapado de parte de la superficie captadora. El esquema resulta muy barato y sencillo.

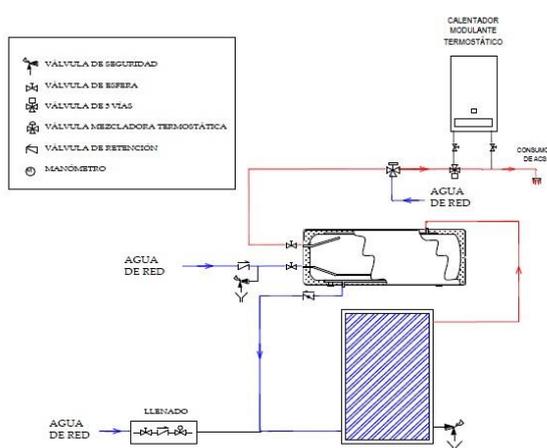


En **sistemas forzados**, cabe la posibilidad de contar con interacumuladores (serpentín o doble envolvente), como ocurre en la gran mayoría de los casos, o con intercambiadores exteriores, aunque estos se reservan más en grandes instalaciones individuales, como hospitales, hoteles, etc. en los que la demanda se sitúa por encima mínimo de los 1.000 litros de acumulación.



Un ejemplo de esquema con interacumulador para vivienda unifamiliar que ya fue representado anteriormente, lo puedes ver de nuevo en la imagen adjunta.

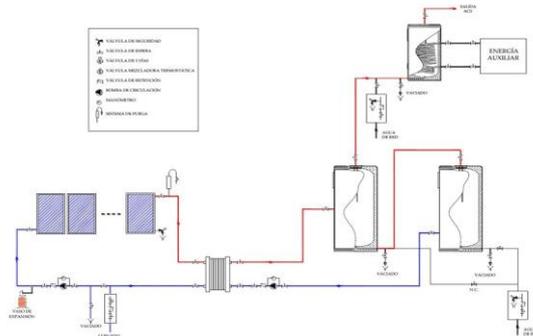
En ella, debes distinguir la regulación diferencial por sondas de las temperaturas a la salida de los captadores y en la parte inferior, más fría, del acumulador. De esta forma, se pondrá en marcha la bomba del primario cuando el control diferencial de ambos puntos sea el óptimo según sea el aporte solar y la demanda del acumulador en un instante dado. El esquema completo de la IST se representa en la siguiente imagen.



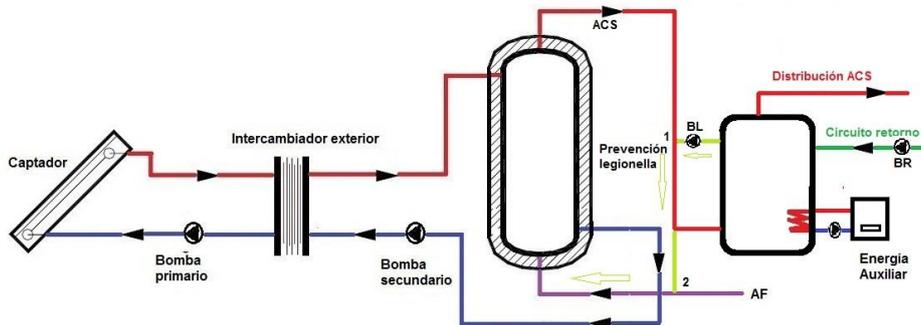
Recuerda, que la instalación debe contar con una red de recirculación entre la red de distribución de ACS y el sistema auxiliar de apoyo cuando el punto de consumo más lejano esté a más de 15 m de este sistema de apoyo

5.2. ACS en grandes instalaciones individuales..

¿Qué se entiende por grandes instalaciones individuales? Pues las pertenecientes a hospitales, residencias, hoteles, grandes instalaciones deportivas, etc. Y ¿cómo será el esquema en estos casos? Pues, mucho no va a diferir del anterior, salvo que casi siempre va contar con intercambiadores de calor externos y probablemente con más de un acumulador de la energía solar. Así se puede comprobar en la imagen de un esquema con dos acumuladores en serie.



Todas las instalaciones, deben diseñarse de forma que cumplan el RD 865 de prevención de la legionella, por lo que contarán con una conexión y conjunto de válvulas necesarias, que una el sistema de producción de energía convencional de apoyo con la parte inferior de los acumuladores solares para posibilitar que cuando se realicen las labores de prevención se asegure que el depósito solar alcance los 70-80°C gracias al aporte convencional. Así puedes analizar cómo se conecta a través del siguiente esquema (no están representadas las válvulas necesarias).



AUTOEVALUACIÓN:

Señala la opciones correcta. En el esquema de la imagen adjunta de una gran IST individual para ACS, por ejemplo en un hotel de considerable tamaño, para poder realizar las tareas de prevención de la legionella:

- El conducto de color verde claro posibilita la entrada de agua caliente a alta temperatura del depósito auxiliar a los acumuladores solares a través de los puntos 1 y 2.
- Se conecta el circuito de retorno de la distribución de ACS (verde más oscuro) a la parte alta del depósito auxiliar.
- Colocar los acumuladores solares en serie, logrando disminuir las posibles zonas de temperatura más fría apta para la proliferación de la legionelosis.

La instalación no está obligada pues el RD 865/2003 contempla a este tipo de instalaciones como excluidas de su ámbito de aplicación.

5.3. Instalaciones centralizadas para más de un usuario.

En este apartado analizaremos diferentes posibilidades a la hora de configurar instalaciones centralizadas que dan servicio a más de un usuario, por ejemplo bloques de viviendas.

La **centralización o descentralización** indica si es común o compartida por toda la instalación o si es repartida por cada una de las viviendas. Esta característica es relativa a cada subsistema de la IST: al de captación, al de acumulación de la energía solar, al de producción o consumo de ACS y al de apoyo auxiliar. El circuito de captación, es en todos los casos centralizado o común para toda la instalación, salvo en el caso de todo individual.

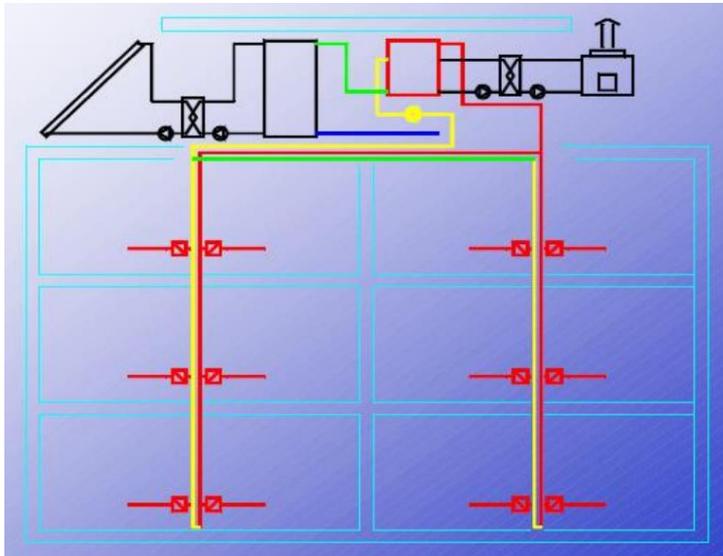
En el caso de contar con acumulación solar tanto centralizada (depósito acumulador de la energía solar común para toda la instalación) como distribuida (un depósito en cada vivienda) el intercambio de calor del lado del primario al del secundario del intercambiador se puede realizar por medio de intercambiador exterior o por un interacumulador solar.

Veamos diferentes configuraciones, por ejemplo comencemos con una instalación

5.3.1. Totalmente Centralizada.

Es decir:

- ✓ con **acumulación centralizada**, pues ésta se realiza de forma común para todas las viviendas, y
- ✓ **apoyo centralizado**, en el que el sistema de energía auxiliar también es común.



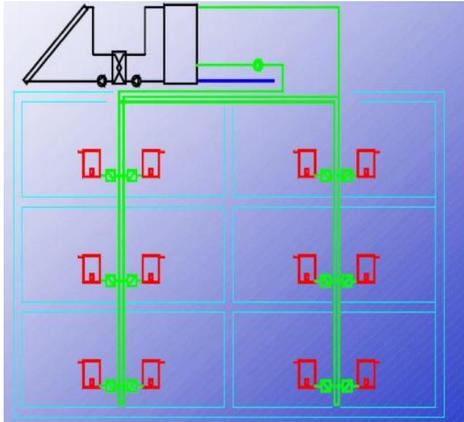
INCONVENIENTES

- Es necesario instalar **contadores individuales de ACS en cada vivienda**, para repartir el gasto de agua y energía.
- **Limitación de caudal** de consumo en los instantes de mayor demanda del bloque.
- Necesidad de **espacios comunes**, para los subsistemas de captación, acumulación y apoyo.

VENTAJAS

- **Escasa ocupación de espacios en el interior de cada vivienda.**
- **Disponibilidad inmediata de ACS**, gracias al obligatorio circuito de recirculación de ACS (que tampoco aparece representado en la imagen de arriba y sí en la de más abajo), pues habrá viviendas a más de 15 m de la producción del agua caliente (sistema de apoyo).
- **Bajo coste.**

5.3.2 Acumulación centralizada y apoyo descentralizado.



INCONVENIENTES

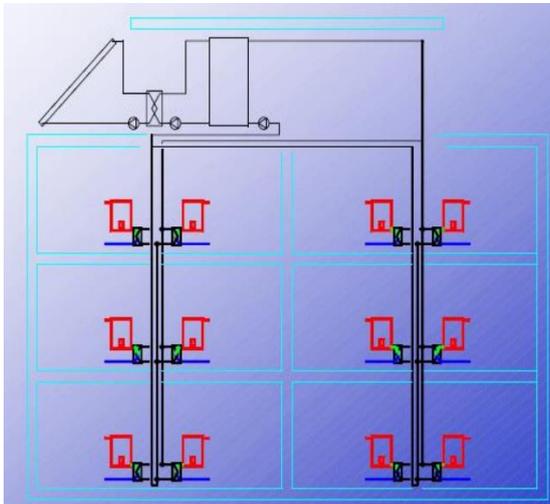
- Continúa existiendo el problema del **consumo comunitario de ACS** y su facturación, por lo que habrá que contar con **contadores individuales de ACS en cada vivienda**.
- **Riesgo de legionella**, pues el acumulador solar estará durante muchos periodos en el rango de proliferación del virus de entre 20 y 45°C, y en este caso no existe la posibilidad de proporcionarle con el sistema de apoyo altas temperaturas.
- Necesidad de **espacios comunes**, para los subsistemas de captación y acumulación.

VENTAJAS

- Ahora **cada vecino realiza su propio gasto de energía convencional**.
- Sistema relativamente **de bajo coste**.

5.3.3. Producción de ACS descentralizada con intercambiadores distribuidos.

En estos esquemas, para comunicar la energía a los intercambiadores es preciso contar con un depósito **acumulador solar centralizado que alimenta un circuito de inercia o de distribución del agua solar que aportará la energía térmica al lado primario de un intercambiador situado a la entrada de cada vivienda**. La alimentación a cada intercambiador en concreto se realizará cuando exista consumo de ACS en el lado secundario. Además, lógicamente contará con su retorno a la parte media alta del acumulador solar.



Esta primera tipología de entre los de producción de ACS descentralizada es el que cuenta con intercambiadores de calor de placas en cada vivienda, eliminando así el problema del consumo de ACS comunitaria. La importancia en el diseño recae en el dimensionado correcto de los intercambiadores, con un caudal adecuado de circulación en su lado secundario, el del consumo de ACS.

Por último, cabe recordar, que, al igual que en los esquemas de acumulación centralizada, el acumulador solar puede ser del tipo interacumulador, pero para grandes volúmenes tendrá que ser un intercambiador exterior entre los circuitos primarios y secundarios el que realice el intercambio energético. Asimismo, el sistema de apoyo se suele realizar en línea, mediante caldera modulante, caldera mixta, acumulación con efecto Joule u otro sistema, variantes que se representan en el esquema ampliable anterior.

INCONVENIENTES

- Necesidad de **espacios comunes**, para los subsistemas de captación y acumulación.
- Cuenta con un **coste inicial algo mayor**.
- En **lugares con aguas duras no es viable sin tratarla**, pues el agua de la red provocará el bloqueo del lado secundario del intercambiador por las incrustaciones que se producen.

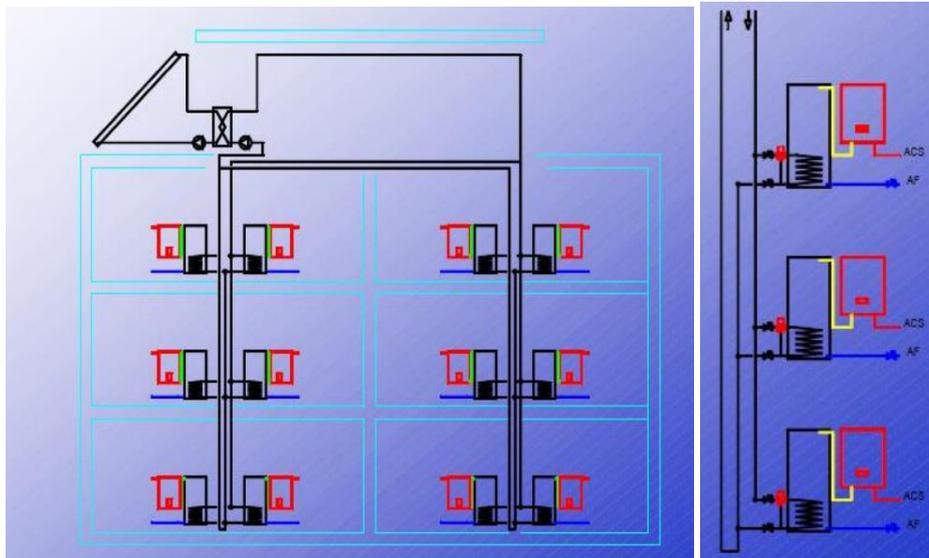
VENTAJAS

- Tanto en este esquema como en los siguientes, **desaparecen los problemas de la legionella y la facturación del agua consumida es individual**.
- **Ocupa poco espacio en las viviendas**.

5.3.4. Acumulación y producción distribuida.

La acumulación ya no es centralizada, como en todos los anteriores; se realiza repartida individualmente en cada vivienda. Para ello el acumulador centralizado es sustituido por un intercambiador de placas. Es una configuración muy utilizada.

Comparando con el esquema anterior, además, el intercambiador de placas de **cada vivienda** se sustituye por un **pequeño interacumulador** en cuyo intercambiador interno se produce el ACS calentada por energía solar y con el que se realiza la acumulación distribuida.



INCONVENIENTES

- Necesidad de **espacios en las viviendas para los interacumuladores**.
- **Pérdidas energéticas en los interacumuladores** importantes, llegando a ser un 10% de la demanda.

- **Control difícil.** Recomendación: arrancar cuando la temperatura en captadores es de 50°C y parar cuando la diferencia entre las sondas de los captadores (entrada-salida) es de 2°C.

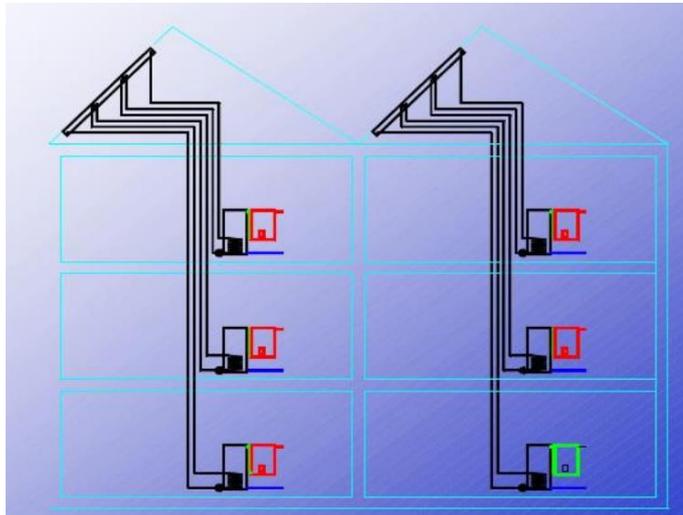
VENTAJAS

- **No hay problemas de bloqueo por la cal** en los intercambiadores de placas anteriores.
- **Desaparece el problema de uso de espacios comunitarios.**
- **El caudal de recirculación es también ahora menor**, ya que el aporte de calor al interacumulador individual es independiente del consumo y que la potencia de los intercambiadores es mucho menor, comparados con los de placas instantáneos.

5.3.5. Totalmente individuales

Podríamos pensar que por qué no se hace todo individual o independiente y que cada vivienda tenga su propia IST independiente una de otra: desde el sistema de captación hasta la producción de apoyo; no se comparte nada (quizás alguna alimentación eléctrica del sistema de control).

Pues se puede diseñar este tipo de configuraciones. Aunque no siempre se puede optar por ellas: **a partir de bloques de 6 u 8 viviendas hay que optar forzosamente por alguno de los esquemas anteriores.**

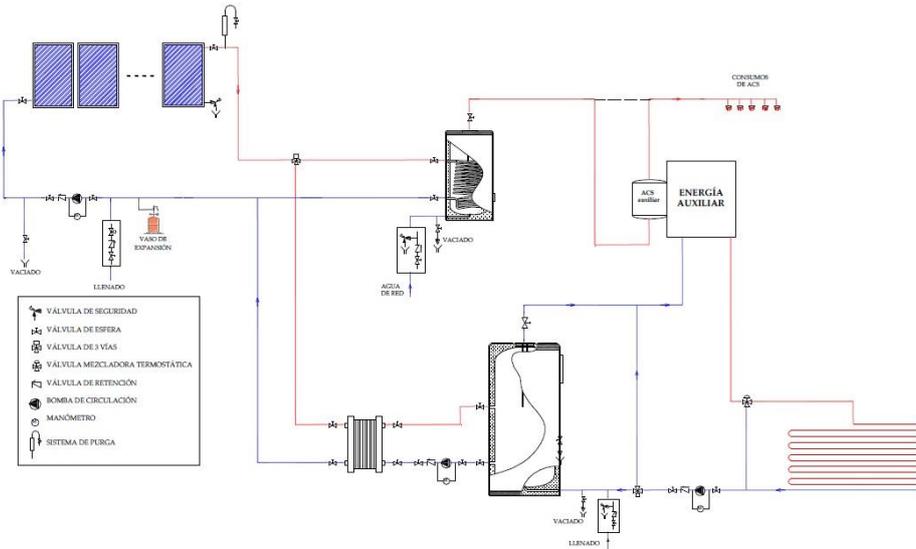


5.4. IST para ACS y calefacción.

Hemos visto en unidades anteriores propuestas de producción mixta de ACS y calefacción con contribución de energía solar térmica. En los casos planteados se tratan viviendas unifamiliares, o de un pequeño edificio con pocas viviendas. ¿Qué ocurre en edificios multifamiliares con un moderado o alto número de viviendas? Pues que el aporte energético por calefacción no es demasiado rentable el hacerlo con contribución solar.

Se aplica, pues, estos esquemas a viviendas unifamiliares, en las que cada vez es más habitual realizar una IST para apoyar la demanda de calefacción de mayor dimensionado que la de ACS.

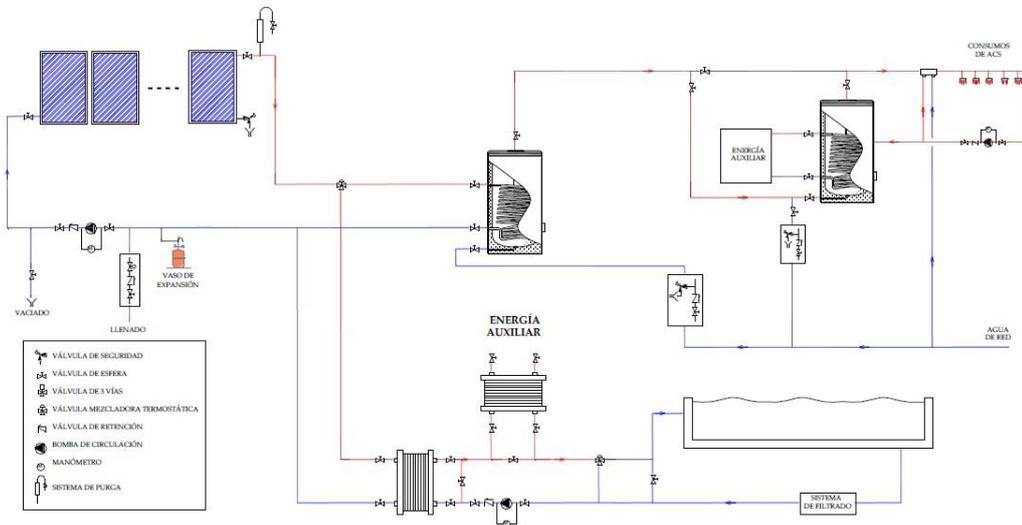
Se puede separar desde el sistema de captación los circuitos primarios para ACS y para el de calefacción, en cuyo caso sólo compartirían el apoyo auxiliar de una caldera. Pero habitualmente **se diseña un único campo de captadores común, para ambas aplicaciones, y con una válvula de 3 vías se reparte la energía solar que transporta el fluido caloportador en el primario hacia un interacumulador de ACS y hacia otro de calefacción.** En el esquema siguiente se puede observar.



5.5. IST para piscina cubierta.

Recordemos la obligatoriedad del CTE de contar con una contribución solar mínima al calentamiento de piscinas cubiertas. Además, el porcentaje mínimo de contribución dependía de la zona climática, al igual que con la producción de ACS. Pues esto, la aportación conjunta a la producción de ACS y al vaso de la piscina cubierta, es lo que generalmente nos encontraremos en la realidad en los casos de piscinas cubiertas.

Normalmente **las piscinas climatizadas llevarán asociadas la instalación de ACS** de al menos los vestuarios de la propia instalación. Aunque también se pueden comunicar los circuitos primarios de cada aplicación mediante válvulas, lo habitual y recomendable es diseñarlos por separado a la hora del cálculo de la superficie captadora y volumen de acumulación de ACS.



Para el aporte solar se parte de un **predimensionado**, que por la experiencia práctica, se puede establecer en una **superficie de captación solar mitad de la superficie de la piscina**.

Así, en caso de contar con acumulador de apoyo para producir el **ACS**, la aportación que recibe de la energía convencional se llevaría a cabo por un intercambiador de placas conectado a una caldera mediante un circuito de agua calentada por ella. Es decir, por medio de intercambiadores, la energía producida por una caldera se iría repartiendo a las diferentes aplicaciones por medio de intercambiadores de placas que recibirían mayor o menor caudal del

apoyo de las calderas en función de la demanda en cada instante. Por tanto, también es totalmente compatible con una instalación con circuito de **calefacción**.

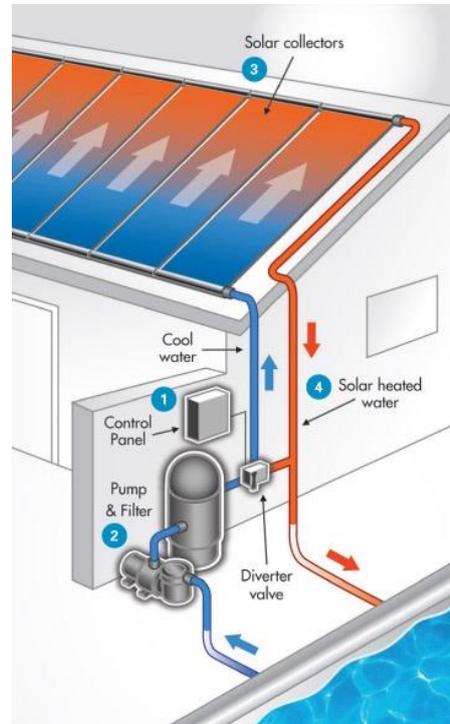
En piscina cubierta además normalmente se debe controlar la humedad relativa en el interior, completándose la instalación con un sistema de Deshumectación.

5.6. IST para piscinas al aire libre.

Las piscinas al aire libre no tienen la misma configuración. Hay dos opciones. O aprovechar el excedente que durante el verano tiene la IST o contar con una exclusiva para esta aplicación de configuración sencilla y fácil instalación.

Recordemos que en piscina al aire libre el DB HE-4, **no permite el uso de acumulación**, pues el mismo vaso de la piscina puede funcionar como acumulador solar, por lo que no habrá intercambiador en estas instalaciones, **salvo** que mediante un intercambiador exterior se le transfiera la energía solar acumulada en un **depósito de inercia**.

Cuando no hay intercambiador, usando la bomba de la depuradora el agua de la piscina, tras pasar por un filtro, es dirigida directamente a través de una serie de válvulas a los colectores solares. Los paneles para estos casos son muy simples, diferentes de los cpp, más baratos, de cubierta plástica, lo que les permite ser flexibles y altamente resistente a la luz ultravioleta y temperaturas de más de 100°C. Los tubos colectores están inyectados en el material plástico (polipropileno) negro.



6. Dimensionado básico. Superficie de captación.

En este apartado se expone cómo calcular la superficie de captación necesaria. Pero el dimensionado básico se refiere no sólo al de la **superficie de captadores**, sino también al del **volumen de acumulación solar** para la aplicación a la que está destinada la instalación (consulta páginas 14 y 15 del PCT de IST del IDAE), porque ambos van de la mano. A partir de ambos parámetros se establecen las prestaciones de contribución energética solar, fracción solar y rendimientos mensuales y anual que ofrecerán.

En el propio CTE en su DB HE-4, indica que **“En la memoria del proyecto se establecerá el método de cálculo, especificando, al menos en base mensual, los valores medios diarios de la demanda de energía y de la contribución solar.**

DESTACADO

REQUISITOS DE DIMENSIONADO BÁSICO

De las prestaciones obtenidas para un dimensionado básico concreto en una IST debe comprobarse el cumplimiento de las siguientes condiciones establecidas en el DB HE-4:

1. Se alcanza el porcentaje de **CONTRIBUCIÓN SOLAR MÍNIMA** según la zona climática.
2. El **RENDIMIENTO MEDIO** dentro del periodo de uso DEL **CAPTADOR** (media de rendimientos medios mensuales) **DEBE SER SUPERIOR AL 40%**, independientemente de la aplicación y tecnología usada.
3. El **RENDIMIENTO MEDIO DE LA IST SERÁ MAYOR DEL 20 %**, dentro del periodo del año en el que se utilice la instalación. El PCT recomienda (puesto que no obliga) superar el 30% de media.

%

4. EN PERIODOS DE TIEMPO EN LOS QUE SE SUPERE EL 100% de la demanda se tomarán las oportunas MEDIDAS DE PROTECCIÓN FRENTE AL SOBRECALENTAMIENTO probable.
 - En el caso particular de OCUPACIONES PARCIALES en IST para USO RESIDENCIAL TURÍSTICO, la energía producida por la instalación solar en ningún caso podrá superar el 110% de la demanda de consumo en algún mes o en más de tres meses seguidos el 100%, sin considerar los períodos de tiempo en los que la demanda sea un 50 % por debajo de la media del resto del año. Esta obligación de dimensionado, para el resto de aplicaciones es una recomendación, y si no se cumple, obliga a tomar medidas para el sobrecalentamiento.
5. La RELACIÓN V/A PARA ACS, el área total de los captadores A en m² tendrá un valor tal que se cumpla la condición: $50 < V/A < 180$, recomendándose un volumen de acumulación V en litros aproximadamente igual al de la carga de consumo medio diario.

Dentro de este margen entre 50 y 180, el PCT de IST recomienda para instalaciones con fracciones solares bajas considerar el uso de relaciones V/A pequeñas y para instalaciones con fracciones solares elevadas aumentar dicha relación. Recuerda que en CLIMATIZACIÓN el PCT de IST recomienda tomar como volumen de acumulación V aquel capaz de cubrir las necesidades de energía demandada durante, al menos, una hora y una relación V/A de entre 25 y 50.

6.1. Métodos de cálculo simplificados y detallados.

¿Existe un solo método? Si existen varios, ¿es obligatorio alguno? ¿Cuál es el más idóneo? En la práctica existe una amplia gama de métodos de cálculo cuyos datos de entrada, datos de salida, propiedades, bases de cálculo, aplicaciones, etc. son muy diferentes. Es de destacar que dependiendo del método de cálculo empleado será necesario establecer, con mayor o menor detalle, parte o todos los parámetros de uso, climáticos y de funcionamiento indicados en los apartados anteriores.

Los resultados obtenidos pueden ir desde una simple estimación de la superficie de captación a instalar y su cumplimiento con la normativa, continuando con la evaluación de las prestaciones energéticas globales de la instalación solar térmica, hasta aspectos específicos de cada sistema (nivel de estratificación térmica en el acumulador, temperatura a la salida del captador, etc.).

Métodos de cálculo simplificados

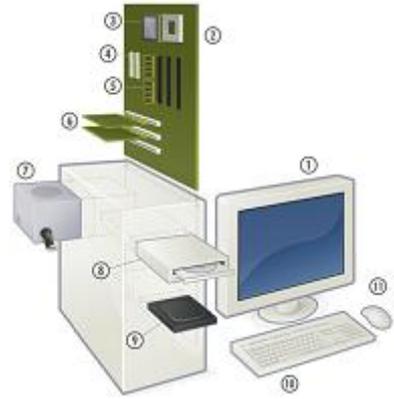


Son métodos basados en cálculos experimentales con suficiente validez como para utilizarse como una primera estimación fiable en el dimensionado de la instalación, ya que aportan información sobre el comportamiento energético global de la instalación **en base mensual y anual**. No requieren gran nivel de detalle para la definición de las bases de cálculo y por tanto no precisan de información detallada en los datos de entrada, por lo que son relativamente fáciles de utilizar y **son los que vas a usar en este módulo**. Los parámetros de salida generalmente se refieren a variables globales de la instalación (cantidad de energía aportada, fracción solar, etc.).

El rango de validez de las correlaciones depende de múltiples factores si bien, con carácter general, es necesario que estos métodos sean suficientemente validados con los datos medidos en las instalaciones.

Métodos de cálculo detallados

Estos métodos utilizan modelos físicos y matemáticos que caracterizan los distintos sistemas y/o componentes, permiten realizar estudios paramétricos para determinar el efecto provocado en la IST debido a la variación de distintas variables y simulan el comportamiento energético de la instalación. Son métodos capaces de aportar gran cantidad de información detallada, cuya mayor ventaja es que se pueden utilizar para contrastar los datos medidos de funcionamiento real con los resultados obtenidos en la simulación.



A partir de una **alta cantidad de detalles de entrada**, estos métodos ofrecen la posibilidad de obtener **numerosos parámetros de salida**: temperatura a la salida de cada captador solar, energía captada y pérdidas térmicas, distribución vertical de temperaturas (estratificación) en acumuladores, caudales y temperaturas en las conexiones de los acumuladores y sus pérdidas térmicas, pérdidas térmicas en las tuberías, tiempo de funcionamiento de las bombas, etc. Estos parámetros permiten cuantificar las energías, rendimientos, etc. con mayor precisión y **con un nivel de detalle semanal o diario**, a diferencia de los simplificados basados en estudios de carácter mensual, por lo que se hace indispensable el uso de programas informáticos como verás en el último apartado de esta UT, por su complejidad en el manejo.

Del CTE se puede concluir que la realización de métodos simplificados es válida, dado que **“En la memoria del proyecto se establecerá el método de cálculo, especificando, al menos en base mensual, los valores medios diarios de la demanda de energía y de la contribución solar.** Asimismo el método de cálculo incluirá las **PRESTACIONES** globales anuales definidas por:

- a) la demanda de energía térmica;
- b) la energía solar térmica aportada;
- c) las fracciones solares mensuales y anual;
- d) el rendimiento medio anual.”

Son estas prestaciones las que aprenderás a deducir a continuación con el aprendizaje del **método F-Chart**, que se verán más adelante.

6.2. Parámetros de funcionamiento.

Es preciso, pues, que conozcamos el comportamiento de la instalación mediante los siguientes parámetros:

- Las condiciones de uso determinan la **energía necesaria**, E_{nec} (Q_a en la explicación del método F-Chart del PCT de IST del IDAE), o demanda energética analizada en la UT 1.
- Las condiciones climáticas caracterizan la energía disponible, E_{disp} ($R1$ en el PCT), entendida como la energía de la radiación solar incidente sobre el plano de captadores, que ya analizaste en la UT-1.
- Las condiciones de funcionamiento del conjunto de la instalación determinarán la **energía solar aportada**, por (Q_u en el PCT), entendida como energía térmica de origen solar realmente transferida al consumo o como ahorro energético.

El cálculo de una instalación supone que, una vez definidos los parámetros de las condiciones de uso, climáticos y de funcionamiento, quedan unívocamente determinados los valores de la fracción solar y del rendimiento:

La relación entre la E_{apor} y la E_{disp} condiciones funcionales, definen el **RENDIMIENTO DE LA INSTALACIÓN**, η_{rend} como cociente entre ambos siempre referido a un determinado

periodo de tiempo, mensual o anual. Este rendimiento es el resultado de considerar conjuntamente los rendimientos de cada uno de los sistemas que constituyen la instalación: captación, acumulación, intercambio, transporte, control y recirculación. En cada uno de ellos hay pérdidas en la transmisión de la energía calorífica.

- A la parte de la demanda cubierta en un periodo de tiempo concreto, mensual o anual, mediante energía solar se denomina **CONTRIBUCIÓN O FRACCIÓN SOLAR**, FS (f en el PCT de IST).

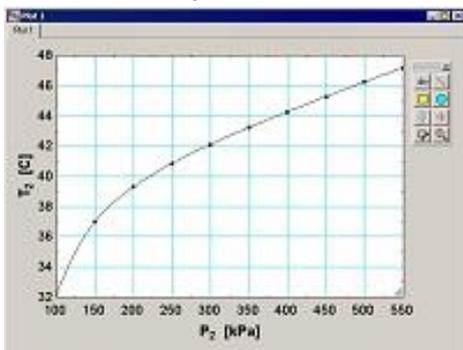
Por tanto, y este es el principio básico de cálculo: $E_{disp} \times \eta_{rend} = E_{apor} = E_{nec} \times FS$, con las notas siguientes:

- ✓ Como la capacidad de energía de aporte es casi siempre menor que la demandada, la $E_{apor} < E_{nec}$, (FS < 100%) **la diferencia hasta el total de la demandada será la ofrecida por el sistema de apoyo auxiliar convencional**, $E_{aux} = E_{nec} - E_{apor}$
- ✓ Lógicamente, cuando en un periodo de tiempo la energía de aporte sea mayor que la demandada, el **FS > 100%**, **el aporte real será el 100% de la demanda** $E_{apor} = E_{nec}$. El resto será excedente que habrá que evacuar cuando sea perjudicial para la fiabilidad y seguridad de la instalación por sobrecalentamiento.

6.3. Método simplificado F-chart (I).

¿Resulta muy difícil llevar a cabo los cálculos de la superficie necesaria en una instalación solar? Ya se ha visto como una estimación previa en base al volumen de acumulación solar es relativamente sencillo. Pero ¿y conocer el rendimiento de la instalación y su aporte o cobertura energética solar? ¿Será igual de sencillo? No tanto, pero de cálculos no muy complicados, pero sí complejos en cuanto al manejo de numerosos conceptos y parámetros. Tendrás que poner atención para dominarlos y no confundirlos.

Es este el **método recomendado por el PCT de IST del IDAE** y que la práctica totalidad de **proyectistas, fabricantes e instaladores** utilizan para realizar el dimensionado de las IST. Los propios programas que desarrollan están basados en este método. Verás que a pesar de su aparente dificultad por la terminología de los datos y parámetros que utiliza, resulta relativamente sencillo. Para su resolución es conveniente el uso de **programas informáticos basados en hojas de cálculo**.



El **proceso de cálculo** se encuentra descrito en las páginas finales del PCT de IST, donde además señala que el método de las curvas f , o método F-Chart (como en la imagen decorativa), es “Ampliamente aceptado como un proceso de cálculo suficientemente exacto para largas estimaciones, no ha de aplicarse para estimaciones de tipo semanal o diario. Para su desarrollo se utilizan datos mensuales medios meteorológicos, y es perfectamente válido

para determinar el rendimiento o factor de cobertura solar en instalaciones de calentamiento, en todo tipo de edificios, mediante captadores solares planos.”

Para saber cómo se desarrolla el método de curvas f , F-Chart, debes consultar y seguir los pasos establecidos en el anexo final del PCT de IST del IDEA.

Para su desarrollo es necesaria una **estimación previa de partida de la superficie captadora a instalar**. Ello se puede hacer perfectamente con las indicadas ya en la UT anterior respecto a la relación óptima V/A entre el volumen de acumulación y la propia superficie de captación.

Los **resultados arrojados** por este método de cálculo son los valores de **FRACCIÓN SOLAR, f** , para un día medio de cada mes y a partir de estos, se obtienen los **RENDIMIENTOS**

MENSUALES y el MEDIO ANUAL del conjunto de la IST. La energía solar aportada (E_{apor} ó Q_u en el PCT) se obtiene multiplicando la fracción solar por la demanda de energía térmica, Q_a .

6.4. Método simplificado F-chart (II).

Vas a ver ahora como según los resultados obtenidos con el F-Chart, a partir de unos parámetros de entrada iniciales, se analiza su cumplimiento con los requisitos del DB HE-4; con frecuencia, al realizar los cálculos, encontrarás con que alguno no se cumple, por lo que deberás modificar algún parámetro y calcular de nuevo.



PARÁMETROS DE ENTRADA

Este método trabaja con **valores diarios medios mensuales** y estima la cantidad de energía aportada por una IST a partir de los siguientes parámetros de entrada:

1. Parámetros de demanda energética (Q_a en el PCT).

Son los de **temperatura de agua fría y de uso y litros de consumo** de agua caliente a la temperatura de uso, para conocer la demanda energética de ACS que ya viste en la UT 1. Para **climatización** bastará con los datos de las demandas mensuales.

2. Parámetros Climáticos:

Según la localización, estos serán la **irradiación solar** sobre el plano de captadores solares, con sus correcciones por inclinación, orientación y sombras, y la **temperatura ambiente**.

3. Parámetros de funcionamiento:

Son además del **área de captación solar** estimada para llevar a cabo el cálculo, el **factor óptico** y el **coeficiente de pérdidas del captador**, caudal de circulación y **volumen de acumulación**.

Consideraciones en la introducción de los datos de entrada:

- R_1 se calcula partiendo de los valores astrofísicos de la radiación solar para superficie horizontal, para luego ser corregida en base a la posible limpieza o polución de la atmósfera y la inclinación, orientación y sombras de los captadores.
- Modificador del Ángulo de Incidencia IMA, representa las pérdidas en el aprovechamiento solar citadas en la UT 1 por la incidencia de los rayos a primeras y últimas horas del día, y que se estimaron en un 6% (multiplicar por 0,94). En el caso más frecuente, en cpp de vidrio simple, la IAM es de 0,96. En tubos de vacío, si el absorbedor de apoyo de los tubos es plano tendrá igual valor, pero si es cilíndrico, al concentrar en el tubo los rayos reflejados en la superficie, la IAM toma un valor de 1,25 ó incluso mayor.
- El factor de corrección del conjunto captador-intercambiador, que toma el valor 0,95, expresa unas pérdidas del 5% por la existencia de intercambiador.
- A la hora de calcular D_1 , los valores de E_a y de Q_a deben estar en las mismas unidades energéticas (en el PCT no lo están).
- El periodo de tiempo considerado irá en horas o segundos según sea la unidad elegida para el cálculo de E_p .
- En caso de una **producción conjunta de ACS y climatización**, calcula por separado cada una de las aplicaciones, verifica si cumple con el DB HE-4 la parte de ACS y determina la contribución en la demanda de calefacción, aunque en la realidad todos los captadores formen parte de un único primario. En climatización se considera un valor para K_2 de 1.
- Si en un mes la cobertura solar FS o f es más del 100%, lógicamente el aporte solar útil, Q_u , será el 100% de la demanda.

CUMPLIMIENTO DB HE-4

Una vez obtenidos los valores de cobertura solar, f , del aporte solar Q_w , y de los rendimientos mensuales y anuales de la IST, se analizarán para ver si cumplen los requisitos de cumplimiento de las diferentes condiciones del DB HE-4, especialmente el de la contribución solar mínima según la zona climática. En caso de que no cumpla, se modificarán las variables oportunas, como por ejemplo, las de la superficie estimada y/o el de volumen de acumulación, hasta conseguir que los resultados cumplan con lo indicado.

6.5. Pérdidas en la distribución y circulación.

El CTE indica en el apartado “3.1.1 Cálculo de la demanda” que, además, se deberán tener en cuenta en la demanda las pérdidas en caso de existencia de recirculación: “Adicionalmente se tendrán en cuenta las pérdidas caloríficas en distribución/recirculación del agua a los puntos de consumo

El R.I.T.E. IT 1.2.4.2.1.1. limita las pérdidas por distribución a un máximo del 4%.

6.6. Aplicaciones Informáticas.

Ciertamente, cuando se pretende llevar a cabo el diseño de una IST, con su dimensionado básico de volumen de acumulación y superficie de captación, junto con las prestaciones de rendimiento y cobertura solar, en base a programas basados en F-Chart, lo mejor es que, como proyectista, confecciones tu propia hoja de cálculo, pues de esta forma sabrás cómo afecta cada una de las variables introducidas y podrás acoplar perfectamente las características de cada proyecto que se te plantee a los parámetros de tu hoja de cálculo.

En general, los resultados derivados del uso de los diferentes programas, tanto de fabricantes como de profesionales, presentan variaciones de tal calibre que se puede afirmar que cualquiera de los métodos de cálculo basados en F-Chart ofrecerá resultados que **no van a diferir en gran medida del funcionamiento real** de las instalaciones.

7. Documentación técnica.

En toda documentación técnica que se elabore sobre una IST tendrás que confeccionar una documentación para su legalización o autorización por el organismo competente. ¿Y cuál era esa documentación necesaria para la autorización? Pues recordemos lo que ya se comentó en la UT 2 referente a lo establecido por el RITE, y que se indica en el esquema siguiente

	Trámites en IST de Potencia Térmica < 5 kW y Sistemas Solares Prefabricados (SSP)	Trámites en IST de generación de calor/frío y ACS (no SSP) de entre 5 y 70 kW	Trámites en IST de Potencia Térmica > 70 kW
Antes de iniciar el montaje de la instalación.	Ninguno	Ninguno	Proyecto técnico suscrito por Técnico competente, visado por el colegio profesional del mismo, presentado para su registro en el Organismo Autónomo Competente.
Una vez terminado el montaje de la instalación.	Ninguno	Presentación de la documentación de la instalación firmada por el Instalador Autorizado: <ul style="list-style-type: none"> - Memoria técnica de la instalación. - Certificado de la instalación donde se refleje el resultado de las pruebas. - Anexos de cálculo. - Planos y esquemas. 	Presentación de los siguientes documentos: <ul style="list-style-type: none"> - Certificado de la instalación donde se refleje el resultado de las pruebas, firmado por el instalador y el director de obra. - Certificado de dirección de obra firmado por el técnico competente director de obra, visado por el colegio profesional del mismo.

Recordemos que en el artículo 15 del R.I.T.E a efecto de calcular la potencia de las IST , se determinará multiplicando la superficie de apertura de campo de los captadores solares instalados **por 0,7 kW/m².**

8. Mantenimiento.

El mantenimiento de las IST se realizará conforme a lo establecido en el DBHE4. En dicho documento se indica que :

“Sin perjuicio de aquellas operaciones de mantenimiento derivadas de otras normativas, para englobar todas las operaciones necesarias durante la vida de la instalación para asegurar el funcionamiento, aumentar la fiabilidad y prolongar la duración de la misma, se definen dos escalones complementarios de actuación:

- a) plan de vigilancia;
- b) plan de mantenimiento preventivo.”

El **plan de vigilancia** consiste en:

Tabla 5.1 Plan de vigilancia

Elemento de la instalación	Operación	Frecuencia (meses)	Descripción
CAPTADORES	Limpieza de cristales	A determinar	Con agua y productos adecuados
	Cristales	3	IV condensaciones en las horas centrales del día
	Juntas	3	IV Agrietamientos y deformaciones
	<i>Absorbedor</i>	3	IV Corrosión, deformación, fugas, etc.
	Conexiones	3	IV fugas
CIRCUITO PRIMARIO	Estructura	3	IV degradación, indicios de corrosión.
	Tubería, aislamiento y sistema de llenado	6	IV Ausencia de humedad y fugas.
	Purgador manual	3	Vaciar el aire del botellín
CIRCUITO SECUNDARIO	Termómetro	Diaria	IV temperatura
	Tubería y aislamiento	6	IV ausencia de humedad y fugas.
	Acumulador solar	3	Purgado de la acumulación de lodos de la parte inferior del depósito.

IV: inspección visual

El **mantenimiento** implicará, como mínimo, una revisión anual de la instalación para instalaciones con superficie de captación inferior a 20 m² y una revisión cada seis meses para instalaciones con superficie de captación superior a 20 m²

Tabla 5.2 Plan de mantenimiento. Sistema de captación

Equipo	Frecuencia (meses)	Descripción
<i>Captadores</i>	6	IV diferencias sobre original
<i>Cristales</i>	6	IV diferencias entre <i>captadores</i>
<i>Juntas</i>	6	IV condensaciones y suciedad
<i>Absorbedor</i>	6	IV agrietamientos, deformaciones
<i>Carcasa</i>	6	IV corrosión, deformaciones
<i>Conexiones</i>	6	IV deformación, oscilaciones, ventanas de respiración
<i>Estructura</i>	6	IV aparición de fugas
<i>Captadores*</i>	6	IV degradación, indicios de corrosión, y apriete de tornillos
<i>Captadores*</i>	12	Tapado parcial del campo de <i>captadores</i>
<i>Captadores*</i>	12	Destapado parcial del campo de <i>captadores</i>
<i>Captadores*</i>	12	Vaciado parcial del campo de <i>captadores</i>
<i>Captadores*</i>	12	Llenado parcial del campo de <i>captadores</i>

* Operaciones a realizar en el caso de optar por las medidas b) o c) del apartado 2.2.2 párrafo 2.

IV: inspección visual

Tabla 5.3 Plan de mantenimiento. Sistema de acumulación

Equipo	Frecuencia (meses)	Descripción
Depósito	12	Presencia de lodos en fondo
Ánodos sacrificio	12	Comprobación de desgaste
Ánodos de corriente impresa	12	Comprobación del buen funcionamiento
Aislamiento	12	Comprobar que no hay humedad

IV: inspección visual

Tabla 5.4 Plan de mantenimiento. Sistema de intercambio

Equipo	Frecuencia (meses)	Descripción
Intercambiador de placas	12	CF eficiencia y prestaciones
	12	Limpieza
Intercambiador de serpentín	12	CF eficiencia y prestaciones
	12	Limpieza

CF: control de funcionamiento

Tabla 5.5 Plan de mantenimiento. Sistema de captación

Equipo	Frecuencia (meses)	Descripción
Fluido refrigerante	12	Comprobar su densidad y pH
Estanqueidad	24	Efectuar prueba de presión
Aislamiento al exterior	6	IV degradación protección uniones y ausencia de humedad
Aislamiento al interior	12	IV uniones y ausencia de humedad
Purgador automático	12	CF y limpieza
Purgador manual	6	Vaciar el aire del botellín
Bomba	12	Estanqueidad
Vaso de expansión cerrado	6	Comprobación de la presión
Vaso de expansión abierto	6	Comprobación del nivel
Sistema de llenado	6	CF actuación
Válvula de corte	12	CF actuaciones (abrir y cerrar) para evitar agarrotamiento
Válvula de seguridad	12	CF actuación

IV: inspección visual

CF: control de funcionamiento

Tabla 5.6 Plan de mantenimiento. Sistema eléctrico y de control

Equipo	Frecuencia (meses)	Descripción
Cuadro eléctrico	12	Comprobar que está siempre bien cerrado para que no entre polvo
Control diferencial	12	CF actuación
Termostato	12	CF actuación
Verificación del sistema de medida	12	CF actuación

CF: control de funcionamiento

Tabla 5.7 Plan de mantenimiento. Sistema de energía auxiliar

Equipo	Frecuencia (meses)	Descripción
Sistema auxiliar	12	CF actuación
Sondas de temperatura	12	CF actuación

CF: control de funcionamiento