VIII.- CHIMENEAS,
DEPÓSITOS DE EXPANSIÓN Y TUBERÍAS

pfernandezdiez.es

VIII.1.- CHIMENEAS

La chimenea tiene por misión la conducción de los gases de la combustión desde la caldera hasta el exterior. En las calderas que funcionan con combustibles sólidos, (carbón o leña), el aire necesario para la combustión proviene de modo natural del tiro que ejerce la propia chimenea, que se origina por la diferencia de pesos específicos del aire exterior frío y de los gases de la combustión, y es tanto más intenso cuanto más altura *H* tiene la chimenea; depende de la resistencia que ofrecen los conductos de humos de la caldera y de las características constructivas de la propia chimenea. El tiro es tanto mayor cuanto más elevada es la diferencia de temperaturas del aire exterior y de los gases.

En una chimenea sobredimensionada, o construida con material inadecuado que no asegure su estanqueidad, se producirán infiltraciones de aire frío que disminuyen el tiro y el rendimiento de la combustión con el consiguiente derroche de energía.

$$Tiro = H\,(\gamma_{aire\,ext.} - \gamma_{gases\,combustión})$$

con γ peso específico en kg/m^3

El tiro necesario en la base de la chimenea, con calderas que utilizan combustibles sólidos es:

$$Tiro \geq 3 \text{ mm c.a}$$

Si la caldera funciona con combustibles fluidos (gasóleo o gas), el ventilador que incorpora el quemador proporciona el aire necesario para la combustión, siendo el tiro en la base de la chimenea:

$$Tiro \geq 1 \text{ mm c.a}$$

En las calderas en depresión, la chimenea debe tener el tiro suficiente para vencer la resistencia del paso de los humos a través de la caldera y la resistencia de la chimenea.

En las calderas con sobrepresión, el tiro de la chimenea tiene que vencer la resistencia que opone la chimenea al paso de los gases de combustión.

Tabla VIII.1.- Valores del tiro por metro lineal de chimenea. Temperatura exterior 25ºC

Temperatura media de los humos	*2000*	*2250*	*2500*	*2750*	*3000*	*3500*
Tiro de la chimenea en mm de c.a.	*0,44*	*0,48*	*0,51*	*0,54*	*0,57*	*0,62*

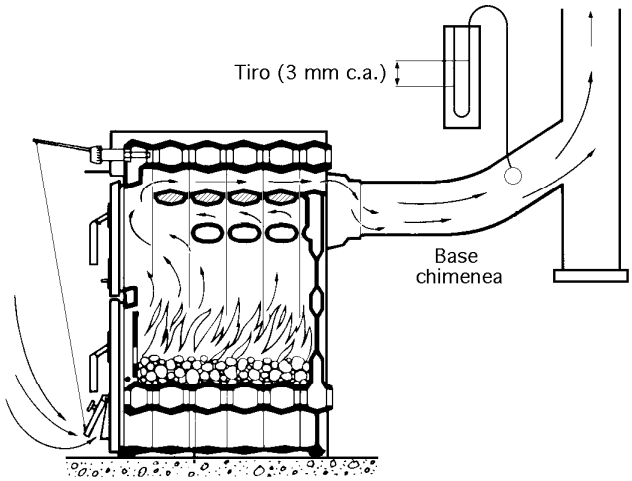


Fig VIII.1.- Medida del tiro en una chimenea

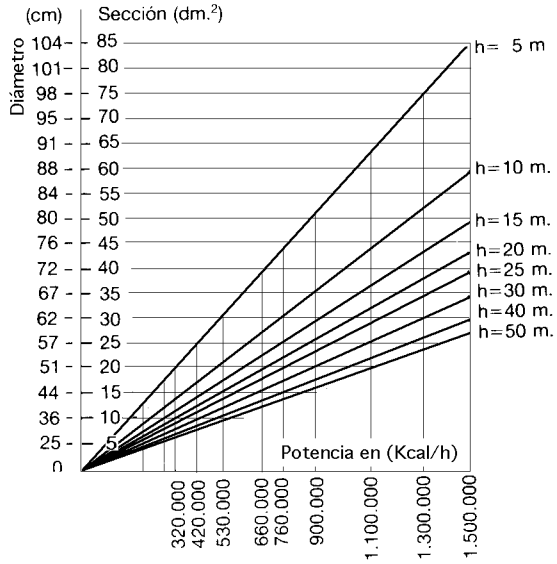


Fig VIII.2.- Gráfica para la selección de chimeneas de calderas

El ***dimensionado de la chimenea*** se puede hacer de acuerdo con la gráfica representada en la Fig VIII.2, o mediante la ecuación:

$$\textit{Sección transversal: } S\ (cm^2) = K\ \frac{N\ (Kcal/hora)}{\sqrt{h\ (m)}}$$

en la que:
- *K es un factor*
  - *0,03 para carbón y leña, para calderas en depresión*
  - *0,02 para gasóleo y gas, para calderas en depresión*
  - *0,008 + 0,014, para calderas presurizadas*
- *h es la altura reducida en metros*

La altura reducida h se determina teniendo en cuenta los conductos para la unión de la calde-

ra con la chimenea, cambios de sección y dirección, etc, por lo que la altura real vendrá reducida en:

0,5 m por cambio de dirección o temperatura

0,5 m por cambio de sección

1 m por cada metro de tramo horizontal

1 m por cada mm de pérdida de carga de la caldera

Para calderas: $\begin{cases} en\ depresión,\ h = H - (0{,}5\ r + L + p) \\ presurizadas,\ h = H - (0{,}5\ r + L\ ) \end{cases}$, siendo: $\begin{cases} H,\ la\ altura\ real\ de\ la\ chimenea\ en\ metros \\ r,\ el\ número\ de\ codos \\ L,\ la\ longitud\ horizontal\ en\ metros \end{cases}$

y p la resistencia de la caldera en mm de c.a. = $\begin{cases} 2,\ hasta\ 160.000\ Kcal/hora \\ 3,\ hasta\ 320.000\ Kcal/hora \\ 4,\ más\ de\ 320.000\ Kcal/hora \end{cases}$

Ejemplo VIII.1.- *Determinar la sección de una chimenea para una caldera en depresión funcionando con gasóleo.*

Datos: $\begin{cases} Potencia\ caldera:\ 236.000\ Kcal/hora \\ Altura\ real\ chimenea,\ 25\ m \\ 2\ codos\ en\ la\ unión\ caldera\text{-}chimenea \\ 3{,}5\ longitud\ tramo\ horizontal \end{cases}$

Cálculo de la altura reducida: $h = 25 - \{(0{,}5 \times 2) + 3{,}5 + 3\} = 17{,}5\ m.$

Cálculo de la sección $S = 0{,}002\ \dfrac{236000}{\sqrt{17{,}5}} = 1128\ cm^2$

Como la sección debe ser de unos 1.128 cm², si es de forma rectangular tendrá unas dimensiones de 30 x 40 cm.

Ejemplo VIII.2a.- *Valorar la altura reducida y la sección de una chimenea de H = 25 m de altura para una caldera de fundición de 10 elementos,* $\begin{cases} 2\ curvas\ en\ unión\ caldera\ chimenea \\ 3{,}5\ m\ longitud\ tramo\ horizontal \end{cases}$

$h = 25 - \{(2 \times 0{,}5) + 3{,}5 + 3\} = 17{,}5\ m$

En el gráfico de la Fig VIII.2, la altura (h = 17,5 m) y la potencia de la caldera coinciden en un punto dentro del área de (40 x 40), por lo que la sección cuadrada de la chimenea será de (40 x 40) cm².

Ejemplo VIII.2b.- *Valorar la altura reducida y la sección de una chimenea de H = 22,5 m de altura para una caldera trabajando en sobrepresión,* $\begin{cases} 2\ curvas\ en\ la\ unión\ caldera\ chimenea \\ 1{,}5\ m.\ longitud\ tramo\ horizontal \end{cases}$

$h = 22{,}5 - \{(2 \times 0{,}5) + 1{,}5\} = 20\ m$

En este caso no se tiene en cuenta la resistencia de la caldera ya que es vencida por el quemador.

En el gráfico de la Fig VIII.2, la correspondencia entre una altura (h = 20 m) y la potencia de la caldera coincide en un punto dentro del área de (40 x 40), por lo que la sección cuadrada de la chimenea será de (40 x 40 cm^2). La sección mínima no ha de ser inferior a 300 cm^2; hay que aumentar un 6% por cada 500 m sobre el nivel del mar.

Cálculo del conducto horizontal.- La sección del conducto horizontal Ω se determina con:

$$\Omega = S\left(\frac{0{,}6\,L}{H} + 1\right)\ ,\ \text{en la que:}\ \begin{cases} \Omega\text{, es la sección en } cm^2 \text{ del canal horizontal} \\ S\text{, es la sección vertical} \\ L\text{, es la longitud horizontal, } L < H/2 \\ H\text{, es la altura de la chimenea en metros} \end{cases}$$

$$\text{Altura mínima} = \frac{\text{Resistencia caldera} + \text{Depresión hogar}}{0{,}5} + \text{Altura resistencia}$$

Ejemplo VIII.3

H es la altura real, 20 m.

L es la longitud horizontal, 2 m.

K es un coeficiente para el gasóleo, 0,02

n es el nº de codos, 1

p es la resistencia de la caldera, 3 mm c.a

N es la potencia de la caldera, 300.000 Kcal/h.

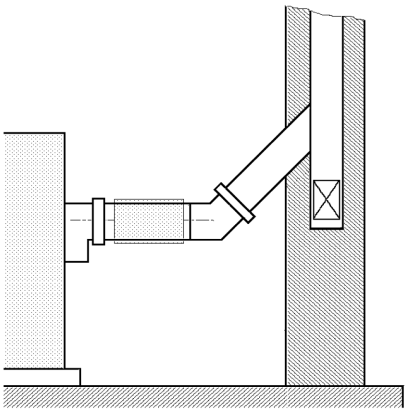


Fig VIII.3
Detalle del empalme entre caldera y chimenea

$$h = 20\ \{(1 \times 0{,}5) + 0{,}5 + 2 + 3\} = 14{,}5\ m\ \ (\text{altura reducida})$$

$$S = 0{,}02\ \frac{300000}{\sqrt{14{,}5}} = 1580\ cm^2$$

$$\Omega = 1580\left(\frac{0{,}6 \times 2}{20} + 1\right) = 1675\ cm^2$$

En el caso de chimeneas de sección rectangular hay que tener en cuenta que la relación entre lados no sea superior a 1,5.

La chimenea es un elemento importante en una instalación de calefacción, por lo que muchas veces la polución y el hollín no provienen de una mala combustión, sino de una deficiente chimenea. De nada servirá dimensionarla correctamente, si no se tienen en cuenta el aislamiento térmico, los materiales constructivos y un diseño adecuado.

Siempre que sea posible hay que utilizar en el dimensionado de las chimeneas los datos facilitados por el fabricante, ya que los resultados obtenidos al utilizar los gráficos son sólo orientativos.

Aislamiento térmico.- Una chimenea adecuadamente aislada pierde poco calor y los humos que salen de la misma no se enfrían excesivamente.

La Reglamentación indica que cuando son exteriores, las pérdidas de calor en la superficie interna no deben ser superiores a 1,45 W/m^{2}ºC, para combustibles sólidos y líquidos, y 2 W/m^{2}ºC, para combustibles gaseosos. Para hacernos una idea comparativa de estos valores, un aislamiento de 10 mm de espesor de fibra de vidrio tiene unas pérdidas del orden de 1,13 Kcal/h m^{2}ºC.

La temperatura de salida de los humos por la parte superior de la chimenea debe ser superior a 100ºC y en la salida de la caldera superior a 170ºC.

Materiales constructivos.- Los materiales de la chimenea en contacto con los humos deben ser resistentes a éstos, al calor y a las posibles corrosiones ácidas que se originen, pudiendo ser refractarios o de hormigón resistente a los ácidos, de material cerámico, de acero inoxidable u otro material idóneo. No se debe utilizar ladrillo normal, ni tampoco el acero galvanizado. Los materiales de fibrocemento deben estar garantizados por el fabricante sobre posibles ácidos.

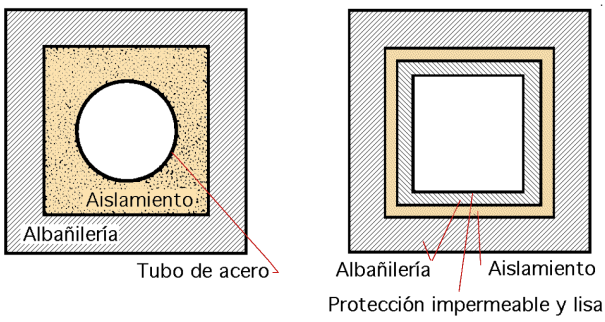


Fig VIII.4.- Materiales constructivos

Diseño.- *La chimenea debe ser de sección constante en todo su recorrido,* pudiendo ser circular, cuadrada, rectangular u ovalada. En el caso de sección rectangular, la relación entre los lados debe estar comprendida entre 0,7 y 1,5.

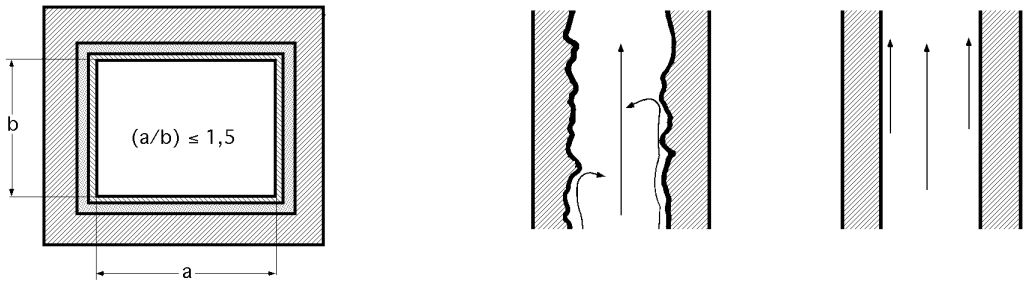


Fig VIII.5.- Diseño de superficies de chimeneas

Las superficies interiores de la chimenea deben ser lisas; en la salida de la chimenea al exterior no deben existir edificaciones cercanas Fig VIII.6, capaces de dificultar el tiro; en caso contrario, hay que desplazar de lugar la salida o levantarla. En las chimeneas no deben existir sombreretes, porque son causa de condensaciones ácidas y de contaminación.

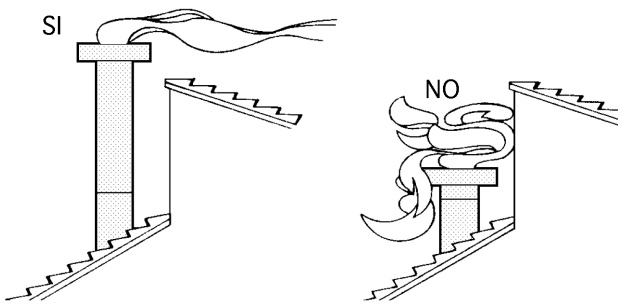


Fig VIII.6.- Diseño de salida de chimeneas

En la base de la vertical de la chimenea, debe haber un *fondo de saco* con registro, Fig VIII.7, con cierre hermético; en él se depositarán los hollines y agua de lluvia. Al abrir el registro hay que tener acceso a

todos los residuos de la combustión cuando se limpie la chimenea. En el conducto de conexión de la caldera a la chimenea es conveniente colocar una compuerta para la regulación del tiro, que en posición cerrada, deberá cerrar como máximo el 50% de la sección.

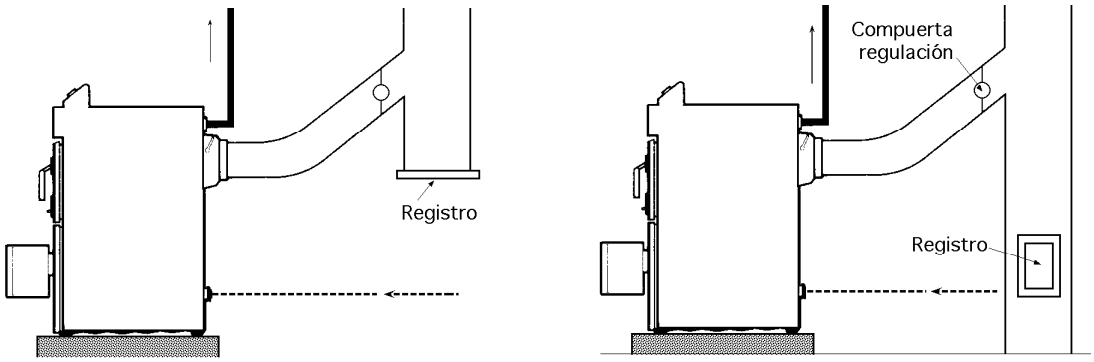


Fig VIII.7.- Registros y compuertas en chimeneas

Todo el tramo de la chimenea, así como el conducto de conexión a la caldera y chimenea debe ser estanco, no debiendo existir ninguna entrada parásita de aire, Fig VIII.8a.

Se deben evitar los tramos largos horizontales, Fig VIII.8b, por los posibles depósitos de hollín; todo tramo inclinado u horizontal deberá disponer de un registro hermético, para tener acceso a la limpieza Fig VIII.8c.

Si existen dos o más calderas, para que tengan una perfecta combustión se recomienda que cada una tenga una chimenea completamente independiente. El Reglamento lo exige para potencias superiores a 500 kW.

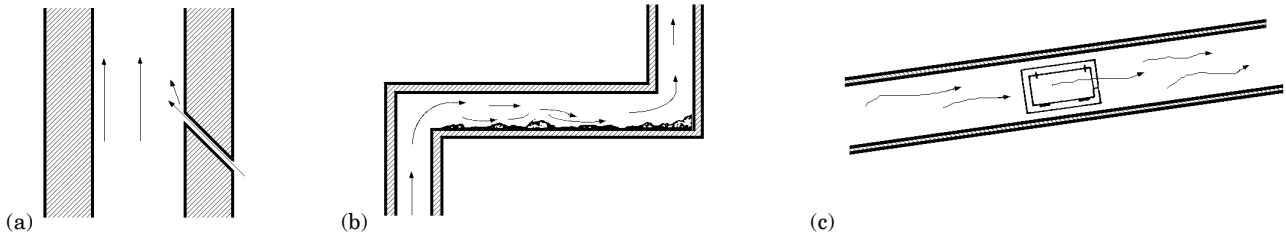


Fig VIII.8.- Tramos de chimeneas con diferentes situaciones

VIII.2.- DEPOSITO DE EXPANSION

Con objeto de absorber las dilataciones del agua al calentarse, dadas en la Tabla VIII.2 y en la Fig VIII.9, las instalaciones de calefacción por agua caliente deben equiparse con depósitos de expansión. La capacidad del depósito tiene que ser suficiente para admitir la expansión del agua en el calentamiento; de no ser así, los rellenos periódicos de agua van depositando incrustaciones calcáreas en la caldera que pueden llegar a originar una avería de consecuencias económicas imprevisibles.

Según el sistema de absorber la dilatación del agua, las instalaciones pueden ser de dos tipos:

En circuito abierto y en circuito cerrado

Tabla VIII.2.- Dilatación del agua

Temperatura en ºC	*10*	*20*	*30*	*40*	*50*	*60*	*70*	*80*	*90*	*100*
Dilatación en %	*0,027*	*0,177*	*0,435*	*0,782*	*1,21*	*1,71*	*2,27*	*2,9*	*3,59*	*3,34*

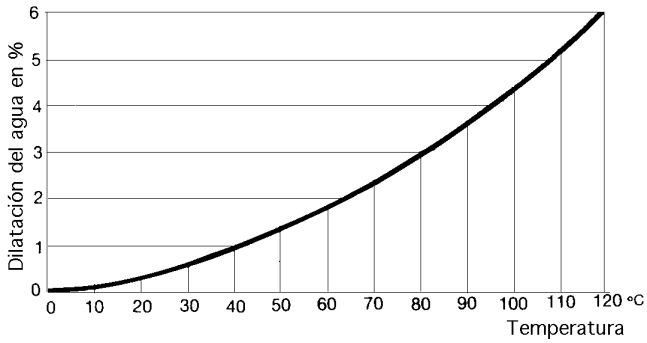


Fig VIII.9.- Valores de la dilatación del agua, función de la temperatura

a) INSTALACIONES EN CIRCUITO ABIERTO.- Las instalaciones en circuito abierto lo son a la atmósfera, y están equipadas con depósitos de expansión abiertos que se sitúan en el punto más alto de la instalación. No debe existir ningún órgano de cierre (válvulas) en los tubos de seguridad que comunican la caldera con el depósito de expansión; es admisible una válvula de tres vías siempre que se cierre la comunicación con el depósito y la otra vía se comunique con la atmósfera, Fig VIII.10.

Cálculo del volumen del depósito de expansión abierto.- Está reglamentado que el volumen comprendido entre la conexión de expansión y la de rebose, será al menos del orden del 6% del volumen total de la instalación, debiendo quedar siempre un volumen de agua mínimo de un 2% del volumen total de la instalación, cuando la temperatura del agua sea la del ambiente.

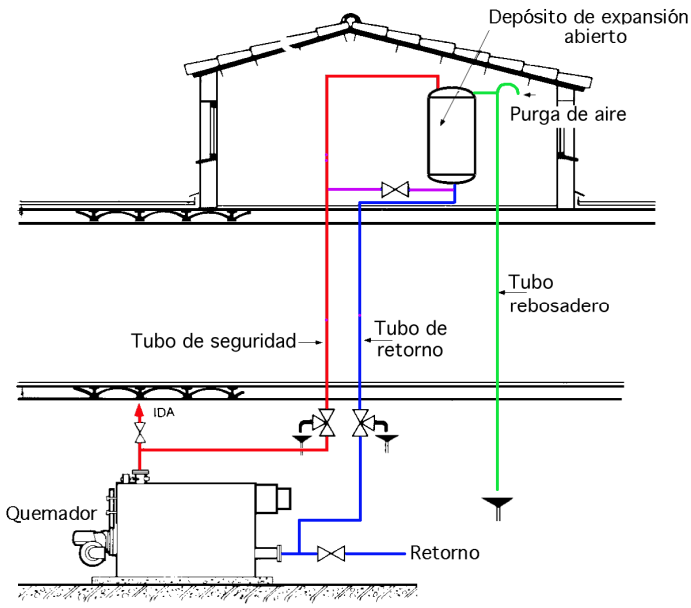


Fig VIII.10.- Instalación de calefacción con depósito de expansión abierto

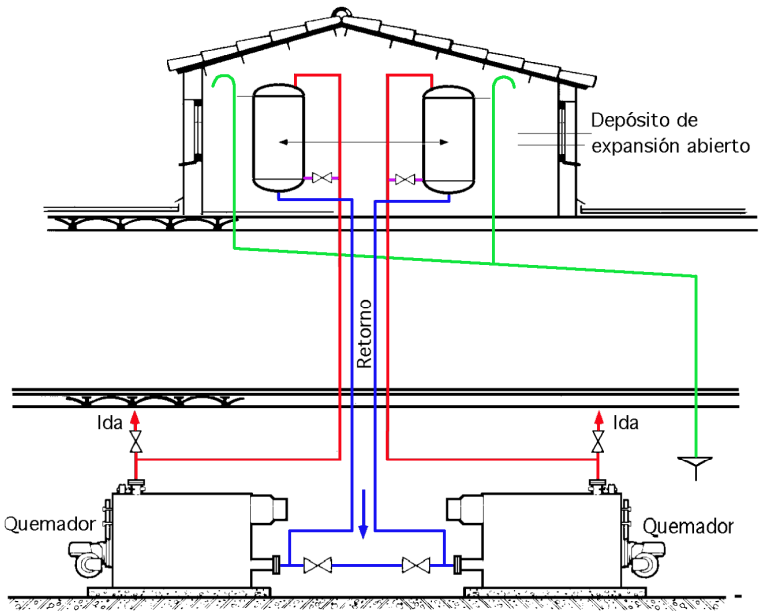


Fig VIII.11.- Instalación de calefacción con dos calderas y dos depósitos de expansión abiertos

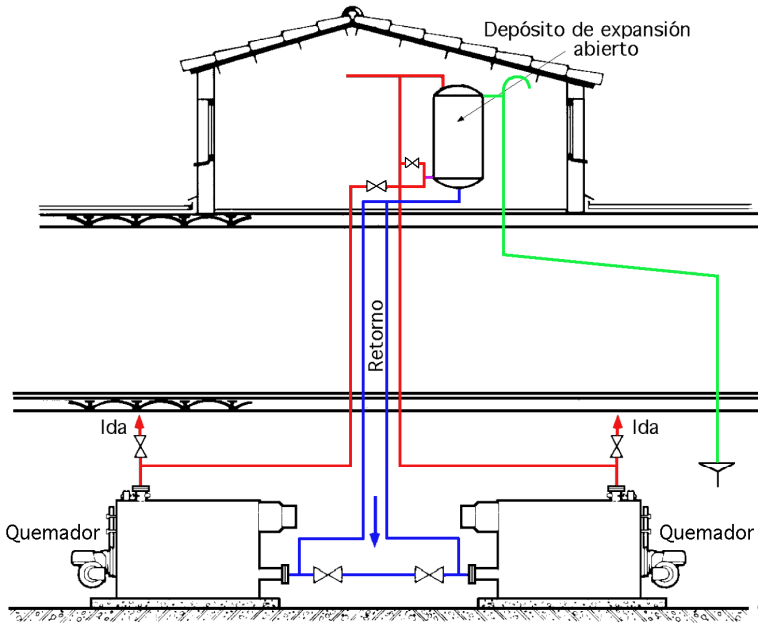


Fig VIII.12.- Instalación de calefacción con dos calderas y un depósito de expansión abierto

Capacidad depósito ≥ 6% x Volumen agua instalación

El volumen exacto del agua de la instalación se calcula conociendo la capacidad de la caldera, tuberías, emisores, etc; en forma aproximada, el volumen de agua V_i en una instalación, se calcula en la forma:

Para radiadores de:
$$\begin{cases} \text{Acero: } V_i = N \ \dfrac{16 \text{ litros}}{1000 \text{ Kcal/hora}} \\ \text{Fundición y paneles de acero: } V_i = N \ \dfrac{12 \text{ litros}}{1000 \text{ Kcal/hora}} \end{cases}$$

Ejemplo VIII.4.- *Determinar la capacidad de un depósito de expansión abierto sabiendo que:*

Los emisores son radiadores de acero

La potencia instalada en radiadores es de 185.000 Kcal/hora.

El volumen del agua de la instalación es: $V_i = N \frac{16 \text{ litros}}{1000 \text{ Kcal/hora}} = 185000 \frac{\text{Kcal}}{\text{hora}} \frac{16 \text{ litros}}{1000 \text{ Kcal/hora}} = 2960 \text{ litros}$

La capacidad del depósito de expansion es: $C = 2960 \text{ litros} \times 6\% = 177{,}6 \text{ litros} \approx 180 \text{ litros}$

por lo que la capacidad mínima del depósito debe ser de 180 litros

Dimensionado de las tuberías de seguridad.- Las dimensiones mínimas de los tubos de seguridad (diámetros interiores en mm) son las siguientes:

Diámetro de seguridad del tubo de expansión: $d_{int}\,(mm) = 15 + \sqrt{N}$, *con N en kW*

En el caso de instalar un tubo de circulación con peligro de helada, tubo de retorno de seguridad, la dimensión mínima será la siguiente:

Diámetro de seguridad del tubo de retorno: $d_{int}\,(mm) = 15 + \sqrt{N}$, *con N en kW*

Las tuberías A y B, Fig VIII.13, tienen un diámetro mínimo de 26 mm

Tabla VIII.3.- Diámetro de la tubería de expansión de seguridad

Hasta una potencia de caldera: (Kcal/hora) x 1000	*56*	*166*	*274*	*551*	*1106*	*1614*	*3398*
Diámetro de la tubería de expansión de seguridad	*1"*	*1,1/4"*	*1,1/2"*	*2"*	*2,1/2"*	*3"*	*4"*
Hasta una potencia de caldera: (Kcal/hora) x 1000	*128*	*375*	*617*	*1241*	*2489*	*3723*	
Diámetro de la tubería de expansión de seguridad	*1"*	*1,1/4"*	*1,1/2"*	*2"*	*2,1/2"*	*3"*	

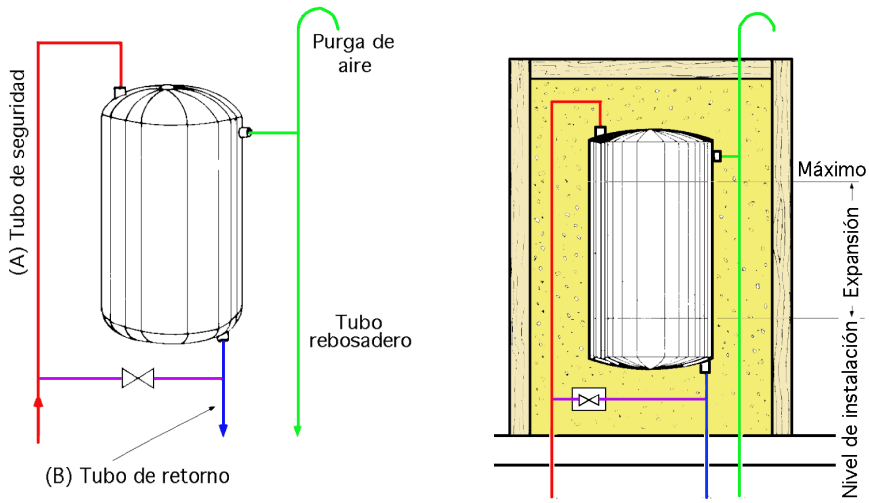


Fig VIII.13.- Tuberías conectadas a un depósito de expansión y aislamiento

El tubo rebosadero debe ser de igual medida que el de *ida* de seguridad.

En una instalación es muy importante un correcto dimensionado de las tuberías de seguridad, así como su conexión, ya que de ellas depende la seguridad de la caldera ante cualquier sobrepresión que pudiese existir, actuando como válvula de seguridad.

Se recomienda la secuencia de instalación, caldera-expansión-bomba circuladora.

Se desaconseja la alimentación automática de agua con válvula de flotador en el depósito.

Los depósitos de expansión abiertos deben de estar térmicamente aislados.

b) INSTALACIONES EN CIRCUITO CERRADO.- Las instalaciones de calefacción por agua caliente tienden a efectuarse en circuito cerrado, instalando depósitos de expansión cerrados, que presentan unas *ventajas* notables respecto a los depósitos abiertos, como:

- Fácil montaje, ya que normalmente se instalan en la misma sala de calderas

- No es necesario aislarlos térmicamente

- Al instalarse en circuitos cerrados, no absorben oxígeno del aire.

- Eliminan la necesidad de colocar los conductos de seguridad hasta lugares elevados de la instalación

- Eliminan las pérdidas de agua por evaporación, evitando la corrosión e incrustación provocada por el agua de reposición

Para su instalación se deberá tener en cuenta lo siguiente:

- Procurar efectuar el montaje en la tubería de retorno, en un punto cercano a la caldera, Fig VIII.14.

- Instalarlo en el lado de aspiración de la bomba circuladora

- La conexión del depósito se tiene que prever de forma que, en el mismo, no se puedan crear bolsas de aire.

- No debe existir ningún órgano de cierre (válvula) entre la caldera y el depósito de expansión, Fig VIII.15

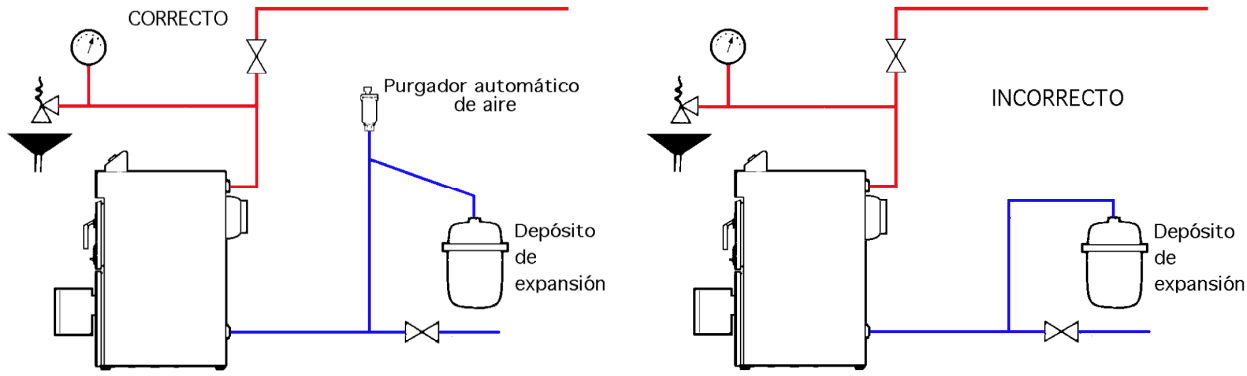


Fig VIII.14.- Instalación correcta e incorrecta de purgadores de aire en el depósito de expansión

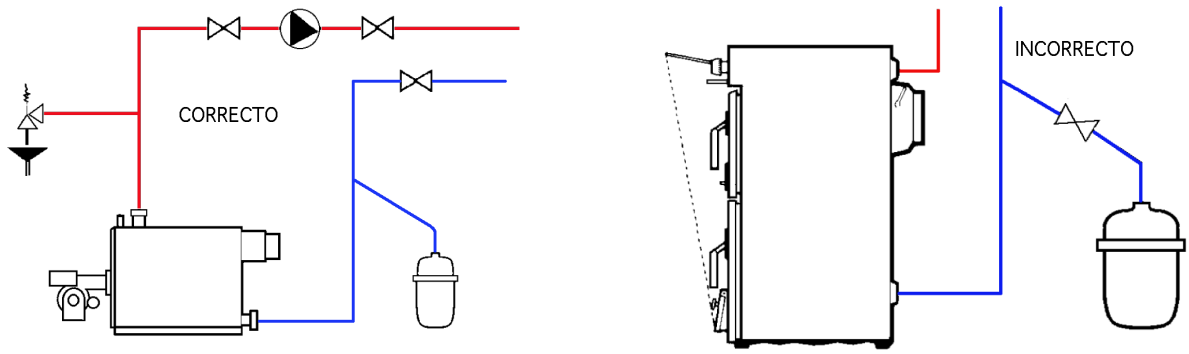


Fig VIII.15.- Instalación correcta e incorrecta de órganos de cierre en el depósito de expansión

En instalaciones de gran potencia de dos o más calderas, Fig VIII.16, se aconseja colocar un depósito de expansión para cada caldera, capaz de absorber la dilatación del agua de la caldera y de los tramos de tubería hasta llegar a las válvulas de cierre, y otro (principal) que debe colocarse en el colector de retorno para que absorba la dilatación del agua del resto de la instalación.

Debe instalarse una válvula de seguridad tarada a la presión máxima que permita el depósito de expansión, para el caso en que sea inferior a la máxima que permita la caldera. Si se actúa sobre el tornillo varía la presión de tarado.

Las válvulas de seguridad deben ser del tipo de tarado fijo y además que no se puedan manipular.

El lugar idóneo para la instalación de la válvula de seguridad es en la propia caldera o en la tubería de ida, lo más cerca posible de la caldera. No debe existir ninguna llave de cierre entre la válvula de seguridad y la caldera.

La descarga de la válvula de seguridad ha de ser visible, y debe hacerse sobre un embudo que se conducirá a un desagüe.

Antes de la puesta en marcha de la caldera, se debe comprobar la presión de apertura de la válvula de seguridad.

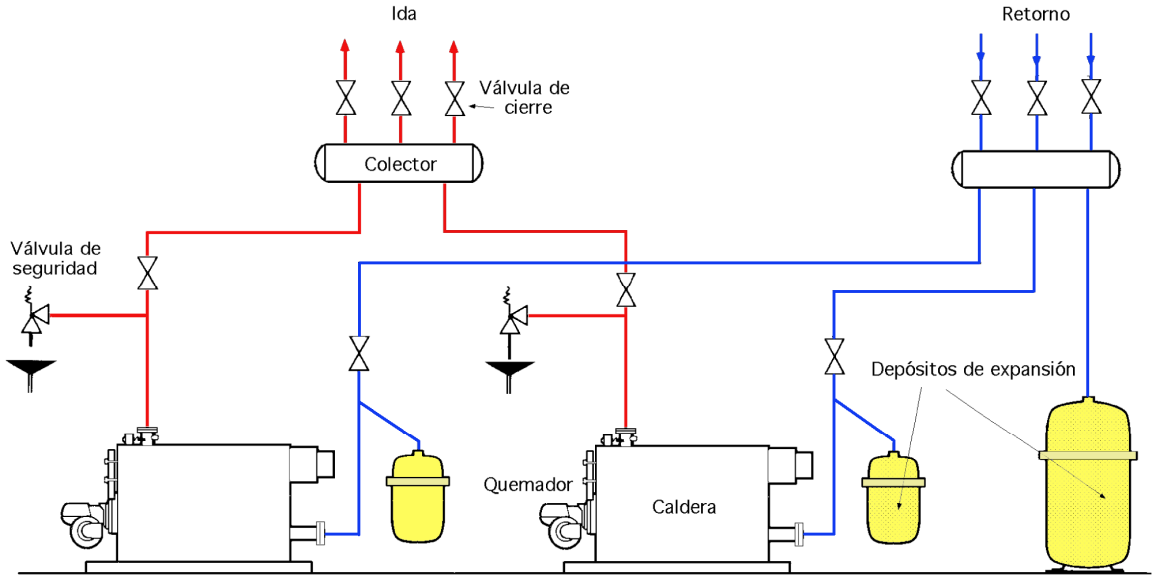


Fig VIII.16.- Instalación de depósitos de expansión cerrados, en una instalación de dos calderas

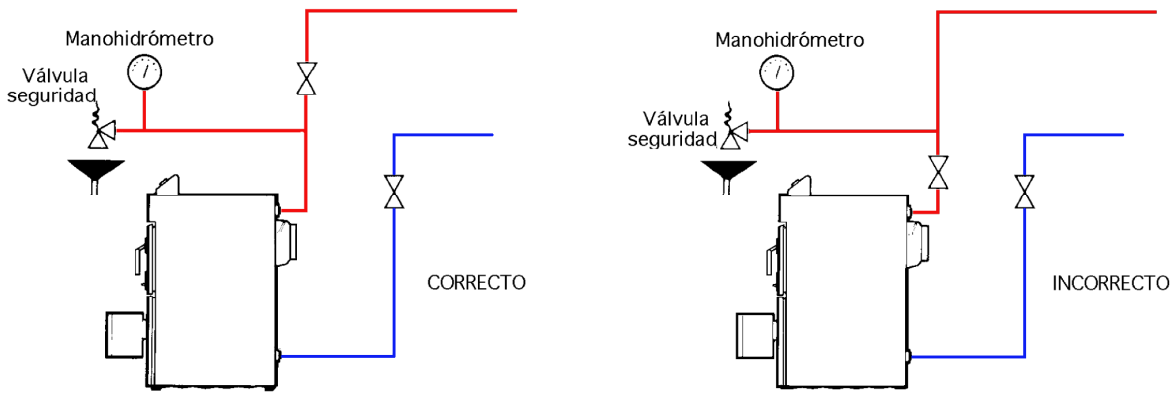


Fig VIII.17.- Instalación correcta e incorrecta de la válvula de seguridad

Dimensionado de la válvula de seguridad.- El diámetro de la válvula de seguridad, es función de la potencia de la caldera y de la presión de tarado de la válvula. Las dimensiones de algunas válvulas de seguridad y sus tarados vienen indicados en la Tabla VIII.4.

Tabla VIII.4.- Dimensionado de la válvula de seguridad

Diámetro de la válvula pulgadas	*Presión de tarado bars*	*Potencia máxima caldera Kcal/hora*
1/2	*3*	*108000*
3/4"	*3*	*185000*
1"	*3*	*320000*
1 1/4"	*3*	*550000*
1"	*4*	*395000*
1 1/4"	*4*	*680000*
1 1/2"	*4*	*1170000*
1 1/2"	*5*	*1400000*

Ejemplo VIII.5.- *Se dispone de una caldera de 165.000 Kcal/h, y presión máxima de trabajo de 5 kg/cm²*

El depósito de expansión es de 140 litros, con una presión máxima de trabajo 3 kg/cm²

Se deberá colocar una válvula de seguridad de 3/4" tarada a 3 kg/cm²

A continuación se presentan una serie de esquemas, Fig VIII.18,19,20, en los que se puede apreciar la correcta conexión de los depósitos de expansión cerrados en una instalación.

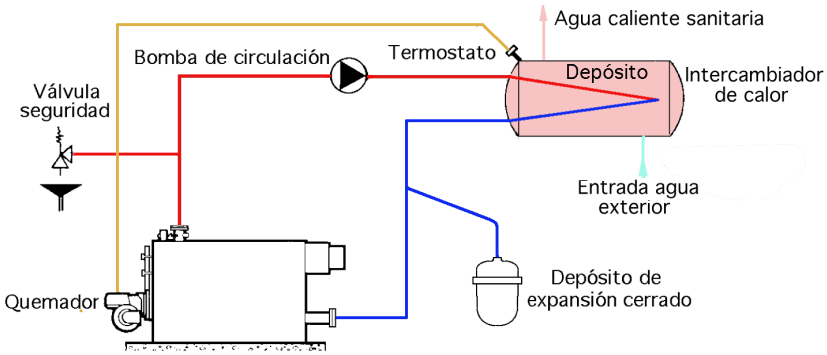


Fig VIII.18.- Instalación para producción de agua caliente sanitaria

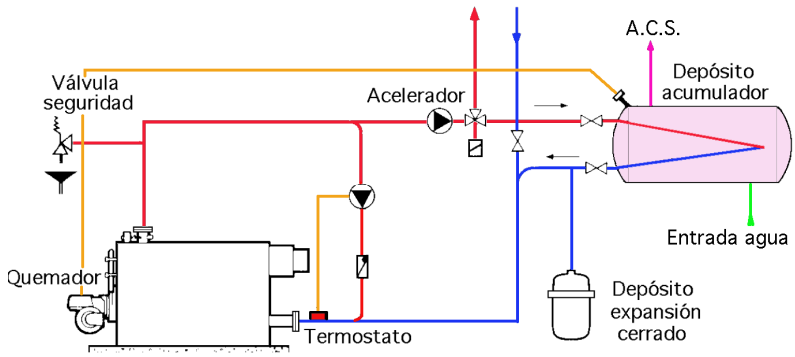


Fig VIII.19.- Instalación de calefacción y producción de agua caliente sanitaria

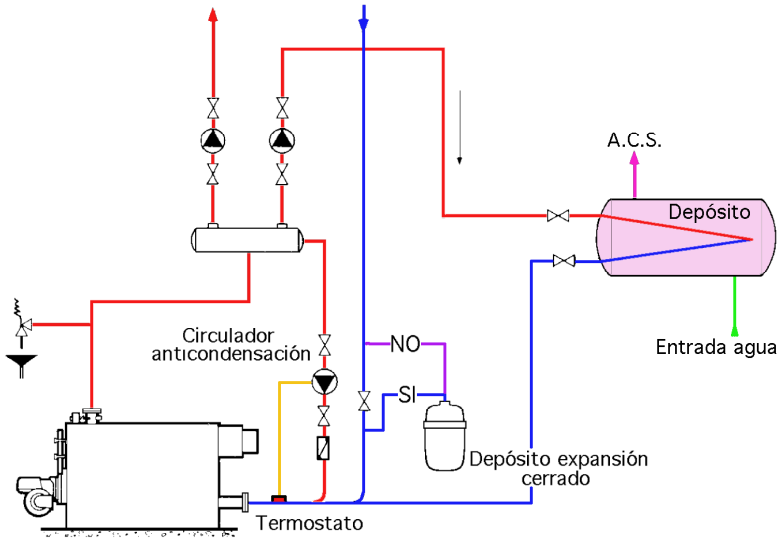


Fig VIII.20.- Instalación de calefacción y producción de agua caliente sanitaria
(Conexión depósito de expansión cerrado mal efectuada)

Instalacion defectuosa.- El depósito de expansión de la Fig VIII.18 está mal conexionado, dado que en verano al aislar el circuito de calefacción, (cierre de las válvulas de ida y de retorno), la instalación queda sin expansión por haber aislado el depósito de expansión.

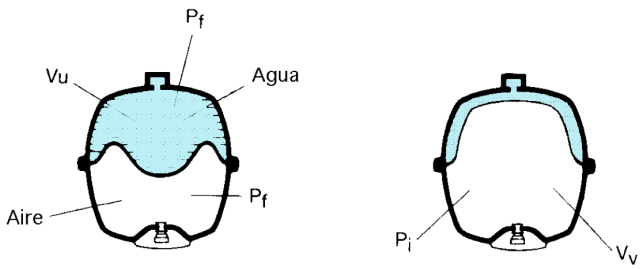


Fig VIII.21.- Capacidad del depósito de expansión

Cálculo y selección del depósito de expansión cerrado.- La capacidad útil del depósito de expansión cerrado tiene que ser igual, como mínimo, a la dilatación del agua de la instalación a la temperatura que se considere.

La expresión que proporciona el volumen de expansión V_u , Fig VIII.21, capacidad útil del depósito, es: $V_u = V_i\ \alpha\ \%$, *en la que:* $\begin{cases} V_u \text{ es el volumen de expansión (capacidad útil del depósito)} \\ V_i \text{ es el volumen del agua de la instalación} \\ \alpha\ \% \text{ es el coeficiente de dilatación del agua} \end{cases}$

También es necesario determinar el *coeficiente de utilización* $\eta_{utilización}$, que depende de la altura manométrica de la instalación y de la presión máxima de trabajo (tarado de la válvula de seguridad del vaso).

$$\eta_{utilización} = \frac{p_f - p_i}{p_f} = \frac{V_u}{V_v} \text{ , siendo } \begin{cases} p_f \text{ , la presión absoluta máxima de trabajo} \\ p_i \text{ , la presión absoluta correspondiente a la altura manométrica} \\ V_u \text{ , la capacidad útil del depósito} \\ V_v \text{ , la capacidad total del depósito} \end{cases}$$

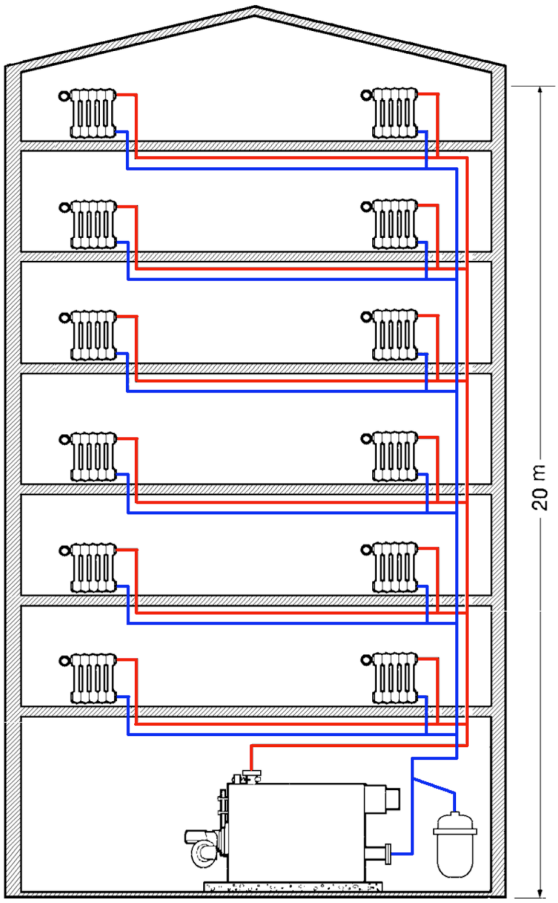


Fig VIII.22

Ejemplo VIII.6.- *Se trata de determinar la capacidad del vaso de expansión en la instalación que se presenta en la Fig VIII.22, de la que se conocen los siguientes datos:*

Altura manométrica 20 m

Volumen total del agua de la instalación 590 litros

Temperatura 90°C / 70°C

Presión máxima de trabajo: 3 kg / cm²

Cálculo del volumen del vaso de expansión:

El coeficiente de dilatación, a la temperatura media de 80°C, según la Tabla VIII.2 o la Fig VIII.9 es de 2,9%, por lo que:

$$V_u = \frac{2{,}9 \times 590}{100} = 17{,}1 \text{ bars}$$

Coeficiente de utilización: $r = \frac{4 - 3}{4} = 0{,}25$

Capacidad total del depósito: $V_v = \frac{V_u}{r} = \frac{17{,}1}{0{,}25} = 68{,}4 \text{ litros}$

VIII.3.- CALCULO DEL CIRCULADOR

La misión del *circulador* en una instalación de calefacción por agua caliente, consiste en superar las resistencias que ofrece el circuito a la circulación del fluido por su interior. Si se eligen diámetros muy pequeños de tubería, la red resulta económica, pero las velocidades de circulación y, por tanto, las pérdidas de presión serán importantes y las características hidráulicas del circulador serán más elevadas. El caso contrario conlleva pequeñas velocidades, pero redes con diámetros mayores, por lo que hay que llegar a un equilibrio de todos los parámetros, para que la red sea más ventajosa.

El caudal de agua Q viene determinado por:

$$Q = \frac{N}{c_{agua}\ \gamma_{agua}\ \Delta T}$$

en la que:

- Q , *caudal en lit / hora*
- N , *potencia caldera en Kcal / hora*
- ΔT , *es el salto térmico de la instalación* (T_{ida} - $T_{retorno}$)
- c_{agua} , *calor específico Kcal / kg°C = 1 para el agua*
- λ_{agua} , *peso específico en kg / dm³ = 1 para el agua*

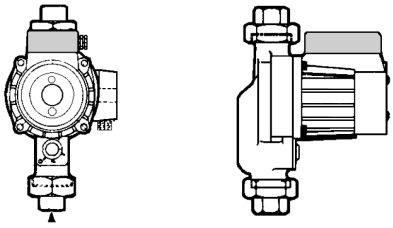


Fig VIII.23.- Circulador

Para fijar el caudal horario no se tiene en cuenta el volumen de agua contenido en la instalación.

El comportamiento del circulador en funcionamiento viene determinado por su curva característica y la del circuito de tubos, cuya intersección indica el punto de funcionamiento.

VIII.4.- CALCULO DE TUBERIAS

Por la red de tubos de una instalación de calefacción circula el fluido calefactor que es portador de la energía calorífica desde el generador hasta los emisores.

Pérdidas de carga y de presión.- Cuando un fluido circula por el interior de un tubo recto de sección uniforme en toda su longitud, su presión disminuye.

Si L es la longitud del tubo expresada en metros, p_1 la presión inicial y p_2 la final, la caída de presión es $= p_1 - p_2$

La pérdida de carga J depende de la longitud L, del diámetro interior del tubo D, de la velocidad v_F, del peso específico γ del fluido, de la aceleración de la gravedad g, y del coeficiente λ de rozamiento del tubo. Estos parámetros se relacionan según la expresión de la pérdidad de carga J por unidad de longitud, de la forma:

$$J = \frac{p_1 - p_2}{L} = \frac{\lambda\ v_F^2\ \rho\ L}{2\ D}$$

Aplicando esta igualdad para el fluido calefactor agua ($\rho = 1$) y por metro lineal de tubo, resulta:

$$J = 0{,}0827\ \frac{\lambda\ Q^2}{D^5} = k\ Q^2\ \ (Darcy)$$

El coeficiente de rozamiento λ depende del estado de la tubería y del régimen de la corriente que circula por ella.

En una corriente lenta en tubería recta, sus trayectorias son siempre paralelas al eje del tubo.

El estado de la corriente se describe mediante el número de $Re = \frac{v_F\ D}{\eta}$, siendo:

- v_F *la velocidad del fluido en m/seg*
- *D el diámetro interior en metros*
- η *la viscosidad cinemática en* m^2/seg.

En los ábacos que se exponen, se indica la pérdida de carga en tuberías de cobre para una temperatura del agua de 40ºC, y pérdidas de presión y velocidad en tuberías de acero con temperatura del agua de 80ºC.

Ejemplo VIII.7.- *Aplicación ábaco: Tubo DN 50,* $\begin{cases} \text{Pérdida de carga, } J = 8{,}1 \text{ mm c.a.} \\ \text{Caudal 4.500 kg/hora} \\ \text{Velocidad agua, } v_F = 0{,}62 \text{ m/seg.} \end{cases}$

La transición de régimen laminar a turbulento se alcanza para Re = 2.000.

En régimen laminar el coeficiente de rozamiento λ sólo depende de Re, y se expresa por ecuación de Poiseuille:

$$\lambda = \frac{64}{Re}$$

La caída de presión en una resistencia aislada se determina en la forma: $J = \varepsilon \frac{\gamma v_F^2}{2g}$, en la que ε es un coeficiente de resistencia, que no depende de Reynolds, y sí de la forma constructiva de la resistencia que se trate.

En tubos de sección circular y rectos, por debajo de este valor, el régimen de la corriente es siempre laminar; en tuberías industriales para Re > 3000 la corriente se considera turbulenta.

VIII.5.- REGULACION, CONTROL Y SEGURIDAD DE LA CALDERA

Las calderas que funcionan con combustibles fluidos (gasóleo, fuel o gas), llevan un termostato de regulación y otro de seguridad. Ambos se conexionan en serie; ante cualquier avería que pudiese tener el de regulación, el de seguridad actuaría bloqueando el quemador.

El termostato de seguridad es de rearme manual.

Los bulbos de los termostatos deben estar bien introducidos en su vaina.

Las calderas que funcionan con sólidos deben tener un regulador automático de temperatura que, según sea la temperatura del agua de la caldera, dejará pasar, automáticamente, más o menos aire a través de la compuerta existente en la puerta cenicero, avivando o reduciendo la llama de la combustión. Todas las calderas deben tener un termómetro y un manohidrómetro o un termohidrómetro, para saber en cualquier momento la temperatura y presión a que se encuentra el agua de la caldera.

De no estar situado el manohidrómetro en la caldera, debe situarse en la tubería de ida, cerca de la caldera, no debiendo existir ninguna llave de cierre entre éste y la caldera.

Cuando se vaya a efectuar la puesta en marcha de una caldera funcionando con combustibles fluidos hay que comprobar el perfecto funcionamiento de los termostatos, tanto el de regulación como el de seguridad.

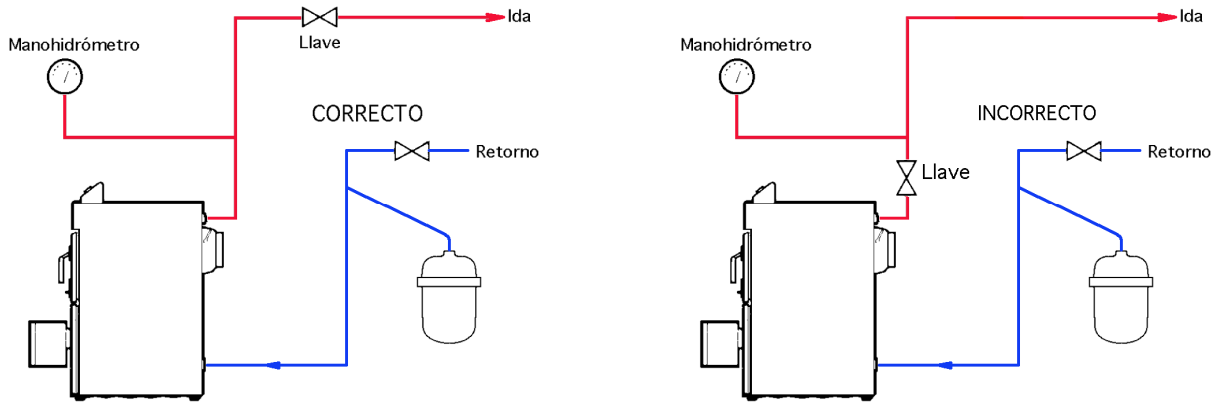


Fig VIII.24.- Instalación correcta e incorrecta del manohidrómetro

En ciertas instalaciones de circuito cerrado, se debe comprobar la presión de apertura de la válvula de seguridad; para ello se abre la válvula de llenado de agua de la instalación, y se observa la

presión que indica el manohidrómetro cuando se inicia la apertura, que se podrá apreciar por el goteo en la conexión de descarga.

Las presiones de apertura dependen del grado de tarado, y deben estar comprendidas entre:

Taradas a 3 bar, entre 2,9 y 3,3 bar

Taradas a 4 bar, entre 3,8 y 4,2 bar

Taradas a 5 bar, entre 4,8 y 5,2 bar

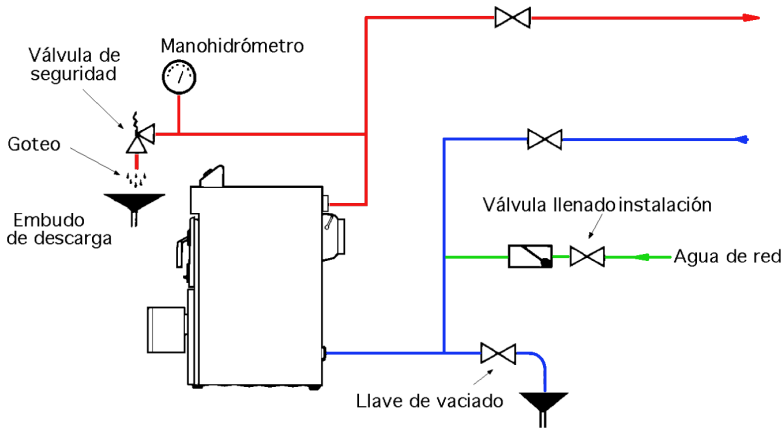


Fig VIII.25.- Comprobación apertura válvula de seguridad

Una vez efectuada la prueba de apertura de la válvula de seguridad, Fig VIII.25, se deberá cerrar la válvula de llenado y eliminar el exceso de presión abriendo la llave de vaciado y controlar el índice del manohidrómetro dejándolo entre 0,2 a 0,4 bar por encima de la altura manométrica de la instalación.

En instalaciones con circuito abierto a la atmósfera, antes de la puesta en marcha de la caldera se debe verificar que no esté obstruida la tubería de expansión de seguridad, observándose la altura manométrica de la instalación en el manohidrómetro. Se abre la llave de llenado de agua, y se observa que no aumenta la presión y que sale agua por el tubo rebosadero del depósito abierto, Fig VIII.26.

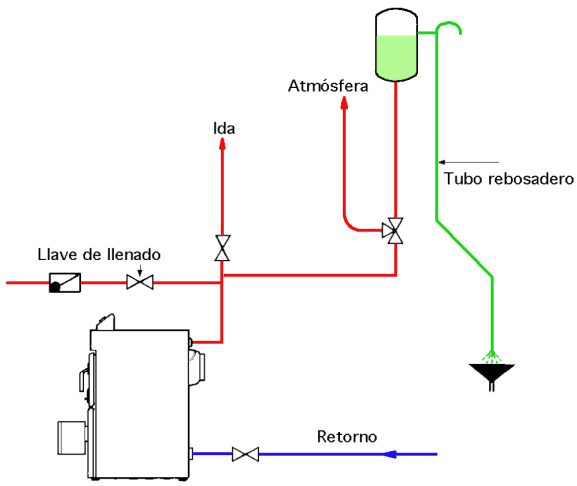


Fig VIII.26.- Comprobación de la expansión en circuito abierto

Instalación en azoteas.- Cuando se instalen calderas en azoteas, además de los elementos de seguridad propios de cada instalación, es imprescindible instalar en el punto más alto de la instalación un separador centrífugo de aire con purgador automático (en ida y retorno) y un presostato o un interruptor de nivel, Fig VIII.27 y 28.

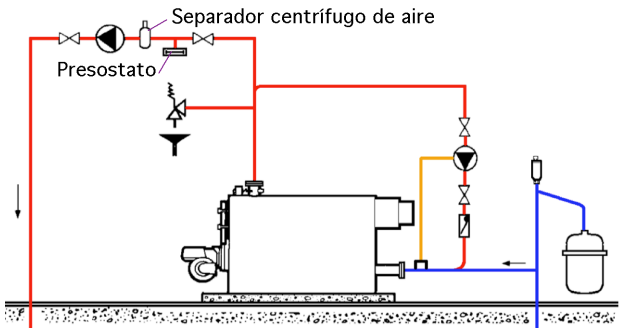


Fig VIII.27.- Instalación en azotea con presostato

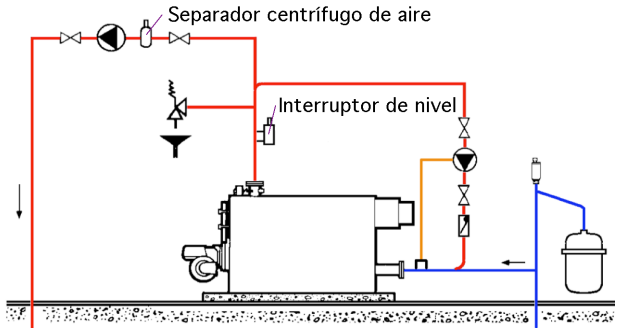


Fig VIII.28.- Instalación en azotea con interruptor de nivel

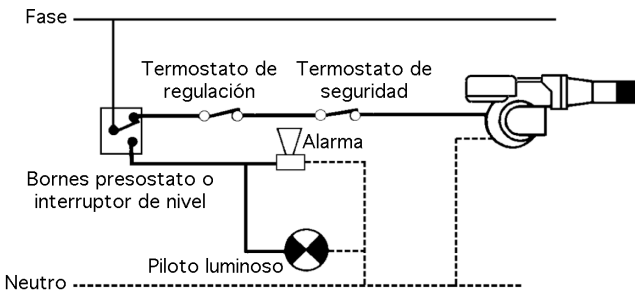


Fig VIII.29.- Esquema de conexionado

Las ***conexiones eléctricas*** de estos elementos deben colocarse en serie con la alimentación eléctrica del quemador, Fig VIII.29. Su misión es provocar el paro del quemador, cuando exista falta de agua en la instalación, ya que en caso contrario existe el peligro de que la caldera se averíe, por falta de agua debida a cualquier fuga existente en la instalación.

Tabla VIII.5.- Valores de ε de las resistencias simples

Símbolo	*Resistencia simple*	ε
	Pieza T (1), en ángulo recto derivación, división	*1,5*
	Pieza T (1), en ángulo recto derivación, unión	*1*
	Pieza T (1), en ángulo recto paso, división	*0*
	Pieza T (1), en ángulo recto paso, unión	*0,5*
	Pieza T (1), en ángulo recto cruce, entrada o salida por ambos extremos de la T	*3*
	Caldera	*2,5*
	Radiadores	*3*
	Unión con aumento de sección	*1*
	Unión con disminución de sección	*0,5*
	Doble curva (180°)	*2*

(1) En las piezas T el valor de ε es válido considerando la velocidad de la corriente total.

*Tabla VIII.6.- Valores de pérdidas accidentales (*Valores diferentes para cada fabricante)*

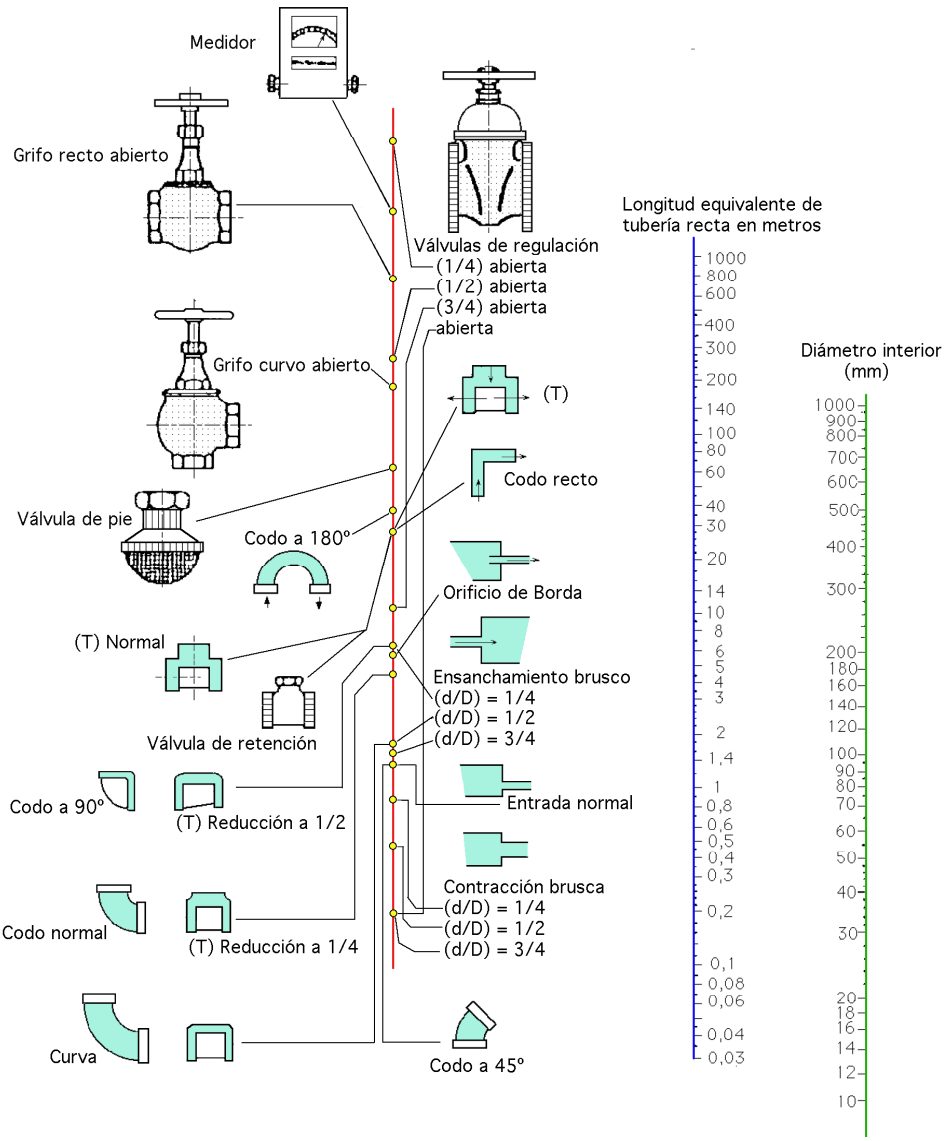
DIAMETRO TUBERíA	*3/8"*	*1/2"*	*3/4"*	*1"*	*1 1/4"*	*1 1/2"*	*2"*
Codo 90°	*2,5*	*2*	*1,5*	*1,5*	*1*	*1*	*1*
Soldadura circular	*0,5*	*0,5*	*0,4*	*0,4*	*0,3*	*0,3*	*0,2*

Válvula compuerta	*1,5*	*1*	*0,5*	*0,5*	*0,3*	*0,3*	*0,3*
** Llave radiador paso escuadra*	*8*	*7*	*4*	*8*			
** Llave radiador paso recto*	*13*	*11*	*15*	*12*			

Tabla VIII.7.- Valores de pérdidas accidentales en codos y curvas

RESISTENCIAS SIMPLES DE COBRE en m de longitud equivalente de tubo					
DIAMETRO DEL TUBO	*10/12*	*12/14*	*13/15*	*14/16*	*16/18*
CODO 90°	*0,45*	*0,5*	*0,5*	*0,6*	*0,7*
CURVA 45°	*0,3*	*0,35*	*0,4*	*0,4*	*0,5*
CURVA 90°	*0,4*	*0,45*	*0,5*	*0,5*	*0,55*
Te	*0,14*	*0,16*	*0,18*	*0,2*	*0,22*
Te	*0,65*	*0,75*	*0,8*	*0,9*	*1*
VALVULA PASO RECTO	*0,6*	*0,7*	*0,8*	*0,9*	*1,1*

Abaco para la determinacion de pérdidas de carga en accesorios, en m de longitud equivalente de tubería



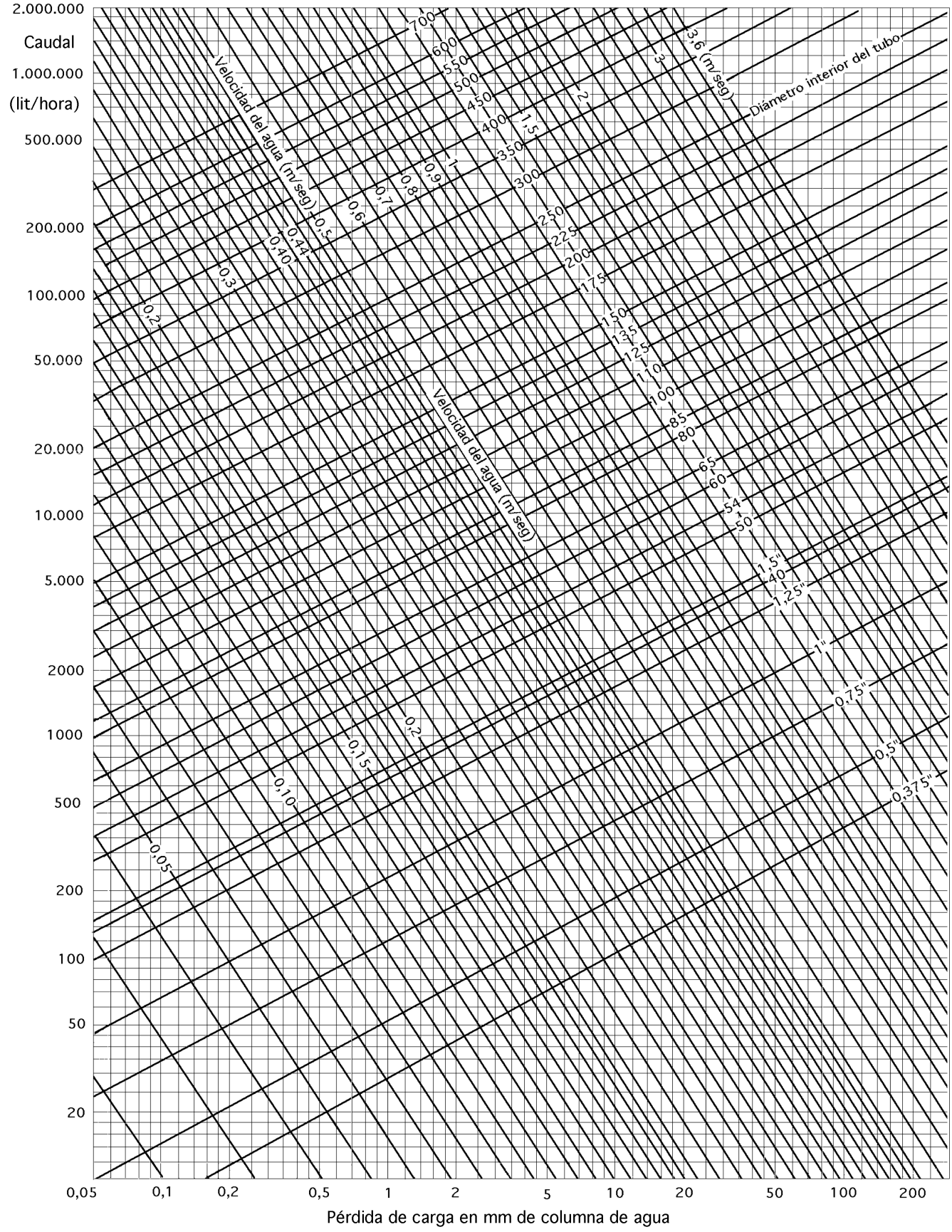


Fig VIII.30.- Diagrama de pérdidas de carga y velocidad del agua en tubos de acero para una temperatura del agua de 80ºC

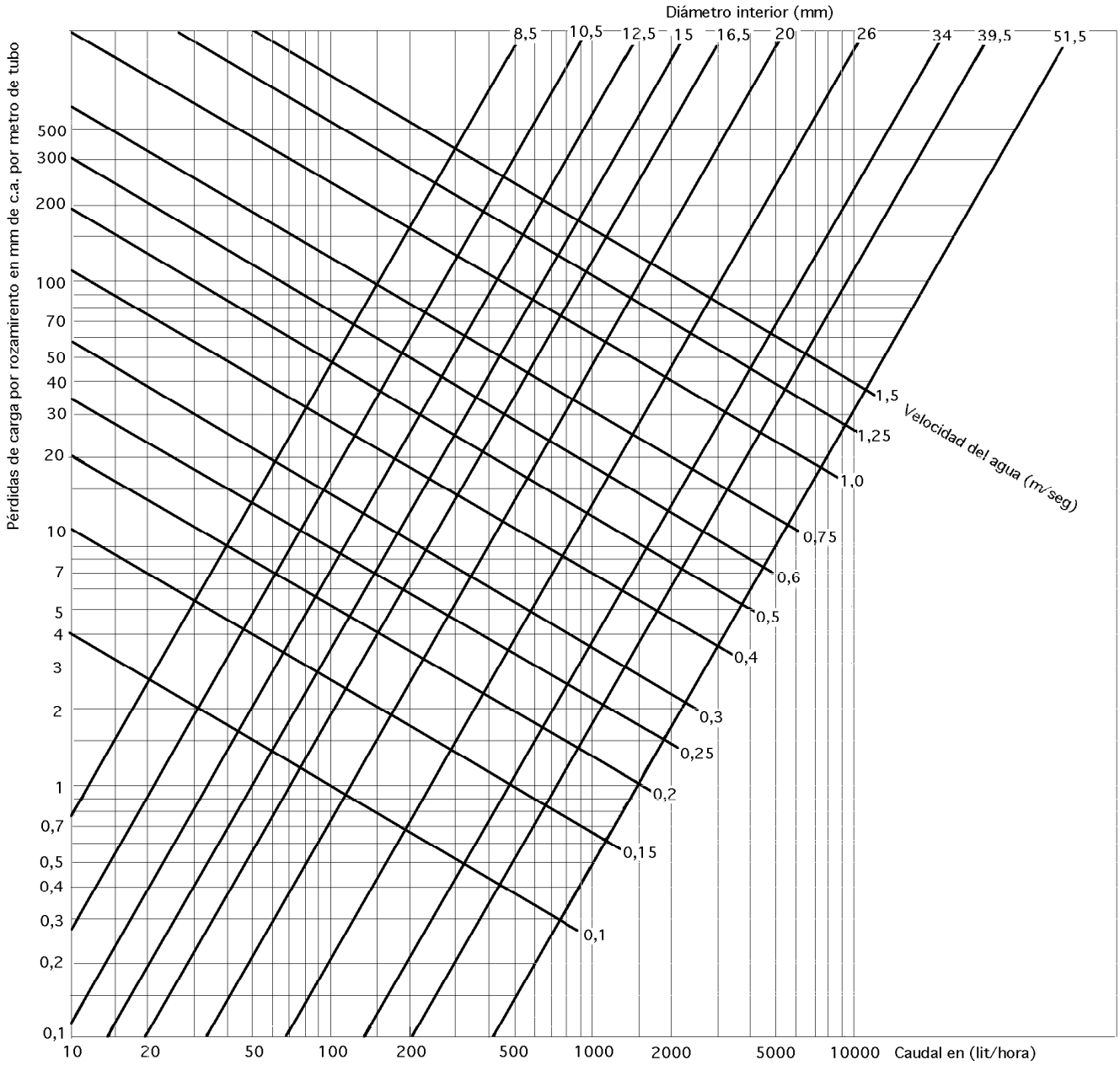


Fig VIII.31.- Diagrama de pérdidas de carga en tubos de cobre para una temperatura del agua de 40ºC