

Existen dos diferencias fundamentales entre un sistema abierto y otro cerrado. La primera de ellas es que la gravedad no afecta a la circulación del agua. Sin embargo, de la segunda todavía no hemos hablado. Un sistema cerrado tiene únicamente un punto de contacto con un gas o una interfase, mientras que sistema abierto está en contacto por al menos dos puntos con el aire exterior. Esto obliga a la instalación de una serie de elementos que trataremos en este tema: los depósitos de expansión

7.1 – Depósitos de expansión y eliminación del aire

El depósito de expansión tiene la función de absorber las variaciones de volumen del fluido contenido en un circuito al variar su temperatura, manteniendo la presión entre límites preestablecidos e impidiendo, al mismo tiempo, pérdidas y reposiciones de la masa de fluido. (1)

Los depósitos de expansión pueden ser abiertos o cerrados, según estén o no en contacto con la atmósfera. Los depósitos de expansión que se utilizan en redes hidráulicas para sistemas de climatización suelen ser cerrados. Estos funcionan al comprimir una cámara de aire situada en el interior del mismo que está separada del agua de la instalación por una membrana flexible. Cuando el agua de la instalación aumenta su volumen por efecto de la temperatura, se produce un aumento de presión en el circuito que es absorbida por el vaso de expansión. Cuando el volumen disminuye al disminuir la temperatura del sistema, el depósito devuelve el agua cedida a la instalación.

Por lo tanto, en los sistemas hidráulicos, los objetivos de un sistema de control de presión son:

- Limitar la presión de todos los equipos para permitirles trabajar a sus presiones nominales.
- Mantener una presión mínima para todo el rango de temperaturas de trabajo.
- Conseguir los objetivos anteriores con la menos cantidad de agua añadida posible.
- Evitar problemas de cavitación

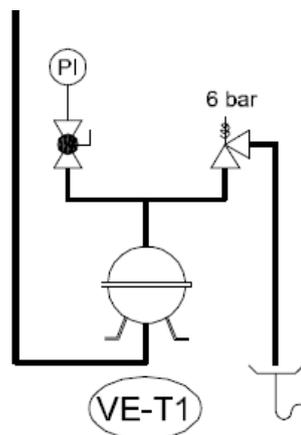


Figura 7.1 – Vaso de expansión en circuito

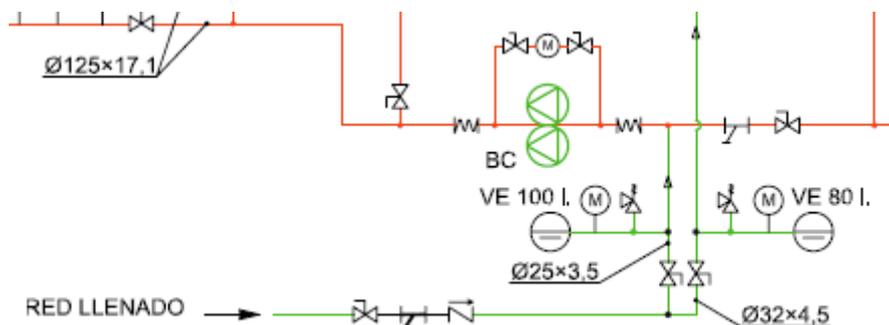


Figura 7.2 – Vasos de expansión integrados en un circuito

7.2 – Combatir el cambio de temperatura

El control de la presión como consecuencia de variaciones de temperatura se puede realizar con los siguientes elementos:

- Válvulas de desahogo: Su instalación es necesaria para limitar la máxima presión y prevenir accidentes a los ocupantes y daño a los equipos.
- Válvulas reductoras de presión: Válvulas reductoras de presión limita el mínimo de presión de un sistema adecuándolo a sus niveles nominales.
- Un tanque de expansión: Es un tanque parcialmente lleno que opera por encima de la presión atmosférica y que en cierta forma acomoda las variaciones de presión del sistema absorbiéndolas. Es decir, su función es la absorber el aumento de volumen que se produce al expandirse, por calentamiento un fluido caloportador.

Tipos de tanques de expansión:

- a) Abiertos a la atmósfera.
- b) Cerrados y que contienen un cierto volumen de agua junto con una cierta cantidad de aire, por lo que nos encontramos con una interfase agua-aire.
- c) Un tanque de diafragma, en el cual una membrana flexible se encuentra entre el agua y el aire. Los tanques de diafragma tienen como peculiaridad que no dejan entrar aire de nuevo en el sistema.

Problema 7.1 – Imaginemos un sistema que contiene 50 m^3 , opera en invierno a una temperatura de $70 \text{ }^\circ\text{C}$ mientras que en verano la temperatura disminuye hasta 8°C . ¿Cuál es la variación de volumen que experimenta el agua? Supondremos que el agua ha sido introducida a $15 \text{ }^\circ\text{C}$.

NOTA: Véase apéndice X.X con las variaciones del volumen másico en función de la temp.

De las tablas termodinámicas sabemos los volúmenes específicos para cada temperatura:

$$v_1 (T = 8 \text{ }^\circ\text{C}) = 1,0002 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3/\text{kg}$$

$$v_2 (T = 70 \text{ }^\circ\text{C}) = 1,023 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3/\text{kg}$$

$$v_3 (T = 15 \text{ }^\circ\text{C}) = 1,001 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3/\text{kg}$$

$$50 \text{ m}^3 \cdot \frac{1 \text{ kg}}{1,001 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3} = 49950,05 \text{ kg de agua introducidos}$$

Por lo que para calcular la variación de volumen:

TEMA 7: DEPÓSITOS DE EXPANSIÓN

$$\Delta Volumen = Volumen a T_1 - Volumen a T_2$$

Donde el volumen a T_1 :

$$V(T_1) = 49950,05 \text{ kg} \cdot \frac{1,0002 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3}{\text{kg}} = 49,96 \text{ m}^3$$

$$V(T_2) = 49950,05 \text{ kg} \cdot \frac{1,023 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3}{\text{kg}} = 51,09 \text{ m}^3$$

Con lo que finalmente tenemos una variación de volumen de:

$$\Delta Volumen = 51,09 - 49,95 = 1,14 \text{ m}^3$$

7.3 – Dimensionando un depósito de expansión

Con un único depósito de expansión en nuestro sistema, y asumiendo condiciones isotérmicas en el aire, la presión del aire cambia como consecuencia del desplazamiento del agua en el interior del tanque. Si asumimos que no se introducirá ni eliminará agua del sistema, la única razón por la que pueda variar el volumen de agua en el tanque será la variación de volumen al cambiar la temperatura (2). Por lo tanto, para dimensionar el tanque, tendremos que tener en cuenta las presiones del aire en el interior del tanque. El punto de conexión del sistema con el tanque también es importante, y debería de estar basado en los requerimientos de presión del sistema.

Otras consideraciones relacionadas con la conexión de un tanque de expansión a nuestro sistema son:

- Un tanque de expansión abierto a la atmósfera debe estar siempre localizado por encima del punto más alto del sistema.
- Un tanque con una interfase aire/agua se usa generalmente con un sistema de control de aire que sea capaz de eliminar el aire para extraerlo del sistema, cuando sea necesario.
- Como veremos más adelante en este mismo apartado, cuanto menor sea la presión en el tanque, menor será su tamaño, y por lo tanto en un sistema vertical, cuanto más alto esté colocado el tanque, menor será su tamaño.
- En sistemas con primarios y secundarios, se recomienda colocar únicamente un tanque, a ser posible en la zona de absorción de la bomba del primario. De esta forma se disminuyen las posibilidades de cavitación en el lado de aspiración.

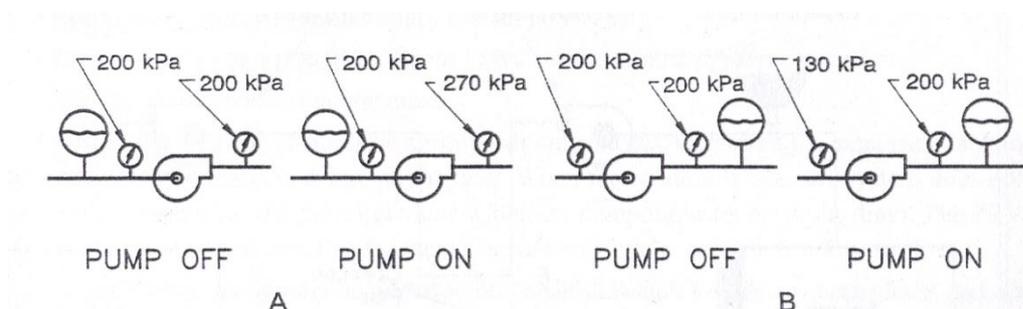


Figura 7.3 – Efectos al instalar un vaso de expansión. Primero en la absorción de la bomba, segundo en la impulsión.

Para definir la ecuación utilizada para determinar el tamaño de un tanque de expansión tendremos primero que definir los siguientes coeficientes (1):

C_e , también llamado coeficiente de expansión, que representa el volumen de expansión del agua entre la temperatura de 4 °C, a la que corresponde el volumen específico mínimo y la temperatura máxima de funcionamiento del sistema:

TEMA 7: DEPÓSITOS DE EXPANSIÓN

$$C_e = (-1,75 + 0,034 \cdot T + 0,0036 \cdot T^2) \cdot 10^{-3} \quad 7-1$$

C_p , también llamado coeficiente de presión que representa la relación entre el volumen total y el volumen útil del vaso de expansión.

$$C_p = \frac{P_M}{(P_M - P_m)} \quad 7-2$$

Para un vaso de expansión cerrado, con fluido en contacto directo o indirecto, con un gas presurizado, el volumen total del vaso debe calcularse mediante la siguiente ecuación:

$$V_t = V \cdot C_e \cdot C_p \quad 7-3$$

Donde:

V_t	Volumen del tanque de expansión, [litros]
V	Contenido total de agua en el circuito, [litros]
C_e	Coefficiente de dilatación del fluido, [adimensional]
C_p	Coefficiente de presión del gas, [adimensional]
P_m	Presión mínima en el vaso, [bar]
P_M	Presión máxima de funcionamiento en el circuito, [bar]
T	Temperatura del sistema, [°C]

La presión mínima en el vaso debe ser tal que se eviten fenómenos de cavitación en las aspiración de la(s) bomba(s), para ello, debe de comprobarse que el NPSH disponible en el lugar de emplazamiento de la(s) bomba(s) sea mayor que el NPSH requerido por el fabricante de la(s) misma(s). En cualquier caso, debe tomarse un margen de seguridad, tanto mayor cuanto más elevada sea la temperatura de funcionamiento, con un mínimo de 0,2 bar para sistemas a temperaturas menores de 90 °C y de 0,5 bar para sistemas a temperaturas mayores.

La presión máxima de funcionamiento será ligeramente menos que la presión de tarado de la válvula de seguridad que, a su vez, será menor que la menor de las presiones máximas de trabajo, a la temperatura de funcionamiento, de los equipos y aparatos que formen parte del circuito. Para ellos, debe elegirse el menor de los siguientes valores:

TEMA 7: DEPÓSITOS DE EXPANSIÓN

$$P_M = 0,9 \cdot P_{vs} + 1 \quad (\text{es el 10\% menor que } P_{vs}) \quad 7-4$$

$$P_M = P_{vs} + 0,65 \quad (\text{es 0,35 bar menor que } P_{vs}) \quad 7-5$$

De manera más esquemática, el cálculo del vaso de expansión se hace siguiendo los siguientes pasos:

1º) Se calcula el volumen de agua total contenido en el circuito (tuberías, generadores, unidades terminales, etc.)

2º) Se determina la temperatura máxima de funcionamiento del sistema. En caso de circuitos de agua caliente esta temperatura será igual a la temperatura de impulsión. En caso de agua para refrigeración se adoptará la temperatura máxima que se prevea pueda alcanzar el sistema cuando esté parado, con un mínimo de 30 °C para redes en el interior de edificios y 40 °C para redes situadas el exterior.

3º) Se calcula el coeficiente de expansión con la fórmula 7-1.

4º) Se determinan las presiones de trabajo, siguiendo los criterios mencionados anteriormente.

5º) Se calcula el coeficiente de presión por medio de la ecuación 7-2.

6º) Se calcula el volumen total del vaso de expansión con la ecuación 7-3.

TEMA 7: DEPÓSITOS DE EXPANSIÓN

Problema 7.2 – Dimensione un tanque de expansión para un sistema de calefacción que opera entre 80 °C y 104 °C. La presión atmosférica se considera 101 kPa. El volumen que contiene la red de tuberías es de 10 m³, y se llenará a una temperatura de 4 °C.

Del enunciado del problema podemos obtener los siguientes datos:

$$V_s = 10 \text{ m}^3$$

El volumen total de agua que contiene el circuito se calcula teniendo en cuenta el diámetro interior de todos los tramos de tuberías del circuito. Con ello obtenemos el volumen total de agua que atraviesa el sistema.

Para calcular la temperatura máxima del circuito tenemos varias opciones, en este caso nos dicen el rango de temperaturas de funcionamiento del sistema. Para un sistema de agua caliente, se toma normalmente la temperatura de impulsión, o la temperatura de funcionamiento a plena carga.

$$C_e = (-1,75 + 0,034 \cdot T + 0,0036 \cdot T^2) \cdot 10^{-3} = 0,0407$$

Para calcular las presiones de trabajo se necesitaría conocer más detalles del sistema, como por ejemplo, el punto de trabajo de la bomba para poder asegurar que la presión mínima de trabajo del vaso de expansión está por encima del NPSH de la bomba.

Por otro lado, la presión máxima de funcionamiento se calcula en función de los límites de funcionamiento de los equipos del sistema,

E Tabla V: Límites de funcionamiento

Circuito de agua	Presión máxima lado agua 1400 kPa (142 m w.c.)	Temperatura mínima de entrada del agua: + 4°C Temperatura máxima de entrada del agua: + 80°C	
Temperatura ambiente		Temperatura mínima: 5°C ⁽¹⁾ Temperatura máxima: 32°C	
Power supply	Tensión nominal monofásica Límites de tensión de funcionamiento	230V ~ 50Hz min. 198V – max. 264V	60Hz Especial para exportación min. 187V – max. 253V
	Tensión nominal trifásica Límites de tensión de funcionamiento	400V 3N ~ 50Hz min. 342V – max. 462V	

Nota: ⁽¹⁾ Si la temperatura ambiente puede descender hasta 0°C, se recomienda vaciar el circuito del agua para evitar posibles roturas por formación de hielo (ver el párrafo sobre las conexiones del agua).

Figura 7.4 – Límites de funcionamiento para fancoil de Carrier 42GW

Estableceremos la presión mínima en 1 bar y la presión de tarado de la válvula de desahogo en 14 kPa (véase figura 7.4). Utilizando la relación 7.4 llegamos a que la presión máxima es de 13,6 kPa

$$C_p = \frac{P_M}{(P_M - P_m)} = \frac{13,6}{13,6 - 1} = 1,079$$

Finalmente llegamos a que:

$$V_t = V \cdot C_e \cdot C_p = 10 \cdot 0,0407 \cdot 1,079 = 0,439 \text{ m}^3$$

7.4 – Accesorios para depósito de expansión

Los depósitos de expansión son elementos de seguridad que se encargan que el sistema hidráulico no alcance niveles de presión peligrosos. Los accesorios que suelen llevar incorporados son (1):

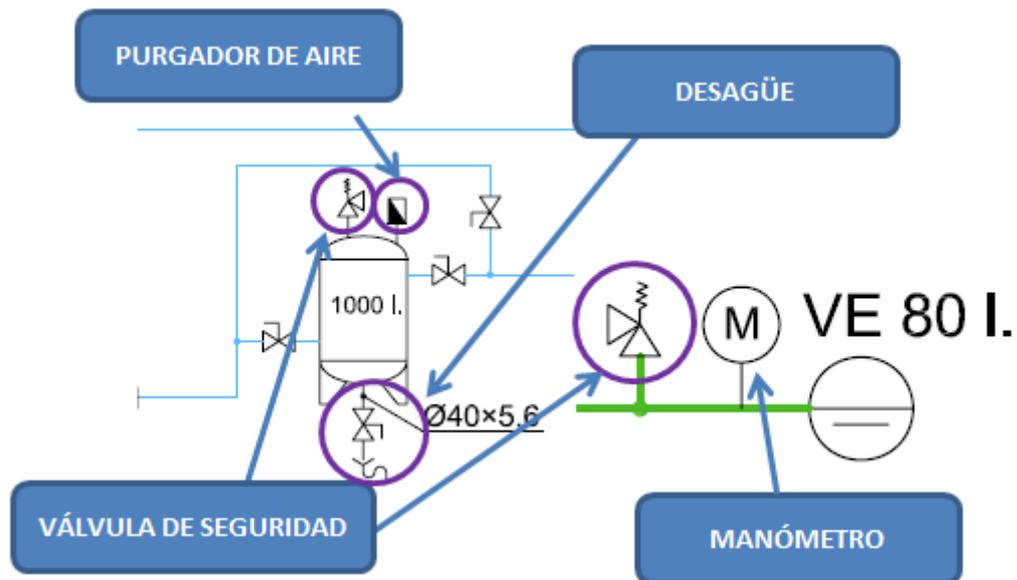


Figura 7.5 – Accesorios para vasos de expansión

- **Manómetro:** Sirve para tener un control visual de las presiones que alcanza el vaso de expansión.
- **Purgador de aire:** En el caso en el que el nivel de aire en el interior del tanque supere los niveles tarados, el purgador eliminará el aire del interior del tanque.
- **Válvula de seguridad:** Protege al tanque d expansión, evita que la presión en el tanque sobre pase los niveles de diseño. También suelen estar diseñadas para prevenir cierta presión de vacío.
- **Desagüe:** Evacúa agua por la parte inferior en caso que sea necesario.

7.5 – Combatir la cavitación con vasos de expansión

En un circuito cerrado la aparición de la cavitación depende de:

- La presión de vapor del fluido p_v , que depende del tipo de fluido y de la temperatura.
- La energía cinética del fluido a la entrada de la bomba.
- La posición del vaso de expansión, la presión de llenado y en su caso de las pérdidas de presión del circuito.

A modo de ejemplo se va a analizar el campo de presiones (3) que se produce en un circuito cerrado cuando se instala el vaso de expansión en la impulsión y en la aspiración de la bomba. Supongamos que en ambos casos el circuito se llena presurizándolo hasta una presión relativa inicial de $p_1=1$ bar (2 bar abs). Este valor es una mera aproximación, que depende de la bomba que se vaya a instalar, aunque como ya hemos mencionado en el apartado 7.3, este valor deberá ser en todo momento superior al NPSH de la bomba para evitar fenómenos de cavitación.

- Vaso de expansión en la aspiración de la bomba:

La figura 7.6 muestra la distribución de presiones en un circuito cerrado cuando el vaso de expansión se sitúa en la aspiración de la bomba. Al arrancar la bomba, la presión inicial p_1 permanece constante en el punto donde se encuentra el vaso de expansión. Si entre el vaso de expansión y la bomba no hay accesorios como un filtro, la presión a la entrada de la bomba p_0 será similar a la presión inicial de llenado $p_e \approx p_1$. Si la pérdida de presión entre el vaso y el filtro fuera importante, entonces, $p_e \approx p_1 - \Delta p_L$. La presión mínima en la bomba resulta:

$$p_x = p_i - \eta_T \frac{1}{2} \rho v_1^2 - \Delta p_L \quad 7-6$$

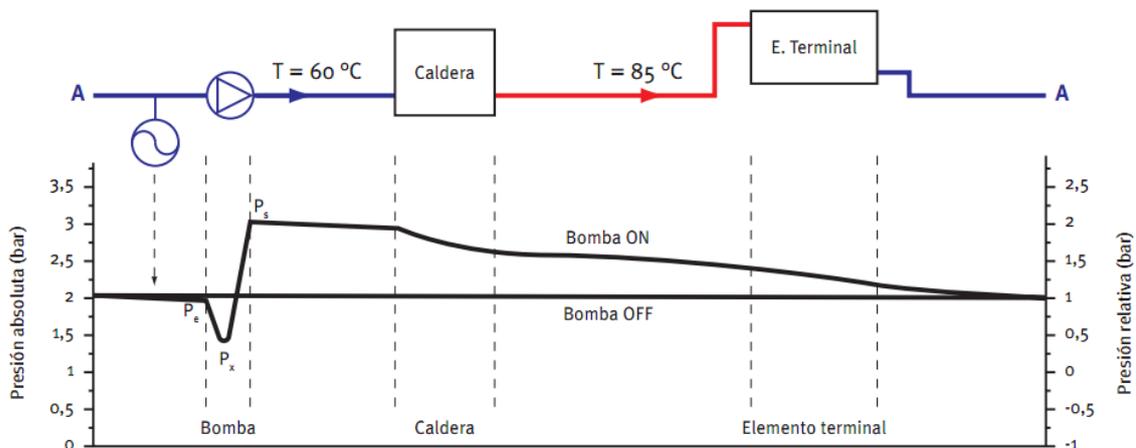


Figura 7.6 – Distribución de presiones en circuito cerrado y vaso de expansión en aspiración de la bomba.

TEMA 7: DEPÓSITOS DE EXPANSIÓN

El único inconveniente de instalar el vaso de expansión en la aspiración de la bomba radica en que la caldera se somete a variaciones de presión con el arranque y parada de la bomba, lo que puede reducir su vida útil.

- **Depósito de expansión en la impulsión de la bomba:**

La figura 7.7 muestra la distribución de presiones en un circuito cerrado cuando el vaso de expansión se sitúa en la impulsión de la bomba (3). Al arrancar la bomba, la presión inicial p_i permanece constante en el punto donde se entra el vaso de expansión, esto es, en la impulsión de la bomba (se considera que la pérdida de presión entre la bomba y el vaso de expansión son despreciables). La presión a la entrada de la bomba p_e queda por debajo de la presión inicial: $p_e = p_i - \Delta p_e$, siendo Δp_e el incremento de presión producido por la bomba. La presión mínima de la bomba queda:

$$p_x = p_i - \eta_T \frac{1}{2} \rho v_1^2 - \Delta p_B \quad 7-7$$

Valor que debe de ser superior a la presión de vapor del fluido del circuito.

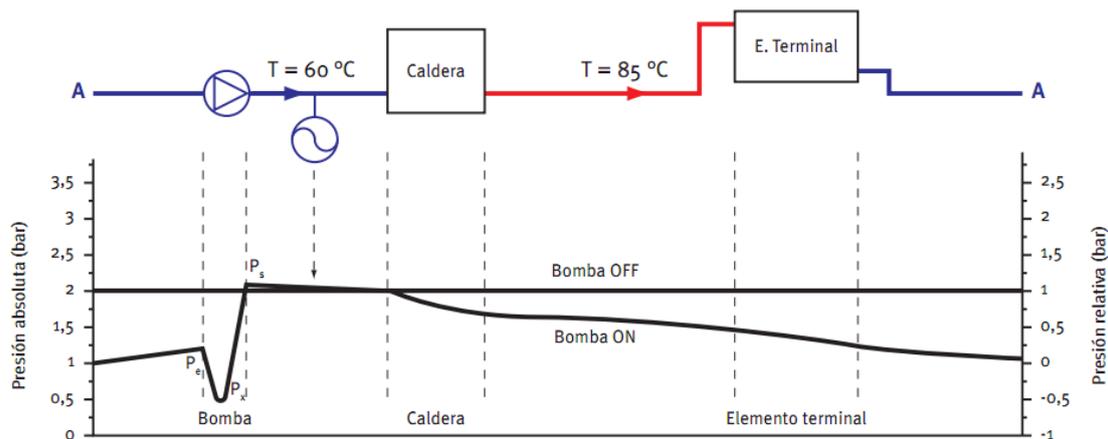


Figura 7.7 – Distribución de presiones en circuito cerrado y vaso de expansión en impulsión de la bomba

La instalación del vaso de expansión en la impulsión de la bomba permite que la caldera funcione a presiones relativamente uniformes y en todo caso por debajo de la presión de llenado. Si se asegura la no presencia de cavitación, en muchos casos puede ser recomendable instalar el vaso de expansión en la impulsión.

Para evitar la presencia de cavitación se recomienda colocar un vaso de expansión en el lado de aspiración de la bomba, aunque si está asegurada la no presencia de la misma, se recomienda la instalación del vaso de expansión en la impulsión.

7.6 – Eliminación del aire en circuitos cerrados

Cantidades excesivas de aire sin disolver en una red de tuberías debido a una inadecuada extracción puede producir que el sistema funcione incorrectamente. El aire se separa del agua a bajas velocidades, por eso se recomienda siempre velocidades mínimas de 0,5 m/s para reducir este riesgo. Se recomienda siempre colocar válvulas de desahogo siempre después de las unidades terminales (por ejemplo fancoils). La duración y el grado de rendimiento de las instalaciones de calefacción central y de refrigeración dependen en gran medida de la cantidad del agua de la instalación. La corrosión y la cavitación provocadas entre otros, por agua rica en oxígeno, originan un fuerte desgaste de partes importantes de la instalación.

A su vez la presencia de aire puede deberse a:

- Purgado deficiente.
- Microburbujas de aire, creadas por corrosión, electrólisis, reacciones químicas, aumentos de temperatura o disminuciones de presión.

Disponer de purgadores automáticos en los puntos más altos de la instalación sólo puede eliminar las bolsas de aire más grandes. Los purgadores no suelen ser capaces de eliminar el aire que está disuelto en el agua en forma de microburbujas. La presencia de estas microburbujas se debe a una propiedad natural del agua, (Ley de Henry), que establece entre la cantidad de aire disuelto en el agua y la presión y temperatura del agua. Manteniendo una presión constante, por ejemplo 3 bar, al elevar de 25 °C a 90 °C se liberan 25 litros de aire por cada m³ de agua.

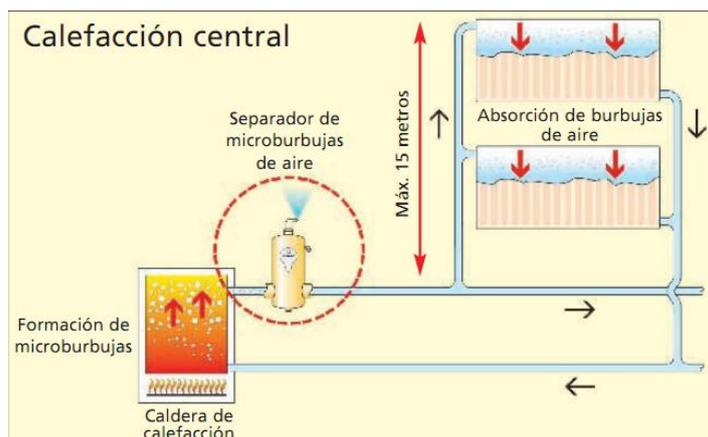


Figura 7.8 – Situación de un separador de burbujas en una instalación de calefacción

Bibliografía

1. **UNE 100155.** *Diseño y cálculo de sistemas de expansión.*
2. **Institute, ASHRAE Learning.** *Fundamentals of Water System Design, SI Version.* Atlanta : s.n., 1999.
3. **IDAE, Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía.** *Selección de equipos de transporte de fluidos.* Ministerio de Industria, turismo y comercio. 2010.
4. **Rahmeyer.** *ASHRAE research projects RP-968 and RP-1034.* 1999.
5. **Crane.** *Flujo de fluidos en válvulas, accesorios y tuberías.* s.l. : McGraw Hill, 1988.
6. —. *Flujo de fluidos en válvulas, accesorios y tuberías.* 1988, págs. Figura 2-14.
7. *Unidades fan coil de cassettes hidrónicas, 42GW.* **CARRIER.** 2009.
8. **UNE EN 1057.** *Cobre y aleaciones de cobre. Tubos redondos sin soldadura, para agua y gas en aplicaciones sanitarias y de calefacción.* 2003.