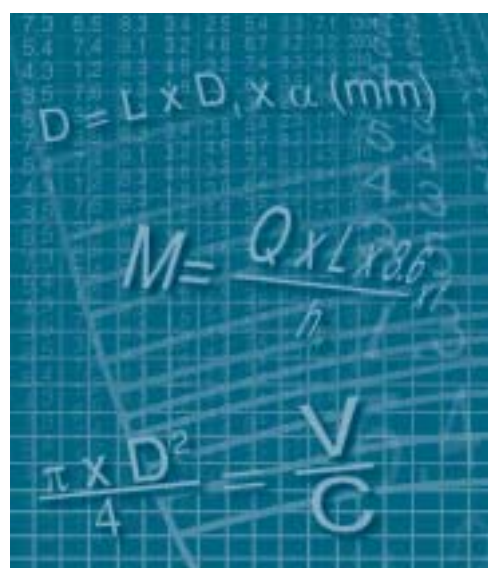


DISTRIBUCION DEL VAPOR



Contenido

Introducción	2
Distribución del vapor	2
Fundamentos de los sistemas de vapor	2
Presión de trabajo	4
Determinación de la presión de trabajo	4
Reducción de presión	6
Dimensionado de tuberías	7
Efectos del sobredimensionado y subdimensionado de tuberías	7
Estándares y espesores de tubería	8
Dimensionado de tuberías según la velocidad del vapor	9
Dimensionado de tuberías según la caída de presión	11
Dimensionado de líneas de distribución más largas y de mayor diámetro	12
Líneas de distribución y purga	17
Puntos de purga	18
Golpe de ariete y sus efectos	19
Derivaciones	21
Conexiones de derivaciones	22
Drenaje de derivación	23
Elevación del terreno y purga	23
Separadores de gotas	24
Filtros	26
Método de purga de línea	28
Selección de purgadores	29
Fugas de vapor	30
Resumen	31
Dilatación y soporte de tuberías	33
Dilatación	33
Flexibilidad de la tubería	34
Accesorios de dilatación	37
Distancia entre soportes de tubería	40
Eliminación de aire	44
Reducción de pérdidas de calor	46
Cálculo de la transferencia de calor	47
Normativas de UK e internacionales	48
Sumario	51
Apéndice 1 – Dimensionado según la capacidad y la caída de presión de las tuberías	52
Información adicional	57

Introducción

Distribución del vapor

El sistema de distribución de vapor es un enlace importante entre la fuente generadora del vapor y el usuario. La fuente generadora del vapor puede ser una caldera o una planta de cogeneración. Esta, debe proporcionar vapor de buena calidad en las condiciones de caudal y presión requeridas, y debe realizarlo con las mínimas pérdidas de calor y atenciones de mantenimiento.

Esta guía observa la distribución de vapor saturado seco como un transporte de energía calorífica al lugar de utilización, para aplicaciones de intercambio de calor o de calefacción de espacios y cubre los temas relacionados con la puesta en práctica de un sistema eficiente de distribución de vapor.

Fundamentos de los sistemas de vapor

Es imprescindible que desde un principio, se comprenda el circuito de vapor básico, o más bien, el 'circuito de vapor y condensado'. El flujo de vapor en un circuito es debido a la condensación del vapor, que provoca una caída de presión. Esto induce el flujo del vapor a través de las tuberías.

El vapor generado en la caldera debe ser conducido a través de las tuberías hasta el punto en que se requiere esta energía calorífica. Inicialmente habrá una o más tuberías principales que transporten el vapor de la caldera en la dirección de la planta de utilización del vapor. Otras tuberías derivadas de las primeras pueden transportar el vapor a los equipos individuales.

Cuando la válvula de salida de la caldera está abierta, el vapor pasa inmediatamente de la caldera a las tuberías principales. La tubería está inicialmente fría y, por tanto, el vapor le transfiere calor. El aire que rodea las tuberías está más frío que el vapor y en consecuencia, la tubería transfiere calor al aire.

Como el vapor fluye hacia un medio más frío, comenzará a condensar inmediatamente. En la puesta en marcha del sistema, la cantidad de condensado será la mayor, debido a que el vapor se utiliza para el calentamiento de la tubería fría – a esto se le conoce como 'carga de puesta en marcha' -. Cuando la tubería se haya calentado, aún habrá condensación, ya que la tubería seguirá cediendo calor al aire que la rodea – esto se conoce por 'carga de funcionamiento' -.

El condensado que resulta, va a parar a la parte inferior de la tubería y es arrastrado a lo largo de ésta por el flujo de vapor y por la gravedad, debido al gradiente en la conducción de vapor que normalmente disminuirá en la dirección del flujo de vapor. Deberá entonces purgarse el condensado de los puntos bajos de la tubería de distribución.

Cuando la válvula de la tubería de vapor que alimenta a un equipo de la planta está abierta, el flujo de vapor que proviene del sistema de distribución entra a la planta y de nuevo entra en contacto con superficies más frías. Entonces el vapor cede su energía para calentar el equipo (carga de puesta en marcha) y continúa transfiriendo calor al proceso (carga de funcionamiento) y condensando en agua (condensado).

En este momento hay un flujo continuo de vapor desde la caldera para satisfacer la carga conectada y para mantener este suministro deberá generarse más vapor. Para hacerlo, será necesario alimentar la caldera con más combustible y bombear más agua a su interior para reemplazar el agua que ha sido evaporada.

El condensado formado tanto en la tubería de distribución como en los equipos de proceso, es agua ya caliente y preparada para la alimentación de la caldera. Aunque es importante evacuar el condensado del espacio del vapor, se trata de un elemento demasiado valioso como para permitirnos desaprovecharlo. El circuito de vapor básico debe completarse con el retorno del condensado al tanque de alimentación de la caldera, siempre que sea factible.

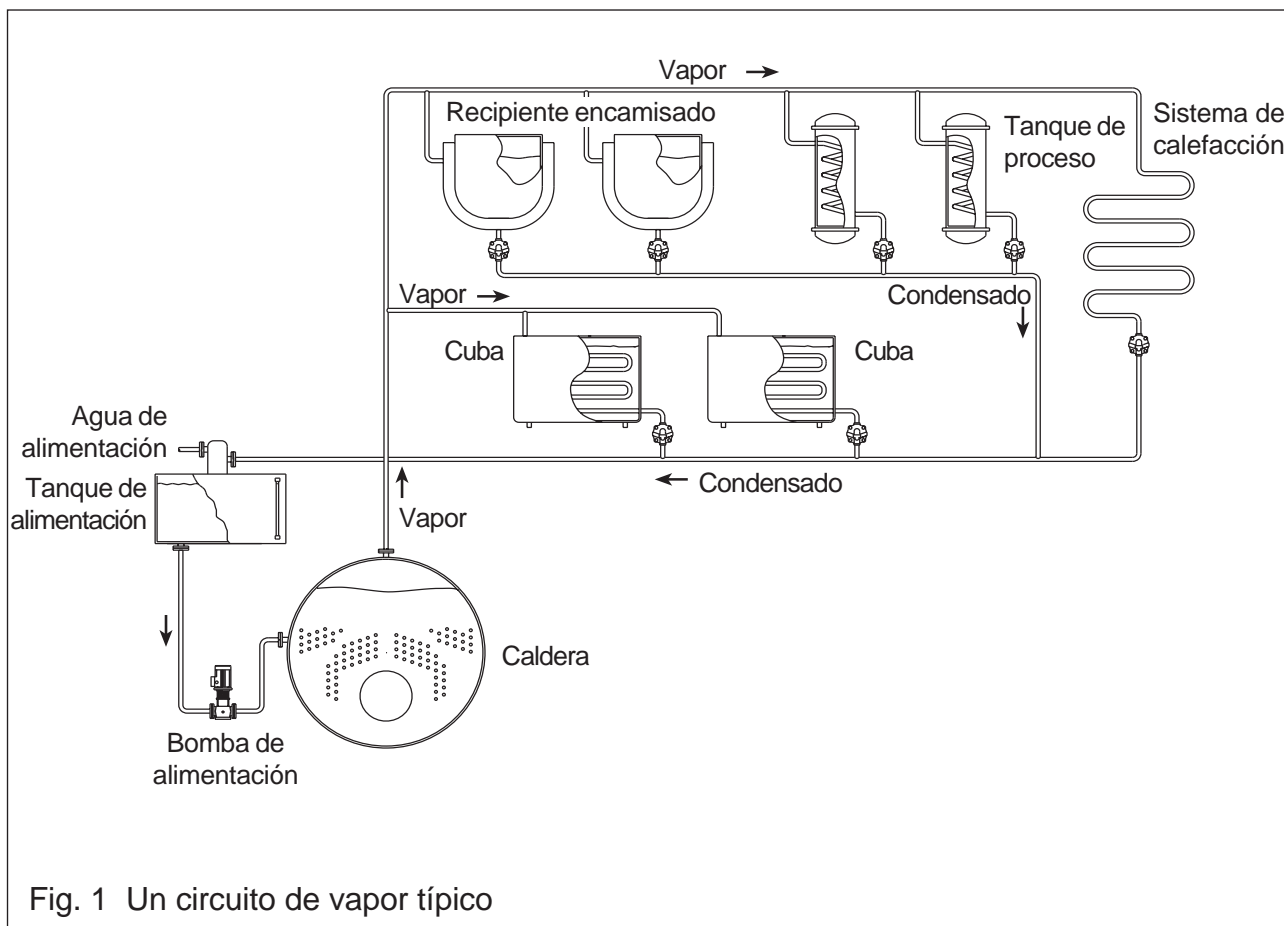


Fig. 1 Un circuito de vapor típico

Presión de trabajo

Determinación de la presión de trabajo

La presión a la que el vapor debe distribuirse está parcialmente determinada por el equipo de la planta que requiere una mayor presión.

Debe recordarse que el vapor perderá una parte de su presión al pasar por la tubería, a causa de la resistencia de la tubería al paso del fluido, y a la condensación por la cesión de calor a la tubería. Deberá tenerse en cuenta este margen a la hora de decidir la presión inicial de distribución.

Para resumir estos puntos, cuando seleccione la presión de trabajo, debe tenerse en cuenta lo siguiente:

- Presión requerida en el punto de utilización.
- Caída de presión a lo largo de la tubería debida a la resistencia al paso del fluido.
- Pérdidas de calor en la tubería.

El vapor a alta presión ocupa menos volumen por kilogramo que el vapor a baja presión. Por tanto, si el vapor se genera en la caldera a una presión muy superior a la requerida por su aplicación, y se distribuye a esta presión superior, el tamaño de las tuberías de distribución será mucho menor para cualquier caudal. La Figura 2 ilustra este punto.

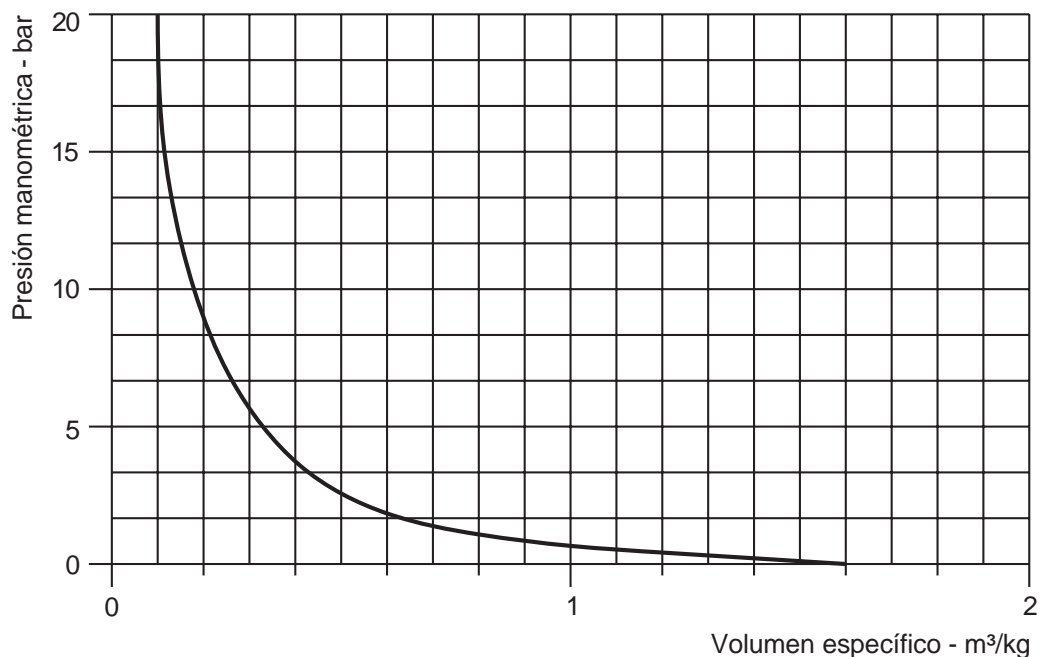


Fig. 2 Vapor saturado seco - relación presión / volumen específico

La generación y distribución de vapor a una presión elevada tendrá las siguientes ventajas:

- Se requieren tuberías de distribución de vapor de menor diámetro. Al tener una superficie de intercambio menor, las pérdidas de calor (energía) serán menores.
- Menor coste de las líneas de distribución, en materiales como tuberías, bridas, soportes, y mano de obra.
- Menor coste del aislamiento.
- Vapor más seco en el punto de utilización, debido al efecto de aumento de fracción seca que tiene lugar en cualquier reducción de presión.
- La capacidad de almacenamiento térmico de la caldera aumenta y ayuda a soportar de forma más eficiente las fluctuaciones de carga, reduciendo el riesgo de arrastres de agua y de impurezas con el vapor a condiciones máximas.

Si se distribuye a altas presiones, será necesario reducir la presión de vapor en cada zona o punto de utilización del sistema, con el fin de que se ajuste a lo que la aplicación requiere.

Al elevar la presión del vapor, los costes serán más altos también, pues ello requiere más combustible. Siempre es prudente comparar los costes que representa elevar la presión del vapor a la máxima presión necesaria (quizás la máxima presión del equipo), con cada uno de los beneficios potenciales mencionados anteriormente.

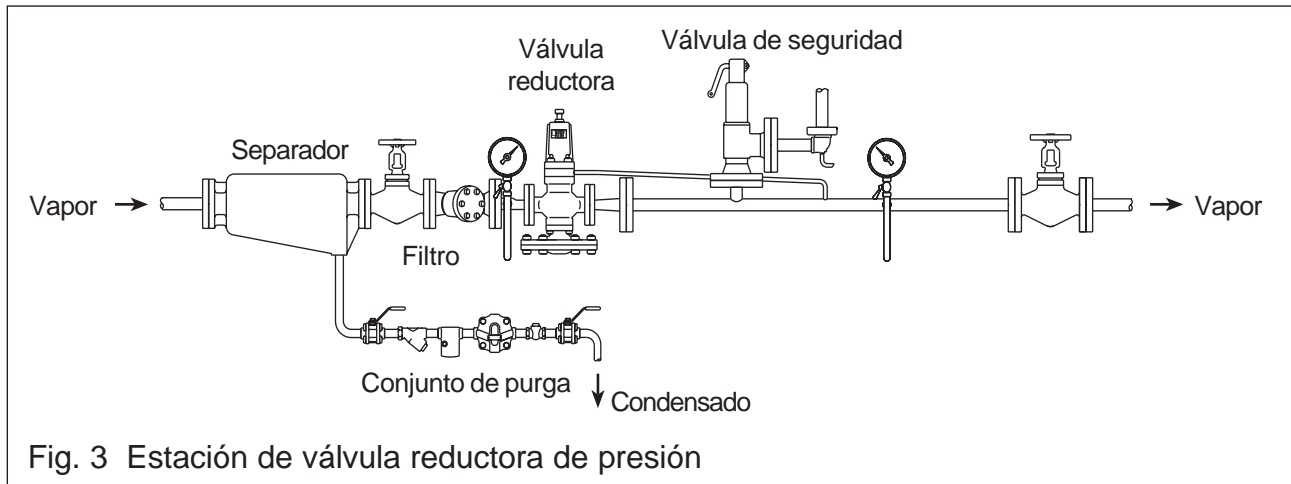
Por ejemplo, si se requiere vapor a sólo 4 bar r, se aconsejará al diseñador que compare las ventajas de generar y distribuir vapor a esta presión respecto a hacerlo a una presión mayor. La evaluación del ciclo de vida efectivo se basará en la comparación entre los gastos e ingresos frente a los beneficios técnicos, relativos al tamaño y el tipo de sistema y factores de utilidad y diversidad.

Si está comprobado, en este caso que distribuir vapor a 4 bar r es perfectamente factible, entonces esta es la presión a la que la caldera debería estar especificada para trabajar. Sin embargo, las calderas no suelen hacerse a medida. En este caso sería necesario procurarse una caldera en la banda de presión inmediatamente superior. Puede ser tentador hacer funcionar la caldera a una presión inferior, pero debemos entender que puede no ser posible obtener la presión deseada sin detrimento de la calidad del vapor.

Se dará con frecuencia el caso de que por razones técnicas sea beneficiosa la distribución del vapor a presiones más altas que la máxima presión requerida. Esta situación requerirá que la presión de vapor se reduzca en el punto de utilización para ajustarse a los requerimientos de los equipos.

Reducción de presión

El método más común de reducir la presión es la utilización de una estación reductora de presión, similar a la que se muestra en la Figura 3.



Antes de la válvula reductora se utiliza un separador para eliminar el agua que arrastra el vapor que entra, permitiendo que sólo el vapor seco saturado pase a través de la válvula reductora. Esto se verá detalladamente más adelante.

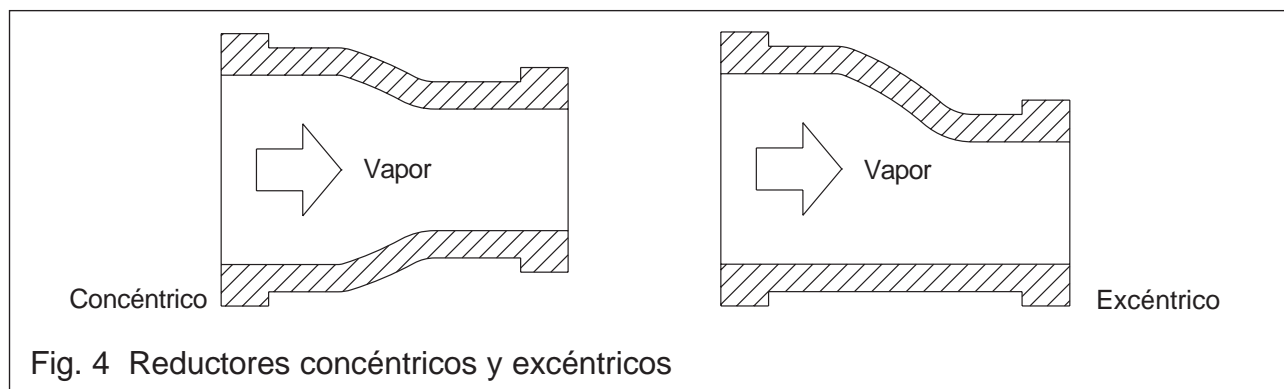
Si se utiliza una válvula reductora de presión, es apropiado montar una válvula de seguridad aguas abajo para proteger el equipo. Si la válvula reductora fallase, produciéndose un aumento de presión aguas abajo, el equipo resultaría dañado, e incluso podrían ocurrir daños personales. Con una válvula de seguridad instalada, cualquier exceso de presión será descargado a través de la válvula, evitando que se produzcan desperfectos.

Otros elementos que constituyen una estación reductora de presión son:

- La primera válvula de aislamiento - para cerrar el sistema y poder realizar tareas de mantenimiento.
- El primer manómetro - para ver la presión de alimentación.
- El filtro - para mantener limpio el sistema.
- El segundo manómetro - para ajustar y ver la presión aguas abajo.
- La segunda válvula de aislamiento – para establecer la presión aguas abajo en condiciones sin carga.

Dimensionado de tuberías

Existe una tendencia natural cuando se seleccionan los tamaños de tuberías, a guiarse por el tamaño de las conexiones del equipo a las que van a conectarse. Si la tubería se dimensiona de este modo, es posible que no se pueda alcanzar el caudal volumétrico deseado. Para corregir esto y poder dimensionar correctamente la tubería, pueden utilizarse reductores concéntricos y excéntricos.



Las tuberías se pueden seleccionar basándose en una de las dos características:

- Velocidad del fluido.
- Caída de presión.

En cada caso es sensato realizar la comprobación utilizando el método alternativo, para asegurar que no se exceden los límites.

Efectos del sobredimensionado y subdimensionado de tuberías

Sobredimensionar las tuberías significa que:

- Las tuberías serán más caras de lo necesario.
- Se formará un mayor volumen de condensado a causa de las mayores pérdidas de calor.
- La calidad de vapor y posterior entrega de calor será más pobre, debida al mayor volumen de condensado que se forma.
- Los costes de instalación serán mayores.

En un ejemplo particular, el coste de instalar una tubería de 80 mm resultó un 44 % más caro que el coste de una de 50 mm, cuya capacidad hubiese sido la adecuada. El calor perdido por la tubería aislada de 80 mm fue un 21 % mayor del que se hubiera perdido en la de 50 mm. Las partes no aisladas hubieran perdido un 50 % más de calor en la línea de 80 mm que en la de 50 mm. Esto se debe a la mayor superficie de transferencia de calor disponible.

Subdimensionar las tuberías significa que:

- La velocidad del vapor y la caída de presión serán mayores, generando una presión inferior a la que se requiere en el punto de utilización.
- El volumen de vapor será insuficiente en el punto de utilización.
- Habrá un mayor riesgo de erosión, golpe de ariete y ruidos, a causa del aumento de velocidad.

Estándares y espesores de tubería

Probablemente el estándar de tuberías más común sea el derivado del American Petroleum Institute (API), donde las tuberías se clasifican según el espesor de pared de tubería, llamado Schedule.

Estos Schedule están relacionados con la presión nominal de la tubería, y son un total de once, comenzando por 5 y seguido de 10, 20, 30, 40, 60, 80, 100, 120, 140, hasta el Schedule 160. Para tuberías de diámetro nominal 150 mm y menores, el Schedule 40 (denominado a veces 'standard weight'), es el más ligero de los especificados. Sólo los Schedule 40 y 80 cubren la gama completa de medidas nominales desde 15 mm hasta 600 mm y son los Schedule utilizados más comúnmente para instalaciones de tuberías de vapor. Esta guía, se referirá a tuberías del Schedule 80 (denominado también 'extra strong').

Se pueden obtener las tablas de los Schedule en el BS 1600, que se usa como referencia para la medida nominal de la tubería y el espesor de la misma en milímetros. La tabla 1 muestra un ejemplo de diámetros de distintas medidas de tubería, para distintos Schedule. En Europa las tuberías se fabrican según la norma DIN y se incluye la tubería DIN 2448 en la tabla.

Tabla 1

Tamaño de tubería (mm)		15	20	25	32	40	50	65	80	100	125	150
Diámetro (mm)	Schedule 40	15,8	21,0	26,6	35,1	40,9	52,5	62,7	77,9	102,3	128,2	154,1
	Schedule 80	13,8	18,9	24,3	32,5	38,1	49,2	59,0	73,7	97,2	122,3	146,4
	Schedule 160	11,7	15,6	20,7	29,5	34,0	42,8	53,9	66,6	87,3	109,5	131,8
	DIN 2448	17,3	22,3	28,5	37,2	43,1	60,3	70,3	82,5	107,1	131,7	159,3

Ejemplo

Para una tubería de 25 mm de Schedule 80, el diámetro interior es de 24,3 mm. De la misma manera, una tubería de Schedule 40 tiene un diámetro interior de 26,6 mm. Las tuberías que se utilizan más usualmente son de acero al carbono (longitud estándar 6m) para distribución de vapor y líneas de condensado.

Otro término que se utiliza comúnmente para el espesor de la tubería es: 'Banda azul y Banda roja'. A ellas se refiere el BS 1387, (tubos y tubulares de acero adecuados para roscar con roscas BS 21), y se refiere a calidades particulares de tuberías; la Roja es de acero, utilizada comúnmente en aplicaciones de conducción de vapor, y la azul se utiliza como calidad media, comúnmente en sistemas de distribución de aire. Las bandas de colores tienen una anchura de 50 mm, y sus posiciones en la tubería denotan su longitud. Los conductos de menos de 4 metros de longitud sólo tienen una banda de color en un extremo, mientras que los conductos de 4 a 7 metros de longitud tienen una banda de color en ambos extremos.

Banda simple
Hasta 4 m longitud



Doble banda
Entre 4 y 7 m longitud



Fig. 5 Ubicación de las bandas en la tubería

Dimensionado de tuberías según la velocidad del vapor

Si se dimensiona la tubería en función de la velocidad, entonces los cálculos se basan en el volumen de vapor que se transporta con relación a la sección de la tubería.

Para tuberías de distribución de vapor saturado seco, la experiencia demuestra que son razonables las velocidades entre 25 - 40 m/s, pero deben considerarse como el máximo sobre la cual aparecen el ruido y la erosión, particularmente si el vapor es húmedo.

Incluso estas velocidades pueden ser altas en cuanto a sus efectos sobre la caída de presión. En líneas de suministro de longitudes considerables, es frecuentemente necesario restringir las velocidades a 15 m/s si se quieren evitar grandes caídas de presión.

Utilizando la Tabla 2 (página 13) como guía, es posible seleccionar las medidas de tubería a partir de la presión de vapor, velocidad y caudal.

Alternativamente puede calcularse el tamaño de tubería siguiendo el proceso matemático expuesto más abajo. Para hacerlo, necesitamos la siguiente información:

- Velocidad del flujo (m/s) C
- Volumen específico (m^3/kg) v
- Caudal másico (kg/s) \dot{m}
- Caudal volumétrico (m^3/s) $\dot{V} = \dot{m}(\text{kg/s}) \times v(\text{m}^3/\text{kg})$

A partir de esta información, se puede calcular la sección (A) de la tubería:

$$\text{Sección (A)} = \frac{\text{Caudal volumétrico } (\dot{V})}{\text{Velocidad del flujo (C)}}$$

$$\text{p. ej.} \quad \frac{\pi \times D^2}{4} = \frac{\dot{V}}{C}$$

Esta fórmula puede arreglarse para despejar el diámetro de la tubería:

$$D^2 = \frac{4 \times \dot{V}}{\pi \times C}$$
$$\therefore D = \sqrt{\frac{4 \times \dot{V}}{\pi \times C}}$$

Esto nos dará el diámetro de la tubería en metros. Fácilmente puede pasarse a milímetros multiplicando por 1 000.

Ejemplo

Se quiere dimensionar una tubería para transportar 5.000 kg/h de vapor saturado seco a 7 bar r, y a una velocidad de 25 m/s.

$$\text{- Velocidad del flujo (C)} = 25 \text{ m/s}$$

$$\text{- Volumen específico (v)} = 0,24 \text{ m}^3/\text{kg} \text{ (de las tablas de vapor)}$$

$$\text{- Caudal másico (\dot{m})} = \frac{5\,000 \text{ kg/h}}{3\,600 \text{ s/h}} = 1,389 \text{ kg/s}$$

$$\begin{aligned}\text{- Caudal volumétrico (\dot{V})} &= \dot{m} \times v \\ &= 1,389 \text{ kg/s} \times 0,24 \text{ m}^3/\text{kg} \\ &= 0,333 \text{ m}^3/\text{s}\end{aligned}$$

Por lo tanto, utilizando:

$$\text{Sección de tubería (A)} = \frac{\text{Caudal volumétrico (\dot{V})}}{\text{Velocidad (C)}}$$

$$\frac{\pi \times D^2}{4} = \frac{0,333}{25}$$

$$D = \sqrt{\frac{4 \times 0,333}{\pi \times 25}}$$

$$D = 0,130 \text{ m} \text{ ó } 130 \text{ mm}$$

En la Figura 6 (página 14) se utiliza un método alternativo para el cálculo de tuberías a partir de la velocidad. Este método funcionará si se conocen los siguientes datos: presión de vapor, temperatura (si es recalentado), caudal y velocidad. El ejemplo a continuación ayuda a explicar como funciona este método.

Ejemplo

Como en el ejemplo anterior, se pretende dimensionar una tubería para transportar 5 000 kg/h de vapor saturado seco a 7 bar r y a 170°C. La velocidad del vapor máxima aceptable es de 25 m/s.

El método se ilustra en la Figura 6 de la página 14.

Trace una línea vertical desde 170°C (punto A) en la escala de temperaturas hasta 7 bar r (punto B) en la escala de presiones. Desde B trace una línea horizontal hasta el caudal de vapor de 5 000 kg/h (punto C). Ahora trace una línea vertical hasta la velocidad de vapor de 25 m/s (punto D). Desde D, trace una línea horizontal que cruce la escala de diámetro de tubería (punto E). En este caso bastará con una tubería de 130 mm de diámetro.

Dimensionado de tuberías según la caída de presión

A veces es esencial que la presión del vapor que alimenta un determinado equipo no caiga por debajo de un mínimo especificado, con el fin de mantener la temperatura, y de este modo asegurar que los factores de intercambio de calor de la planta mantengan las condiciones de plena carga. En estos casos, es apropiado dimensionar la tubería con el método de la 'caída de presión', utilizando la presión conocida en el extremo de alimentación de la tubería y la presión requerida en el punto de utilización.

Hay numerosos gráficos, tablas e incluso reglas de cálculo para relacionar la caída de presión con el tamaño de tubería. Un método que ha resultado satisfactorio, es el uso de factores de caída de presión. Un ejemplo de este método aparece en el apéndice al final de esta guía.

Un método alternativo más rápido para dimensionar tuberías basándose en la caída de presión, es el uso de la Figura 7 (página 15) si se conocen las siguientes variables: temperatura del vapor, presión, caudal y caída de presión.

Ejemplo

Se pretende dimensionar una tubería para transportar 20 000 kg/h de vapor recalentado a una presión de 15 bar r y 300°C, con una caída de presión de 1 bar/100m.

El método se ilustra en la Figura 7 de la página 15.

Trace una línea vertical desde 300°C (punto A) en la escala de temperatura hasta 15 bar r (punto B) en la escala de presión. Desde B, trace una línea horizontal hasta un caudal de vapor de 20 000 kg/h (punto C). Ahora trace una línea vertical hasta la parte superior del gráfico. Trace una línea horizontal desde 1 bar/100 m en la escala de pérdida de presión (punto D). El punto en que esta línea corta la línea vertical que viene del punto C (punto E), determina el tamaño de tubería que se requiere. En este caso 150 mm.

Dimensionado de tuberías más largas y de mayor diámetro

Ejemplo

Estas tuberías se deben dimensionar utilizando el método de la caída de presión. Los cálculos normalmente consideran presiones y caudales mayores y vapor recalentado. El cálculo utiliza una relación de presiones entre la caída de presión total y las presiones de entrada, que se puede utilizar en la Figura 8 (página 16).

Se quiere dimensionar una tubería para transportar 20 toneladas de vapor por hora a una presión manométrica de 14 bar y a una temperatura de 325°C. La longitud de la tubería es de 300 m y la caída de presión admisible en todo el recorrido es de 0,675 bar.

Fíjese en que las presiones del gráfico son presiones absolutas y para un ejercicio de este tipo, es suficientemente precisa la aproximación de que 14 bar relativos son 15 bar absolutos.

Primero debe encontrarse la relación de presiones:

$$\begin{aligned}\text{Ratio} &= \frac{\text{Caída de presión}}{\text{Presión de entrada (abs)}} \\ &= \frac{0,675}{15} \\ &= 0,045\end{aligned}$$

El método se ilustra en la Figura 8 de la página 16.

Desde este punto en la escala de la izquierda, lea horizontalmente hacia la derecha y en la intersección (A) con la curva, lea verticalmente hacia arriba para encontrar la línea de longitud de 300 m (B). En este punto, extienda la línea horizontal hasta el punto C.

Ahora trace una línea vertical desde la base, partiendo de la temperatura de 325°C, hasta que corte con la línea de presión de 15 bar abs (punto D).

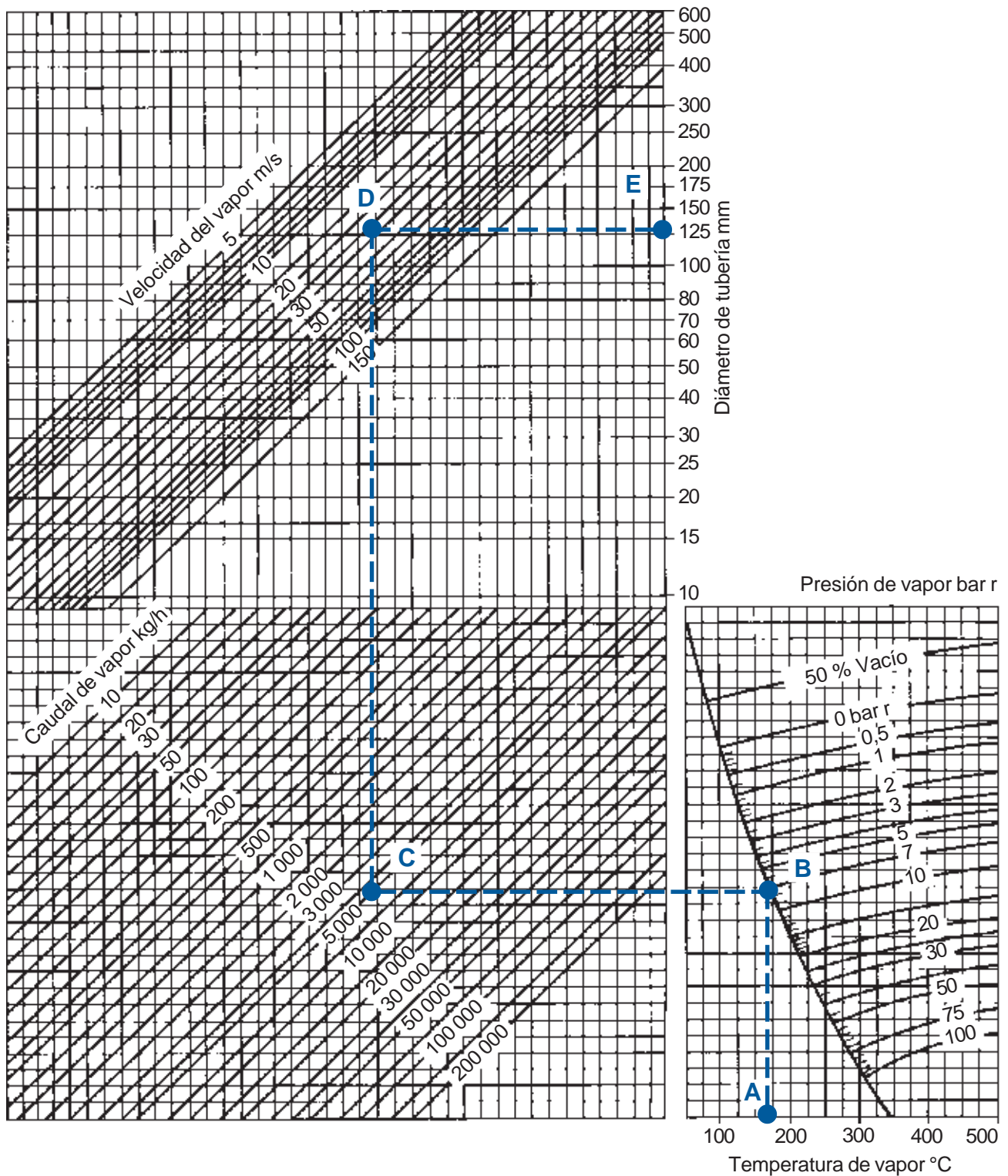
Trace una línea horizontal hacia la derecha hasta encontrar la línea de 20 toneladas/hora (punto E), y desde este punto trace hacia arriba una línea vertical. El tamaño de tubería se indica donde esta línea corta a la línea B - C, en el punto F. Este, muestra un tamaño de tubería de 200 mm.

Este proceso puede también invertirse para encontrar la caída de presión en una tubería de tamaño conocido.

Tabla 2 Capacidades de tuberías para vapor saturado a velocidades específicas (tubería de Schedule 80)

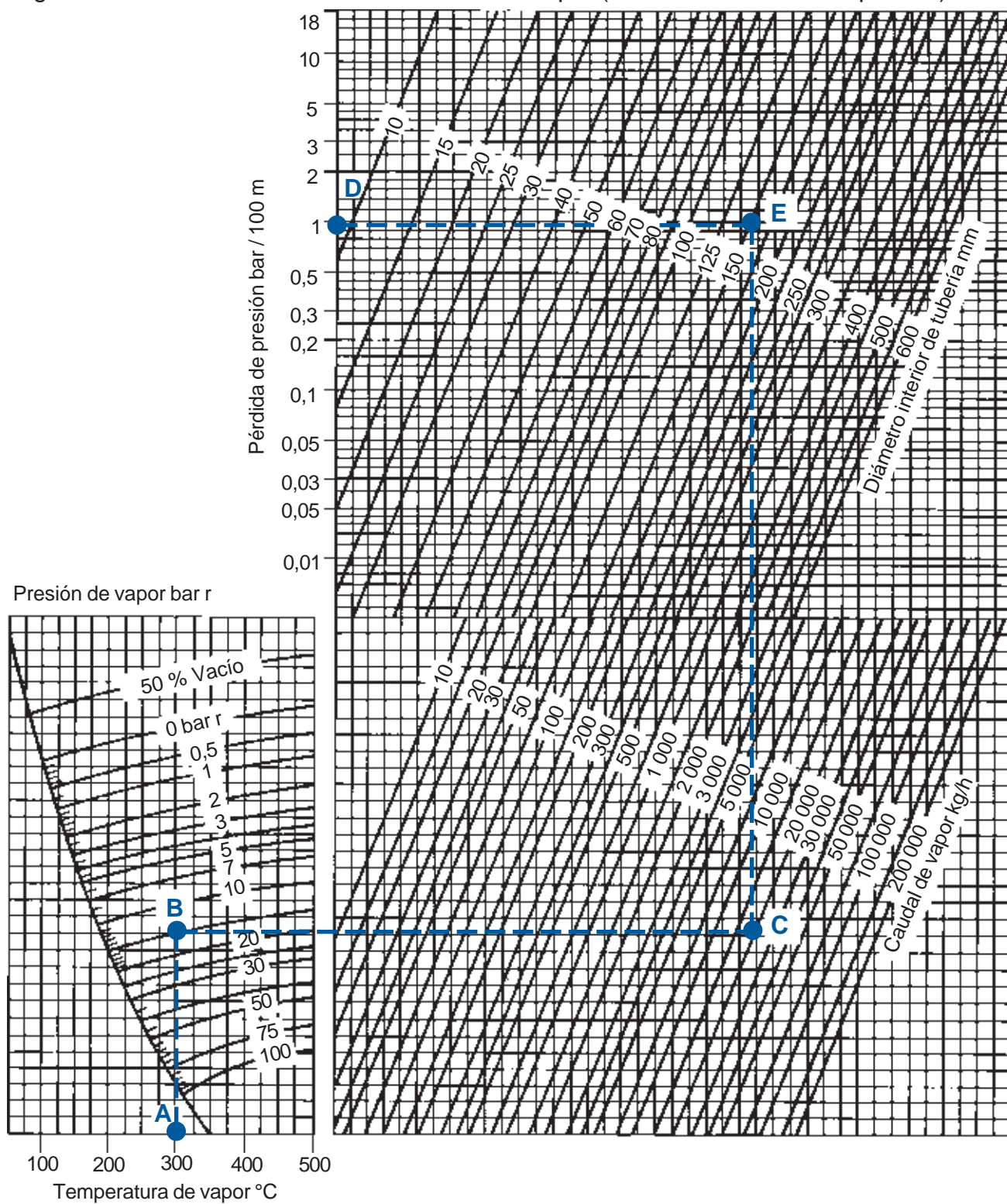
Presión bar	Velocidad		kg/h									
	m/s	15mm	20mm	25mm	32mm	40mm	50mm	65mm	80mm	100mm	125mm	150mm
0,4	15	7	14	24	37	52	99	145	213	394	648	917
	25	10	25	40	62	92	162	265	384	675	972	1 457
	40	17	35	64	102	142	265	403	576	1 037	1 670	2 303
0,7	15	7	16	25	40	59	109	166	250	431	680	1 006
	25	12	25	45	72	100	182	287	430	716	1 145	1 575
	40	18	37	68	106	167	298	428	630	1 108	1 712	2 417
1,0	15	8	17	29	43	65	112	182	260	470	694	1 020
	25	12	26	48	72	100	193	300	445	730	1 160	1 660
	40	19	39	71	112	172	311	465	640	1 150	1 800	2 500
2,0	15	12	25	45	70	100	182	280	410	715	1 125	1 580
	25	19	43	70	112	162	295	428	656	1 215	1 755	2 520
	40	30	64	115	178	275	475	745	1 010	1 895	2 925	4 175
3,0	15	16	37	60	93	127	245	385	535	925	1 505	2 040
	25	26	56	100	152	225	425	632	910	1 580	2 480	3 440
	40	41	87	157	250	375	595	1 025	1 460	2 540	4 050	5 940
4,0	15	19	42	70	108	156	281	432	635	1 166	1 685	2 460
	25	30	63	115	180	270	450	742	1 080	1 980	2 925	4 225
	40	49	116	197	295	456	796	1 247	1 825	3 120	4 940	7 050
5,0	15	22	49	87	128	187	352	526	770	1 295	2 105	2 835
	25	36	81	135	211	308	548	885	1 265	2 110	3 540	5 150
	40	59	131	225	338	495	855	1 350	1 890	3 510	5 400	7 870
6,0	15	26	59	105	153	225	425	632	925	1 555	2 525	3 400
	25	43	97	162	253	370	658	1 065	1 520	2 530	4 250	6 175
	40	71	157	270	405	595	1 025	1 620	2 270	4 210	6 475	9 445
7,0	15	29	63	110	165	260	445	705	952	1 815	2 765	3 990
	25	49	114	190	288	450	785	1 205	1 750	3 025	4 815	6 900
	40	76	177	303	455	690	1 210	1 865	2 520	4 585	7 560	10 880
8,0	15	32	70	126	190	285	475	800	1 125	1 990	3 025	4 540
	25	54	122	205	320	465	810	1 260	1 870	3 240	5 220	7 120
	40	84	192	327	510	730	1 370	2 065	3 120	5 135	8 395	12 470
10,0	15	41	95	155	250	372	626	1 012	1 465	2 495	3 995	5 860
	25	66	145	257	405	562	990	1 530	2 205	3 825	6 295	8 995
	40	104	216	408	615	910	1 635	2 545	3 600	6 230	9 880	14 390
14,0	15	50	121	205	310	465	810	1 270	1 870	3 220	5 215	7 390
	25	85	195	331	520	740	1 375	2 080	3 120	5 200	8 500	12 560
	40	126	305	555	825	1 210	2 195	3 425	4 735	8 510	13 050	18 630

Fig. 6 Gráfico para dimensionar tuberías para vapor saturado y vapor recalentado (método de la velocidad)



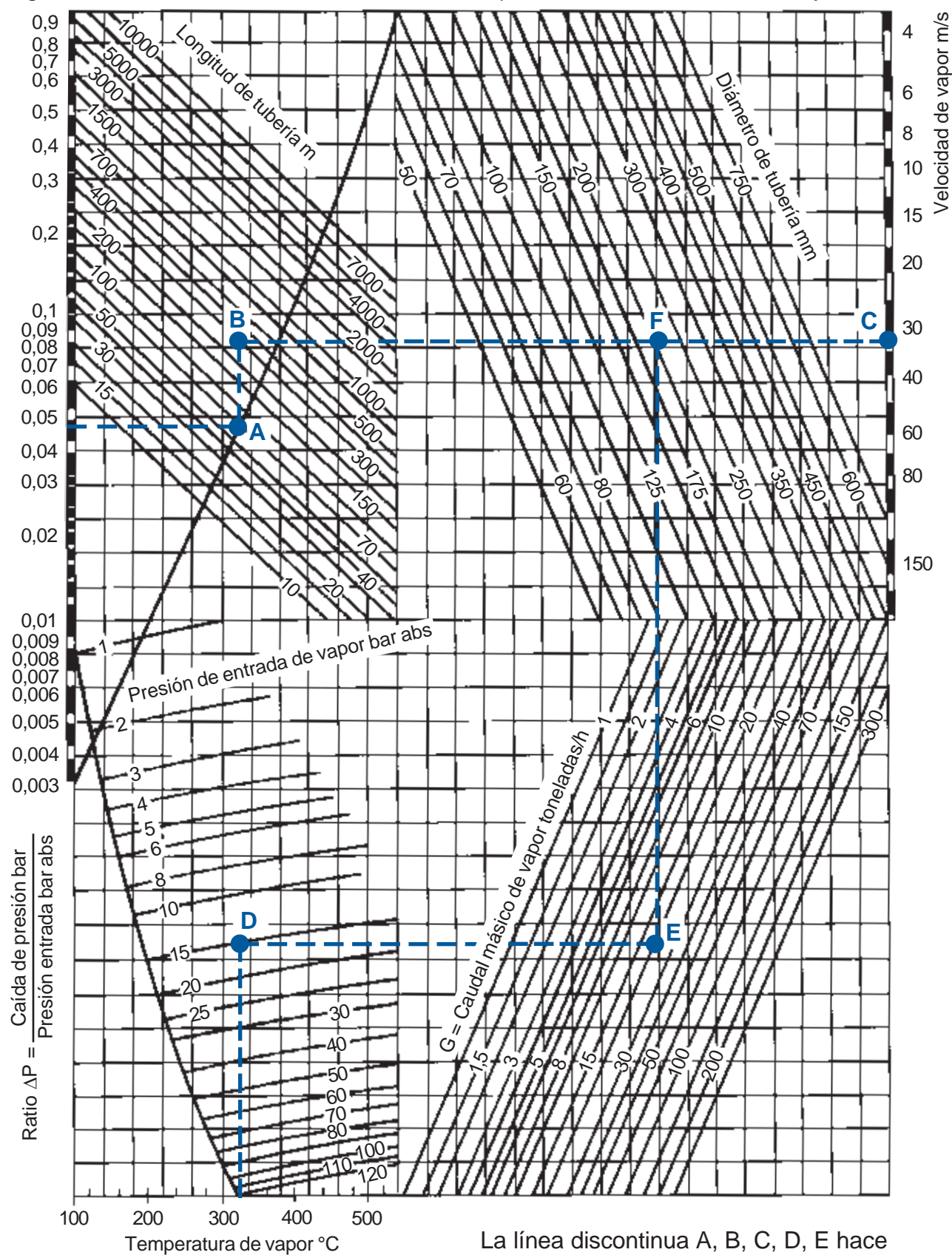
La línea discontinua A, B, C, D, E, hace referencia al ejemplo de la página 10.

Fig. 7 Gráfico de dimensionado de tuberías de vapor (método de la caída de presión)



La línea discontinua A, B, C, D, E hace referencial al ejemplo de la página 11.

Figure 8 Gráfico de dimensionado de tuberías para líneas de distribución mayores



Líneas de distribución y purga

En cualquier tubería de vapor, parte del vapor condensará a causa de las pérdidas por radiación. Por ejemplo, una tubería de 100 mm bien aislada, de 30 m de longitud, por la que fluye vapor a 7 bar, rodeada de aire a 10°C, condensará aproximadamente 16 kg de vapor por hora.

Esto representa probablemente menos del 1 % de la capacidad de transporte del conducto, no obstante significa que al cabo de una hora, el conducto tendrá no sólo vapor, sino 16 litros de agua y progresivamente más a medida que pase el tiempo.

Por tanto, debe preverse la purga del condensado. Si esto no se realiza de forma efectiva, aparecerán problemas de corrosión y golpe de ariete, que se verán más adelante. Además, el vapor se volverá húmedo, pues éste recoge gotitas de agua, reduciendo así su potencial de transferencia de calor. Bajo condiciones, extremas si se permite la acumulación de agua, la sección de tubería disponible para el paso del vapor se ve reducida, de manera que la velocidad del vapor superará los límites recomendados.

Siempre que sea posible, la tubería de distribución debe montarse con un descenso no inferior a 40 mm cada 10 m, en la dirección del flujo. Hay una buena razón para ello. Si la tubería asciende en la dirección del flujo, el condensado tratará de volver hacia abajo. Pero el flujo de vapor en sentido contrario, que puede ir a una velocidad de hasta 80 km/h, barrerá el agua hacia arriba. Esto haría extremadamente difícil la recogida del agua y su evacuación. Es más, esto facilitaría que el agua se mezclase con el vapor produciendo vapor húmedo y que hubiese golpes de ariete.

Montando la tubería con un descenso en la dirección del flujo, tanto el vapor como el condensado, irán en la misma dirección y se pueden colocar puntos de purga en la línea para recoger y evacuar el agua.

Puntos de purga

Las ventajas de elegir el tipo de purgador más apropiado para una determinada aplicación será en vano si el condensado no puede encontrar fácilmente el camino hacia el purgador. Por esta razón debe considerarse cuidadosamente el tamaño y la situación del punto de purga.

Debe considerarse también qué le ocurre al condensado en una tubería de vapor cuando se produce una parada y todo el flujo cesa. Este circulará en la dirección descendente de la tubería por efecto de la fuerza de la gravedad, y se acumulará en los puntos bajos del sistema. Los purgadores deberán, por tanto, montarse en esos puntos bajos.

En cualquier caso, la cantidad de condensado que se forma en una línea de gran tamaño bajo condiciones de puesta en marcha, es suficiente para hacer necesaria la instalación de puntos de purga cada 30 m a 50 m, así como en los puntos bajos del sistema.

Durante el funcionamiento normal, el vapor puede fluir por las tuberías de distribución a velocidades de hasta 145 km/h, arrastrando condensado con él. La Figura 9 muestra una tubería de 15 mm que conecta la parte inferior de una línea de vapor con el purgador. Aunque la tubería de 15 mm tiene una capacidad suficiente, es poco probable que recoja gran parte del condensado que fluye a gran velocidad por la tubería de distribución. Tal disposición no resultaría efectiva.

En la Figura 10 se muestra una solución más fiable para evacuar el condensado. Se monta una conexión 'T' (el mismo diámetro hasta 150 mm, y un diámetro inmediatamente inferior en tamaños mayores) en la tubería que actúa como un pozo de goteo. Todo el condensado caerá al pozo y recorrerá el camino por la tubería de 15 mm hasta el purgador. Este pozo de goteo es tan importante en el sistema de purga como el purgador mismo. Observe que la boca de entrada al purgador se coloca usualmente 25/30 mm por encima del fondo del pozo para evitar que la suciedad de las tuberías pase al purgador. La parte inferior del pozo es normalmente desmontable, lo que permite que se pueda quitar la tapa inferior durante una parada para eliminar la suciedad acumulada.

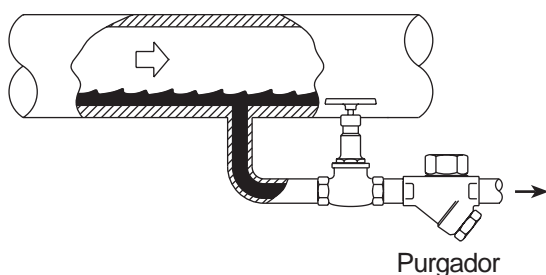


Fig. 9 Incorrecto

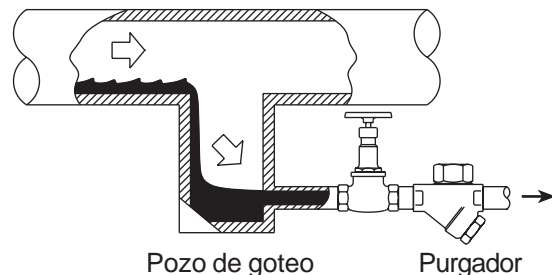


Fig. 10 Correcto

Golpe de ariete y sus efectos

El golpe de ariete se produce cuando el condensado en lugar de ser purgado en los puntos bajos del sistema, es arrastrado por el vapor a lo largo de la tubería, y se detiene bruscamente al impactar contra algún obstáculo del sistema. Las gotitas de condensado acumuladas a lo largo de la tubería, como se muestra en la Figura 11, con el tiempo forman una bolsa 'sólida' de agua que será arrastrada por la tubería a la velocidad del vapor. Estas velocidades pueden ser de 30 km/h o más. Esta bolsa de agua es densa e incompresible y, cuando viaja a una velocidad elevada, tiene una energía cinética considerable.

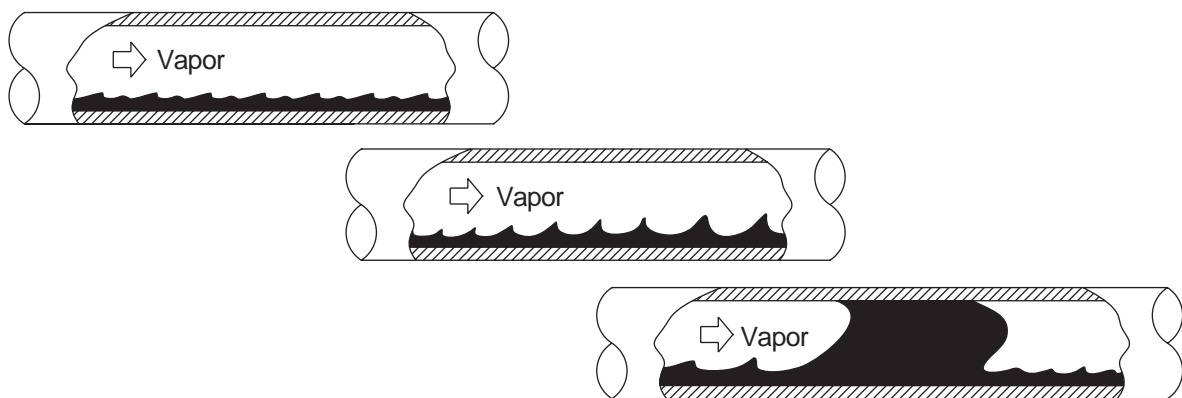


Fig. 11 La formación de una bolsa 'sólida' de agua

Cuando se obstruye su paso, a causa de una 'T' en la tubería o una curva, la energía cinética se convierte en un golpe de presión que aplicado contra el obstáculo. (Las leyes de la termodinámica establecen que la energía ni se crea ni se destruye, se transforma). Normalmente se produce un ruido de golpe, que puede ir acompañado del movimiento de la tubería. En casos serios, los accesorios pueden incluso romperse con un efecto casi explosivo, con la consecuente pérdida de vapor vivo en la rotura, creando una situación peligrosa.

Afortunadamente, el golpe de ariete se puede evitar si se toman las medidas oportunas para que no se acumule el condensado en la tubería.

Evitar el golpe de ariete es una alternativa mejor que intentarlo contenerlo eligiendo excelentes materiales, y limitando la presión de los equipos.

Las fuentes de problemas de golpe de ariete suelen estar en los puntos bajos de la tubería (véase la Figura 12). Tales áreas son:

- Pandeos en la línea.
- Uso incorrecto de reductores concéntricos y filtros. Por este motivo, en las líneas de vapor es preferible montar filtros con la cesta horizontal.
- Purga inadecuada en líneas de vapor.

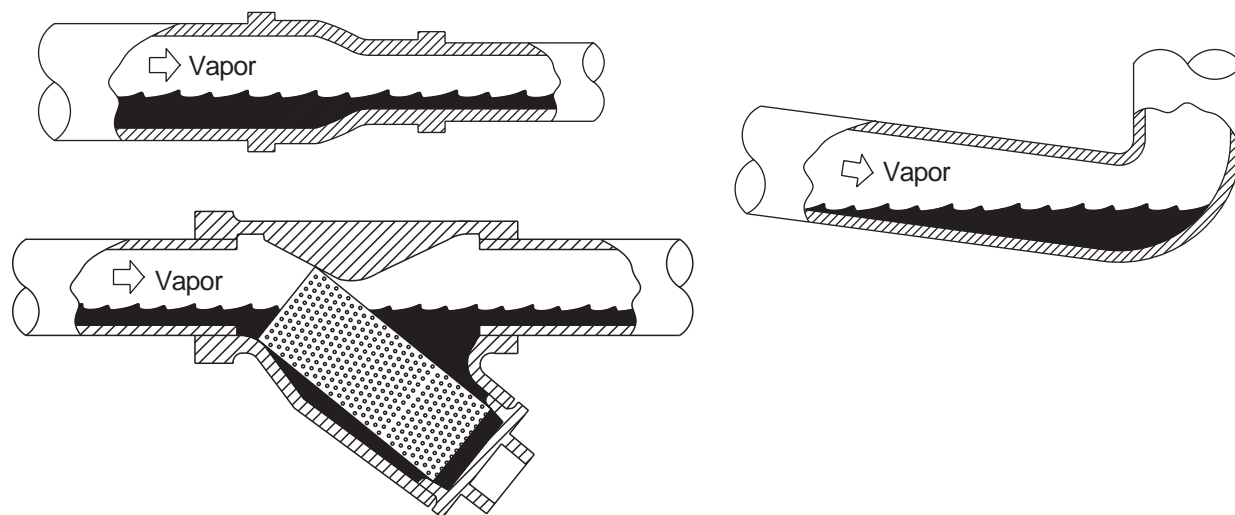
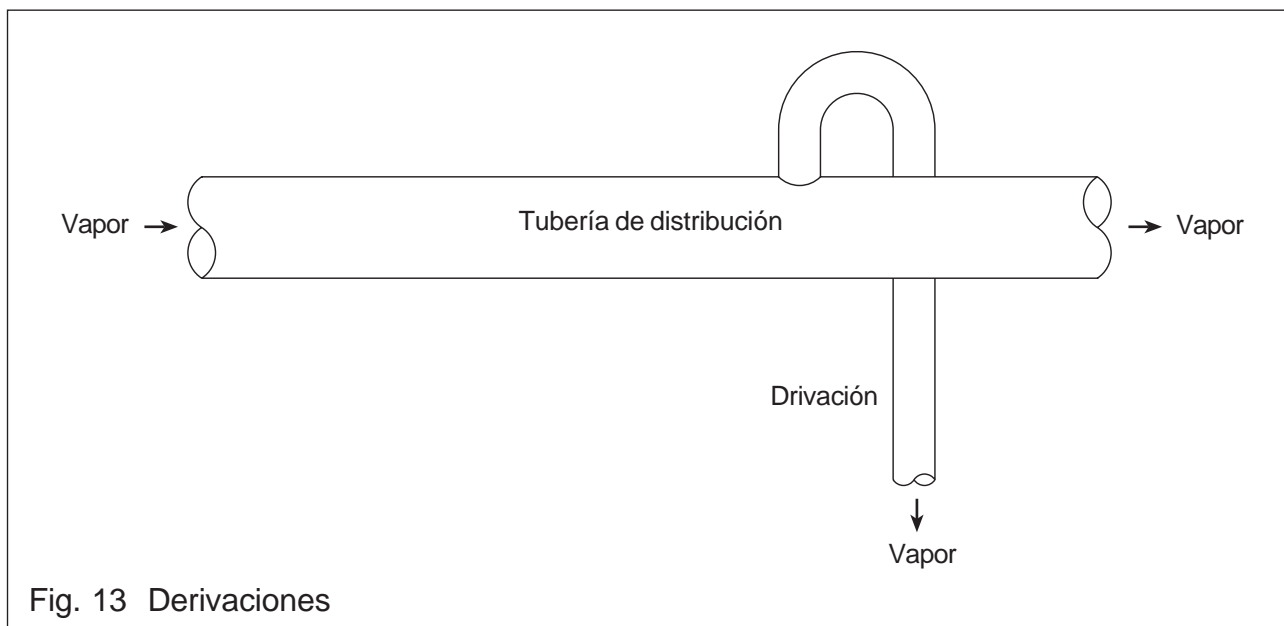


Fig. 12 Fuentes potenciales de problemas de golpe de ariete.

Resumidamente, para minimizar las posibilidades de golpe de ariete:

- Las líneas de vapor deben montarse con una inclinación descendente en la dirección del flujo, con puntos de purga instalados a intervalos regulares y en los puntos bajos.
- Deben montarse válvulas de retención después de los purgadores, ya que de otro modo se permitiría que el condensado se introdujera de nuevo en la línea de vapor o la planta durante las paradas.
- Las válvulas de aislamiento deben abrirse lentamente para permitir que el condensado que haya en el sistema pueda fluir sin brusquedades hacia, y a través de los purgadores, antes de que el vapor a gran velocidad lo arrastre. Esto es especialmente importante en la puesta en marcha.



Derivaciones

Es importante recordar que las derivaciones son normalmente mucho más cortas que las líneas de distribución principales. El dimensionado de las derivaciones basándose en una caída de presión dada es, en consecuencia, menos recomendable en tuberías de poca longitud. Con una tubería principal de 250 m de longitud, una caída de presión limitada a 0,5 bar puede ser perfectamente válida, aunque conduzca a adoptar velocidades inferiores a las esperadas. En un ramal de 5 m o 10 m de longitud, la misma velocidad llevaría a valores de sólo 0,01 o 0,02 bar. Son claramente insignificantes, y usualmente las tuberías de las derivaciones se dimensionan para velocidades de vapor mayores. Esto creará una mayor caída de presión, pero con una longitud de tubería más corta, esta caída de presión es aceptable.

Los tamaños de tubería suelen elegirse de una tabla, como la tabla de 'Capacidades de tubería a velocidades específicas' (Tabla 2). Cuando se utilizan velocidades de vapor de 25 a 35 m/s en derivaciones cortas a equipos, se observa que el nivel de caída de presión por unidad de longitud puede ser relativamente alto. Se puede crear una gran caída de presión si la tubería cuenta con diversos accesorios, tales como conexiones y codos. En derivaciones de mayor longitud debe limitarse la velocidad a 15 m/s a no ser que se calcule también la caída de presión.

Conexiones de derivaciones

Las derivaciones transportarán el vapor más seco siempre que las conexiones tomen el vapor de la parte superior de la tubería principal. Si la toma es lateral, o peor aún, de la parte inferior como en la Figura 14, transportarán el condensado, comportándose como un pozo de goteo. El resultado de esto es un vapor muy húmedo que llega a los equipos. La válvula de la Figura 15 debe instalarse tan cerca como sea posible de la derivación para evitar que el condensado se deposite en el ramal si se producen largas paradas del sistema.

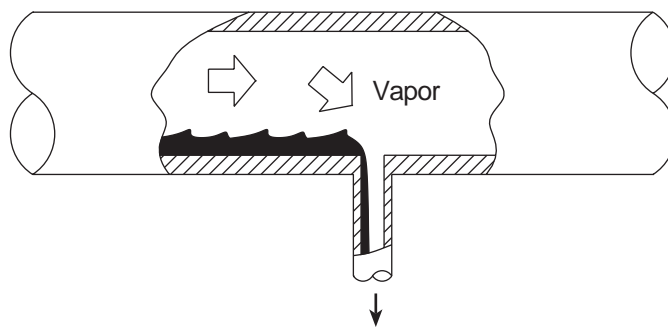


Fig. 14 Incorrecto

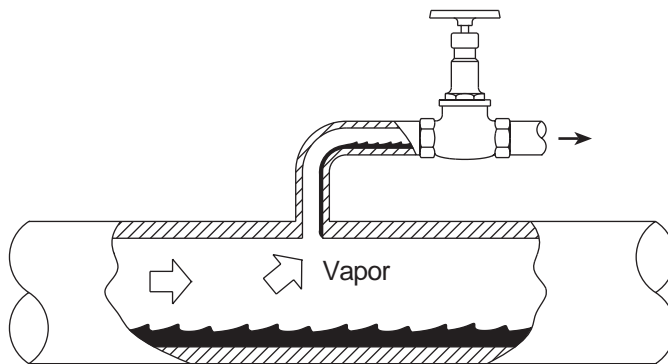
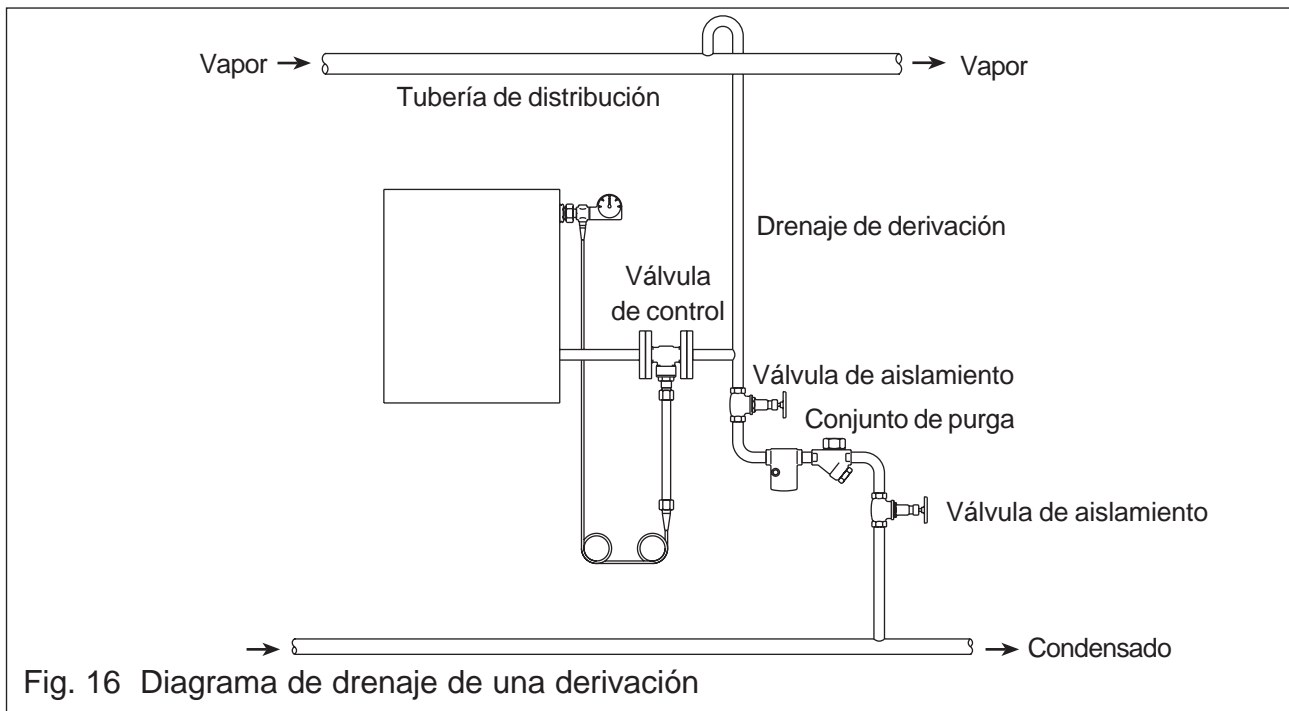


Fig. 15 Correcto

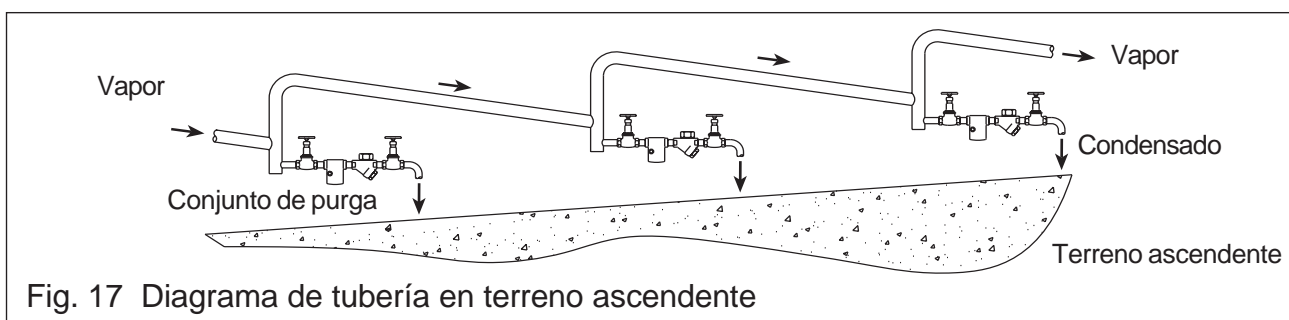
Drenaje de derivación

En las derivaciones a equipos también hay puntos bajos. Lo más común es un punto de purga cerca de una válvula de aislamiento o una válvula de control. El condensado se acumula delante de la válvula cerrada, y se introduciría con el vapor cuando la válvula se abriera de nuevo - consecuentemente es necesario un punto de purga con un purgador en ese lugar.



Elevación del terreno y purga

No es raro que una línea de distribución discorra por un terreno con inclinación ascendente y no sea posible mantener el nivel de la tubería, con lo que el condensado se ve inducido a correr hacia abajo a contracorriente del vapor. Es prudente asegurarse de que el tamaño de la tubería es suficiente, en el tramo ascendente, para no reducir la velocidad a menos de 15 m/s. Asimismo la distancia entre puntos de purga debe reducirse a no más de 15 m. El objetivo es evitar la película de condensado en la parte inferior de la tubería, que iría aumentando en espesor hasta el punto que el vapor arrastraría gotitas de condensado (exactamente como en el caso común en que la gravedad y el flujo de vapor actúan en la misma dirección).



Separadores de gotas

Las calderas de vapor compactas modernas tienen unas grandes prestaciones con relación a su tamaño y carecen de capacidad de reserva para absorber condiciones de sobrecarga. Un tratamiento químico incorrecto del agua de alimentación, mal control de TDS o picos de carga pueden provocar serios problemas de arrastre de agua e impurezas del agua de caldera a las tuberías de distribución. En la Figura 19 se muestra el uso de un separador de gotas para evacuar esta agua. Su elección es sencilla mediante un gráfico de dimensionado. Véase la Figura 18.

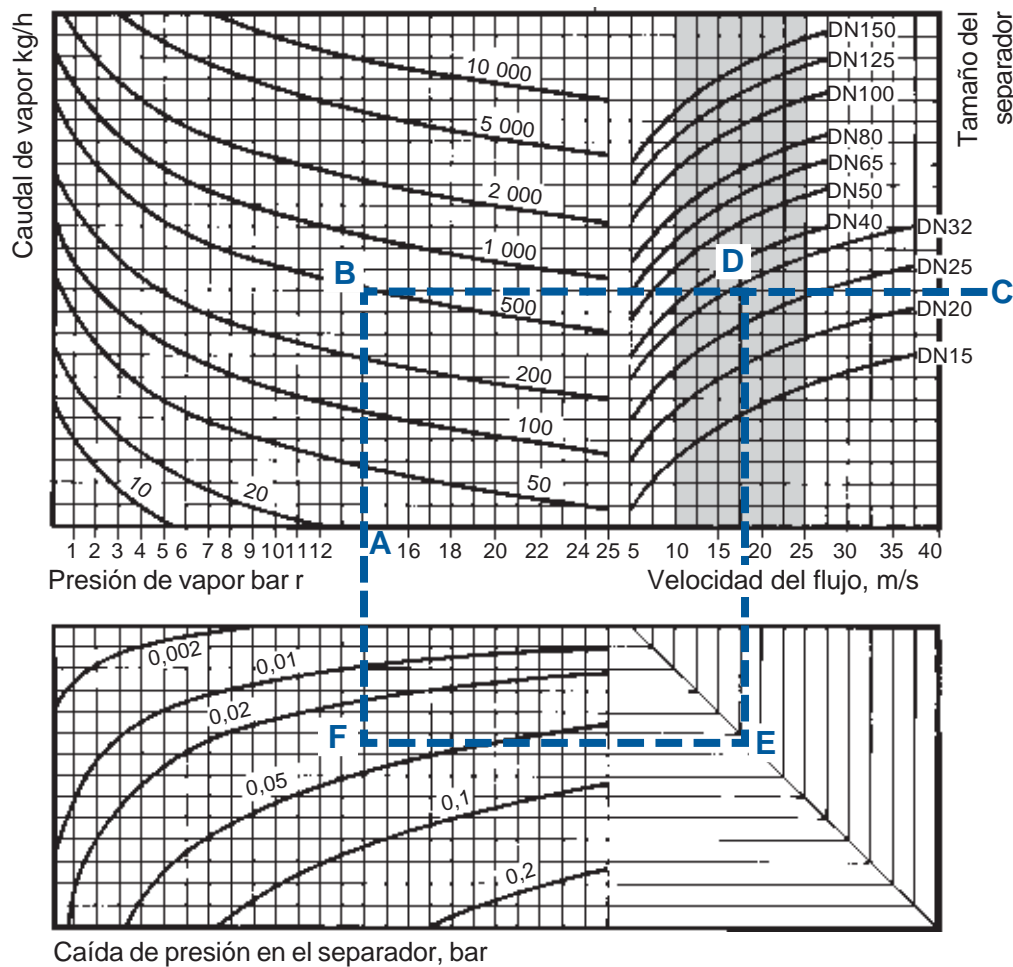


Fig. 18 Gráfico de dimensionado del separador

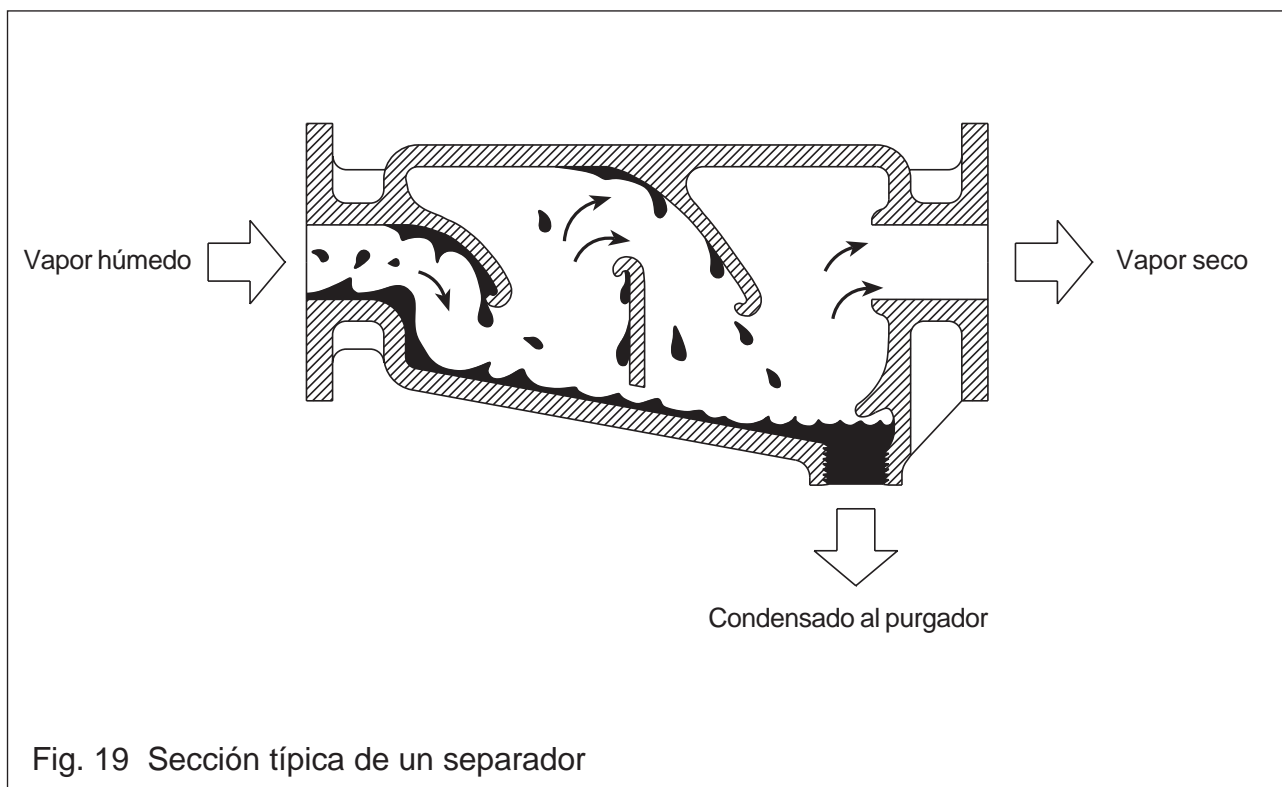
Ejemplo de dimensionado de un separador

Determinése el tamaño de un separador para un caudal de 500 kg/h a una presión de 13 bar r.

1. Trace una línea que una la presión con el caudal, A - B.
2. Trace la línea horizontal B - C.
3. Cualquier curva de separador que corta la línea B - C dentro del área sombreada operará cerca del 100 % de rendimiento.
4. Adicionalmente, la línea de velocidad para cualquier tamaño puede determinarse trazando una línea vertical D - E (p. ej. 18 m/s para una unidad DN32).
5. También puede determinarse la caída de presión trazando las líneas E - F y A - F. El punto de intersección es la caída de presión a través del separador, p. ej. : aproximadamente 0,037 bar.

Los separadores deben seleccionarse basándose en el mejor compromiso entre el tamaño de la línea, velocidad y caída de presión para cada aplicación.

Tan pronto como el vapor sale de la caldera, parte de éste condensa para reponer el calor perdido a través de la pared de la tubería. El aislamiento reducirá naturalmente las pérdidas de calor, pero el flujo de calor y el grado de condensación disminuyen hasta cierta cantidad límite, y si no se toman acciones apropiadas, estas cantidades se acumularán. El condensado formará gotitas en la pared interior de la tubería, que se unirán formando una película al ser barridas por el flujo de vapor.



El agua también irá a parar a la parte inferior de la tubería por efecto de la gravedad, y por lo tanto, el espesor de la película será mayor allí. Al pasar el vapor sobre la película de agua, se pueden levantar ondulaciones que lleguen a formar olas. Si esta acumulación continúa, las crestas de las olas se romperán, lanzando gotas de condensado sobre el flujo de vapor. El resultado es que el equipo de intercambio de calor recibe un vapor muy húmedo, que reduce el rendimiento de transmisión de calor y la vida útil de las válvulas de control. Cualquier cosa que reduzca la propensión al vapor húmedo en líneas principales o derivaciones será beneficiosa.

Un separador evacuará tanto las gotitas de agua de las paredes de la tubería como la humedad suspendida en el vapor. La presencia y efecto del golpe de ariete puede erradicarse montando un separador en la tubería principal de vapor y con frecuencia será una alternativa más económica que alterar la tubería para vencer este fenómeno.

Filtros

Cuando se instala una tubería nueva, no es raro que queden fragmentos de arena de fundición, del embalaje, del ensamblado, virutas, varillas de soldar, e incluso tornillos o tuercas que hayan quedado dentro. En el caso de tuberías viejas, habrá óxido y en zonas de aguas duras, depósitos de carbonatos. De vez en cuando, algunas partes se romperán, soltarán y pasarán a la tubería con el vapor, para acabar en el interior de algún equipo, pudiendo atascarlo, dejándolo abierto o cerrado.

Los equipos de vapor pueden también sufrir daños permanentes al rayarse – acción cortante del vapor y el agua pasando a gran velocidad a través de una válvula parcialmente abierta. Cuando una válvula se ha rayado, no volverá a procurar un cierre estanco, aunque se elimine la suciedad de ella.

Por lo tanto, es sensato montar un simple filtro en la tubería delante de cada purgador, aparato de medida, válvula reductora y válvula de control. El diagrama de la Figura 20 muestra la sección de un filtro típico.

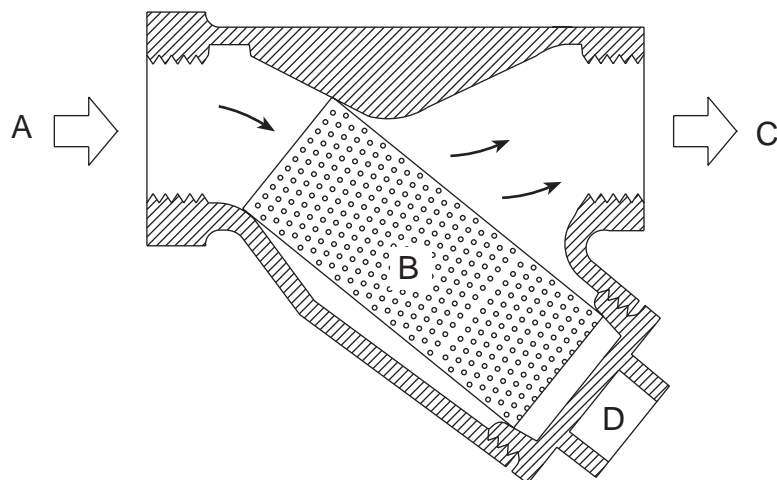


Fig. 20 Sección de un filtro

El vapor fluye desde la entrada 'A', a través del tamiz perforado 'B' hacia la salida 'C'. Mientras que el vapor y el agua pasarán con facilidad a través del tamiz, la suciedad quedará retenida. Se puede quitar el tapón 'D', para retirar el tamiz y limpiarlo regularmente. También es posible montar una válvula de purga en el tapón 'D' para facilitar una limpieza regular.

Los filtros, sin embargo, pueden ser una fuente de problemas de golpe de ariete como se mencionó anteriormente. Para evitar esto, cuando forman parte de una línea de vapor, los filtros deben montarse con la cesta en posición horizontal.

Método de purga de línea

La utilización de purgadores es el método más eficaz de drenar el condensado de un sistema de distribución de vapor.

Los purgadores usados para drenar la línea deben ser adecuados para el sistema, y tener la capacidad suficiente para evacuar la cantidad de condensado que llegue a ellos, con las presiones diferenciales presentes en cualquier momento.

El primer requerimiento es fácil de tratar; la presión máxima de trabajo en el purgador puede ser conocida, o encontrarla fácilmente. El segundo requerimiento, la cantidad de condensado que llega al purgador bajo condiciones de trabajo, cuando sólo las pérdidas de calor en la línea provocan la condensación del vapor, se puede calcular, o encontrarlo en la Tabla 3 (página 32) con una precisión aceptable.

Debe recordarse que los purgadores que purgan el colector de caldera, pueden ser necesarios para descargar el agua arrastrada con el vapor desde la caldera. Una capacidad total de hasta el 10% de la capacidad nominal de la caldera es razonable. En el caso de los purgadores montados a lo largo de la tubería, la Tabla 3 de la página 32, muestra que si los puntos de purga no están más alejados de 50 m, como se recomienda, normalmente será suficiente con la capacidad de un purgador de baja capacidad de 15 mm, para evacuar las cargas de condensado. Sólo en aplicaciones poco comunes, de muy altas presiones (por encima de 70 bar), combinadas con tuberías de gran tamaño, serán necesarios purgadores de mayor capacidad.

Cuando las líneas de vapor se paran y se ponen en marcha con frecuencia deberá prestarse más atención. Las cantidades de condensado que se forman mientras las tuberías se calientan hasta la temperatura de trabajo, están listadas también en la Tabla 3 de la página 32. Como se trata de masas de vapor más que de caudales de vapor, también debe tenerse en cuenta el tiempo que lleva el proceso de calentamiento. Por ejemplo, si una tubería alcanza la presión de trabajo en 20 minutos, entonces el flujo por hora será 60/20, ó 3 veces la carga que indica la tabla.

Durante la primera parte del proceso de calentamiento, la velocidad de condensación será al menos igual a la velocidad media. No obstante, la presión en la tubería sólo será ligeramente superior a la presión atmosférica, quizás en 0,05 bar. Ello significa que la capacidad del purgador se verá consecuentemente reducida. En esos casos, en que las cargas de puesta en marcha son frecuentes, un purgador DN15 con capacidad normal será una mejor elección.

Lo expuesto pone también de relieve otra de las ventajas de los pozos de goteo de gran tamaño, que durante la puesta en marcha pueden albergar el condensado mientras la presión de vapor no es suficientemente alta como para expulsarlo a través del purgador.

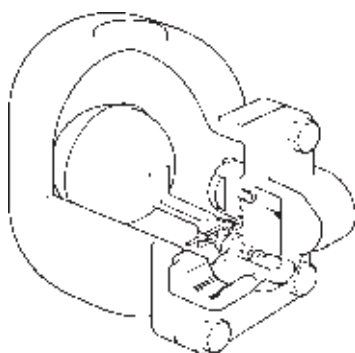
Selección de purgadores

La especificación de un purgador para una línea de distribución debe considerar ciertos aspectos.

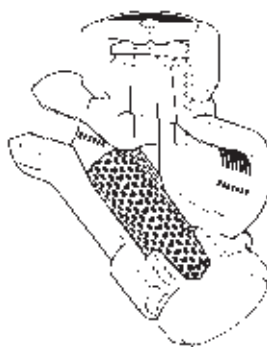
- El purgador debe descargar a, o muy cerca de, la temperatura de saturación, a no ser que la tubería de enfriamiento sea larga entre el punto de purga y el purgador. Esto significa que a menudo la elección está entre purgadores mecánicos, como los de boya o de cubeta invertida y los purgadores termodinámicos.
- Cuando las tuberías discurren por el exterior de edificios y existe la posibilidad de que las heladas causen daños, el purgador termodinámico es preeminente. Incluso si la instalación es tal que deja agua en el purgador cuando se para la línea y se produce una helada, el purgador termodinámico se descongela sin sufrir daños cuando se vuelve a poner en marcha la instalación.
- Históricamente, en instalaciones de diseño pobre, donde el golpe de ariete podía ser frecuente, los purgadores de boya podían no ser ideales a causa de la susceptibilidad del flotador a ser dañado. Sin embargo, los diseños y las técnicas de fabricación contemporáneos, producen unidades extremadamente robustas para la purga de líneas. Los purgadores de boya son la primera elección para utilizar con separadores. Las altas capacidades que alcanzan fácilmente y su respuesta casi inmediata a los aumentos rápidos de caudal, son características muy apreciadas.
- Los purgadores termodinámicos son también adecuados para purgar líneas de gran diámetro y longitud, especialmente cuando el servicio es continuo. Los daños causados por las heladas son, en consecuencia, menos probables.

En la Figura 21 se muestran los purgadores que se utilizan típicamente para purgar el condensado de las líneas de distribución.

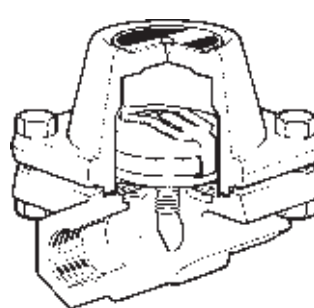
El tema de la purga de vapor se trata más detalladamente en la guía de referencia técnica 'Purga de Vapor y Eliminación de Aire'.



De boya



Termodinámico



Termostático



De cubeta invertida

Fig. 21 Purgadores

Fugas de vapor

Las fugas de vapor son también ignoradas a menudo. Sin embargo, las fugas pueden tener un alto coste tanto en sentido económico como ambiental y por lo tanto, requieren de pronta atención para asegurar que el sistema de vapor trabaje con un rendimiento óptimo y un mínimo impacto ambiental.

Por ejemplo, por cada litro de fuel-oil muy viscoso quemado innecesariamente para compensar las fugas de vapor, se emiten aproximadamente 3 kg de dióxido de carbono a la atmósfera.

La Figura 22 ilustra la pérdida de vapor para diversos tamaños de orificio y esta pérdida puede ser fácilmente traducida en ahorro anual, basándola en 8 400 ó 2 000 horas de funcionamiento al año.

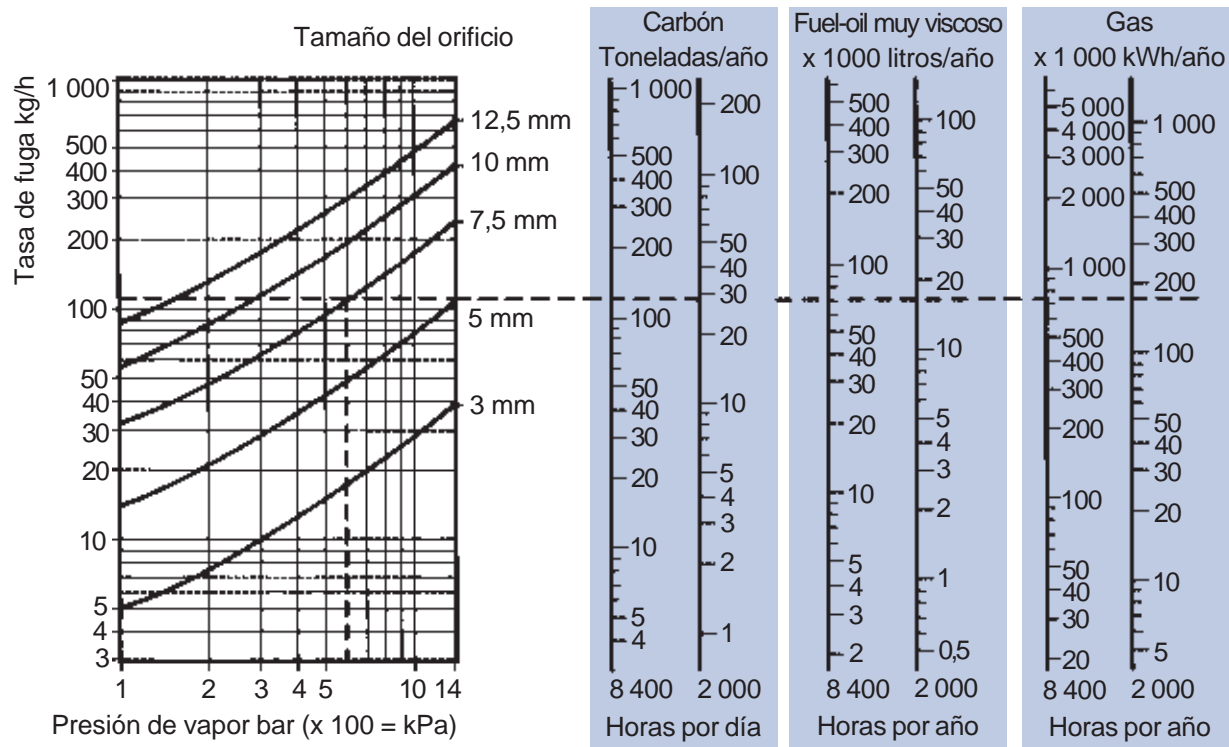


Fig. 22 Pérdidas de vapor por fugas

Resumen

Para resumir esta sección, una debida alineación de las tuberías y purga significa observar estas simples reglas:

- Deben instalarse las tuberías de manera que descendan en la dirección del flujo, con una pendiente no inferior a 40 mm por cada 10 m de tubería.
- Las líneas de vapor deben purgarse a intervalos regulares de 30 - 50 m, así como en cualquier punto bajo del sistema.
- Para instalar un punto de purga en un tramo recto de tubería, deberá utilizarse un pozo de goteo de gran tamaño, que pueda recoger el condensado.
- La tubería debe montarse de manera que haya el mínimo de puntos bajos donde se pueda acumular el agua. Si se montan filtros, deben montarse con la cesta en posición horizontal.
- Las conexiones de las derivaciones deben partir de la parte superior de la línea, para tomar el vapor más seco posible.
- Debe considerarse la instalación de un separador antes de cualquier equipo que utilice el vapor, para asegurar que recibe vapor seco.
- Los purgadores elegidos deben ser robustos para evitar el riesgo de daños por golpe de ariete, y ser apropiados para su entorno (p. ej. heladas).

Tabla 3 Cargas de calentamiento/funcionamiento para líneas de vapor de 50 m

Cargas de calentamiento para líneas de vapor de 50 m (kg/m)

Presión de vapor bar r	Diámetros - mm														Factor corrección -18°C
	50	65	80	100	125	150	200	250	300	350	400	450	500	600	
1	5	9	11	16	22	28	44	60	79	94	123	155	182	254	1,39
2	6	10	13	19	25	33	49	69	92	108	142	179	210	296	1,35
3	7	11	14	20	25	36	54	79	101	120	156	197	232	324	1,32
4	8	12	16	22	30	39	59	83	110	131	170	215	254	353	1,29
5	8	13	17	24	33	42	63	70	119	142	185	233	275	382	1,28
6	9	13	18	25	34	43	66	93	124	147	198	242	285	396	1,27
7	9	14	18	26	35	45	68	97	128	151	197	250	294	410	1,26
8	9	14	19	27	37	47	71	101	134	158	207	261	307	428	1,25
9	10	15	20	28	38	50	74	105	139	164	216	272	320	436	1,24
10	10	16	20	29	40	51	77	109	144	171	224	282	332	463	1,24
12	10	17	22	31	42	54	84	115	152	180	236	298	350	488	1,23
14	11	17	23	32	44	57	85	120	160	189	247	311	366	510	1,22
16	12	19	24	35	47	61	91	128	172	203	265	334	393	548	1,21
18	17	23	31	45	62	84	127	187	355	305	393	492	596	708	1,21
20	17	26	35	51	71	97	148	220	302	362	465	582	712	806	1,20
25	19	29	39	56	78	108	164	243	333	400	533	642	786	978	1,19
30	21	32	41	62	86	117	179	265	364	437	571	702	859	1 150	1,18
40	22	34	46	67	93	127	194	287	395	473	608	762	834	1 322	1,16
50	24	37	50	73	101	139	212	214	432	518	665	834	1 020	1 450	1,15
60	27	41	54	79	135	181	305	445	626	752	960	1 218	1 480	2 140	1,15
70	29	44	59	86	156	208	346	510	717	861	1 100	1 396	1 694	2 455	1,15
80	32	49	65	95	172	232	386	568	800	960	1 220	1 550	1 890	2 730	1,14
90	34	51	69	100	181	245	409	598	842	1 011	1 288	1 635	1 990	2 880	1,14
100	35	54	72	106	190	257	427	628	884	1 062	1 355	1 720	2 690	3 030	1,14
120	42	64	86	126	227	305	508	748	1 052	1 265	1 610	2 050	2 490	3 600	1,13

Cargas de funcionamiento para líneas de vapor de 50 m (kg/m)

	50	65	80	100	125	150	200	250	300	350	400	450	500	600	
1	5	5	7	9	10	13	16	19	23	25	28	31	35	41	1,54
2	5	6	8	10	12	14	18	22	26	28	32	35	39	46	1,50
3	6	7	9	11	14	16	20	25	30	32	37	40	45	54	1,48
4	7	9	10	12	16	18	23	28	33	37	42	46	51	61	1,45
5	7	9	11	13	17	20	24	30	36	40	46	49	55	66	1,43
6	8	10	11	14	18	21	26	33	39	43	49	53	59	71	1,42
7	8	10	12	15	19	23	28	35	42	46	52	56	63	76	1,41
8	9	11	14	16	20	24	30	37	44	49	57	61	68	82	1,40
9	9	11	14	17	21	25	32	39	47	52	60	64	72	88	1,39
10	10	12	15	17	21	25	33	41	49	54	62	67	75	90	1,38
12	11	13	16	18	23	26	36	45	53	59	67	73	81	97	1,38
14	12	14	17	20	26	30	39	49	58	64	73	79	93	106	1,37
16	12	15	18	23	29	34	42	52	62	68	78	85	95	114	1,36
18	14	16	19	24	30	36	44	55	66	72	82	90	100	120	1,36
20	15	17	21	25	31	37	46	58	69	76	86	94	105	125	1,35
25	15	19	23	28	35	42	52	66	78	86	97	106	119	141	1,34
30	17	21	25	31	39	47	51	73	87	96	108	118	132	157	1,33
40	20	25	30	38	46	56	70	87	104	114	130	142	158	189	1,31
50	24	29	34	44	54	65	82	102	121	133	151	165	184	220	1,29
60	27	32	39	50	62	74	95	119	140	155	177	199	222	265	1,28
70	29	35	43	56	70	82	106	133	157	173	198	222	248	296	1,27
80	34	42	51	66	81	97	126	156	187	205	234	263	293	350	1,26
90	38	46	56	72	89	106	134	171	204	224	265	287	320	284	1,26
100	41	50	61	78	96	114	149	186	220	242	277	311	347	416	1,25
120	52	63	77	99	122	145	189	236	280	308	352	395	440	527	1,22

Nota: Cargas de calentamiento y funcionamiento basadas en una temperatura ambiente de 20°C y un rendimiento del aislamiento del 80 %

Dilatación y soporte de tuberías

Dilatación

Las tuberías siempre se instalan a temperatura ambiente. Cuando transportan fluidos calientes, como agua o vapor, funcionan a temperaturas superiores y por lo tanto, se expanden, especialmente en longitud, al pasar de temperatura ambiente a la temperatura de trabajo. Esto creará tensiones en ciertas zonas del sistema de distribución, como las juntas de las tuberías, que pueden llegar a romperse. La dilatación puede calcularse mediante la siguiente ecuación, o encontrarse en los gráficos adecuados.

$$\text{Dilatación} = L \times \Delta_t \times \alpha \text{ (mm)}$$

Dónde: L = Longitud de tubería entre anclajes (m)
 Δ_t = Diferencia de temperatura °C
 α = Coeficiente de dilatación (mm/m°C) $\times 10^{-3}$

Tabla 4 Coeficientes de dilatación (α)

Material	Rango de temperatura °C							
	< 0	0 - 100	0 - 200	0 - 315	0 - 400	0 - 485	0 - 600	0 - 700
Acero suave 0,1-0,2 % C	12,8	14,0	15,0	15,6	16,2	17,8	17,5	-
Acero aleado 1 % Cr 0,5 % Mo	13,8	14,4	15,1	15,8	16,6	17,3	17,6	-
Acero inoxidable 18 % Cr 8 % Ni	9,4	20,0	20,9	21,2	21,8	22,3	22,7	23,0

Ejemplo

Encuentre la dilatación de 30 m de tubería al pasar de temperatura ambiente (10°C) a 152°C (vapor a 4 bar)

$$\begin{aligned} L &= 30 \text{ m} \\ \Delta_t &= 152^\circ\text{C} - 10^\circ\text{C} = 142^\circ\text{C} \\ \alpha &= 15,0 \times 10^{-3} \text{ mm/m}^\circ\text{C} \end{aligned}$$

$$\therefore \text{Dilatación} = 30 \times 142 \times 15,0 \times 10^{-3} \text{ mm}$$

$$\text{por tanto, dilatación} = 64 \text{ mm}$$

Alternativamente, se puede determinar la dilatación de la tubería mediante la Tabla 6 (página 41) para el cálculo de dilatación en 10 m de tubería de distintos materiales. Los gráficos como el de la Figura 34 (página 42) son también un método fácil para determinar la dilatación.

Flexibilidad de la tubería

La tubería debe ser suficientemente flexible para adaptarse a los movimientos de los componentes al calentarse. En la mayoría de los casos la tubería tiene suficiente flexibilidad natural, gracias a unas longitudes razonables y a la cantidad de curvas. En otras instalaciones, será necesario incorporar medios para lograr la flexibilidad necesaria. Cuando el condensado de una línea de transporte es drenado por el purgador a una línea de retorno que discurre paralela a la línea de vapor, debe tenerse en cuenta la diferencia de dilataciones. Esta diferencia es debida al cambio de temperaturas o al índice de dilatación del material de las tuberías.

La línea de vapor estará a una temperatura mucho más alta que la de retorno de condensado y los dos puntos de conexión tendrán un movimiento relativo durante el calentamiento del sistema. Deberá aportarse algo de flexibilidad a la conducción del purgador para que las conexiones del ramal no sufran tensiones excesivas. (Véase la Figura 23).

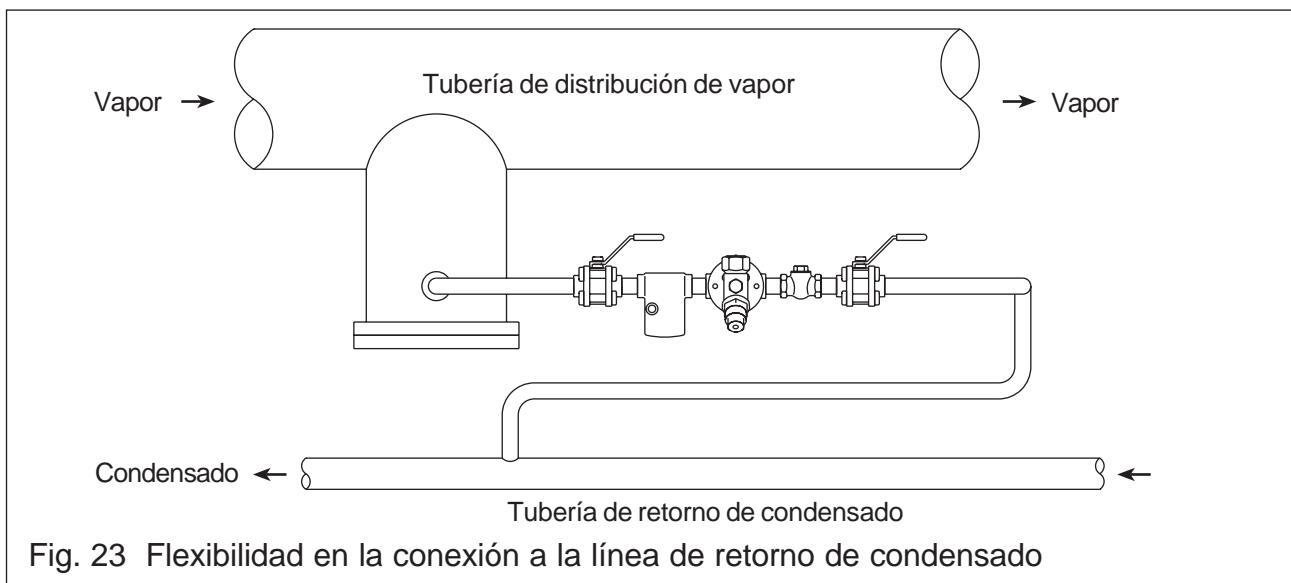
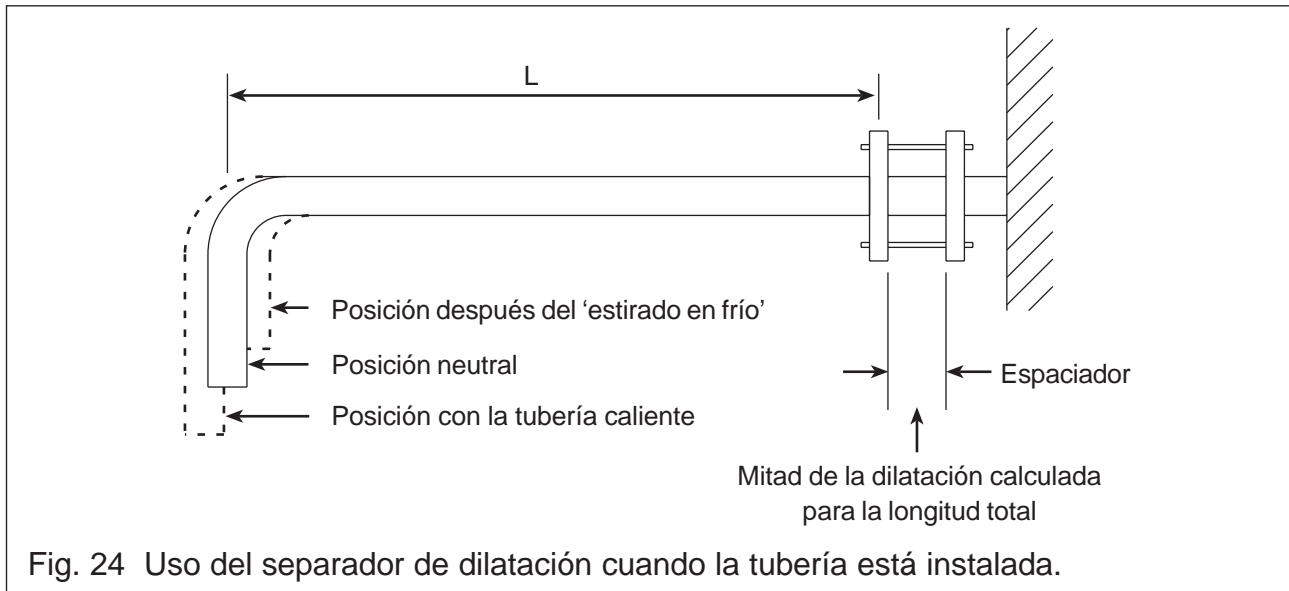


Fig. 23 Flexibilidad en la conexión a la línea de retorno de condensado

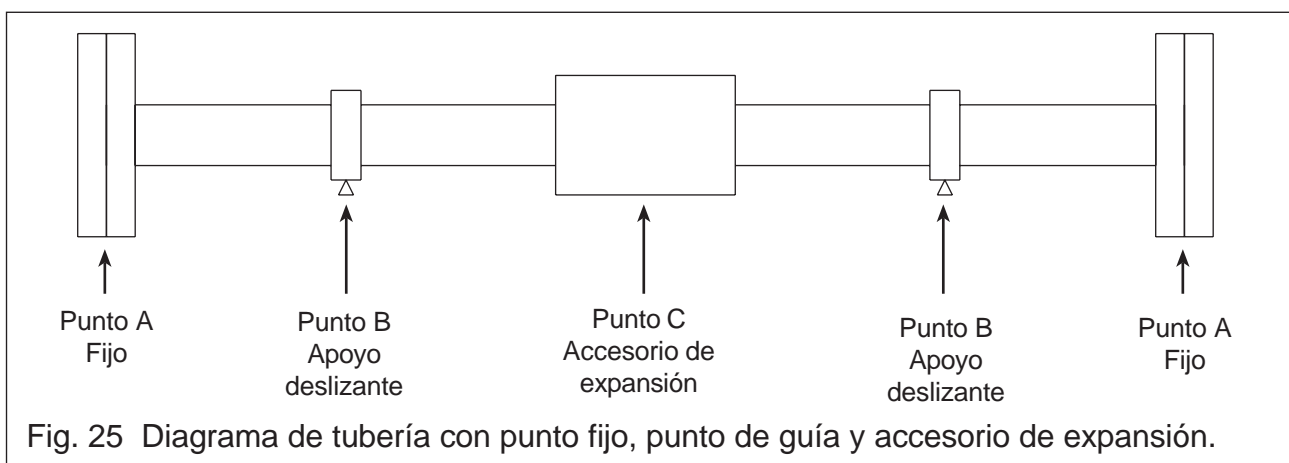
La magnitud del movimiento que deberá soportar la tubería y cualquier elemento incorporado, puede reducirse mediante el 'estirado en frío'. Primeramente se calcula la dilatación total para cada una de las secciones entre los puntos de anclaje fijo. La tubería se deja tanto más corta como la mitad de esta dilatación total, y se estira en frío, con tornillos tensores aplicados sobre la brida de una junta, de manera que a temperatura ambiente, la tubería quede sometida a esfuerzos en una dirección. Cuando se caliente el sistema hasta la mitad de la temperatura, la tubería no soportará esfuerzos. A la temperatura de trabajo y habiéndose dilatado completamente, la tubería soportará esfuerzos en la dirección opuesta. La diferencia es que en lugar de variar la tensión entre 0 F y + 1 F unidades de fuerza, la tensión en la tubería variará entre; $\frac{1}{2}$ F y + $\frac{1}{2}$ F unidades de fuerza.

En la práctica, la tubería se monta con un espaciador, de longitud igual a la mitad de la dilatación entre dos bridas. Cuando la tubería está del todo instalada y anclada, se desmonta el espaciador y se aprieta bien la conexión (véase la Figura 24).



Si la parte restante de la dilatación no es absorbida por la flexibilidad natural de la tubería, pedirá la utilización de un accesorio de expansión.

La dilatación y el soporte de las tuberías en la práctica, puede clasificarse en las tres áreas siguientes como se muestra a continuación en la Figura 25.



El punto fijo (A) es un dato de posición desde donde comienza la dilatación.

El punto de guía (B) permite el movimiento libre de dilatación de la tubería, manteniendo a la vez la alineación.

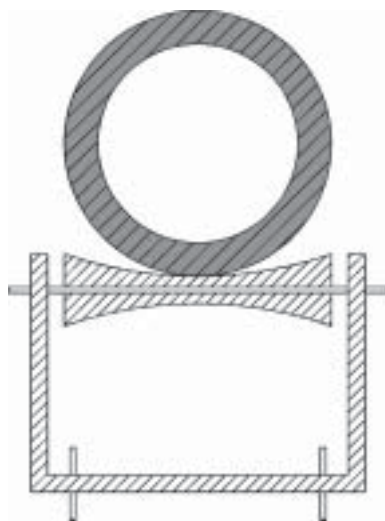


Fig. 26 Patín

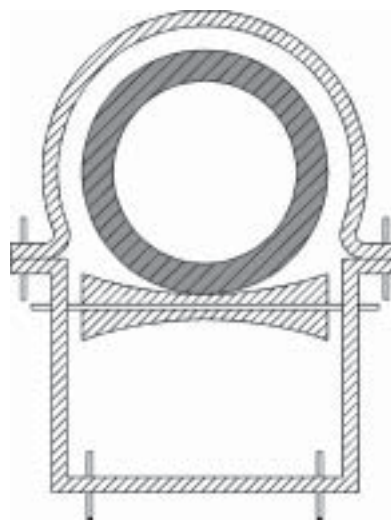


Fig. 27 Patín con abrazadera

Los patines son un método ideal de soporte de las tuberías, pues les permiten el movimiento en dos direcciones. Para las tuberías de acero, los patines deben estar fabricados en material férrico y para tuberías de cobre, deben ser de material no férrico. Es bueno montar una abrazadera a las tuberías soportadas por patines, atornillándolas a un soporte cada no más de 6 m, para mantener la tubería alineada mientras se dilata y se contrae.

Cuando se deben soportar dos tuberías, no es una buena solución montar la tubería inferior colgada de la tubería superior con una abrazadera. Esto provocaría una tensión extra sobre la tubería superior, cuyo espesor ha sido dimensionado para soportar solamente las tensiones de su presión de trabajo.

Todos los soportes de tuberías deben estar especialmente diseñados para adaptarse al diámetro exterior de la tubería en cuestión.

El accesorio de expansión (C) es un método de adaptación a la dilatación. Estos accesorios se montan en la línea, y están diseñados para acomodar la dilatación, sin que cambie la longitud total de la tubería.

Accesorios de dilatación

Curva completa (Figura 28)

Esto es simplemente una vuelta completa de la tubería y es preferible montarla horizontalmente que en posición vertical, para evitar que se acumule el condensado en su interior.

El lado de salida ha de pasar por debajo del lado de entrada y debe prestarse mucha atención a no montarla al revés. Cuando las curvas completas se vayan a montar en espacios limitados, asegúrese al hacer el pedido, para evitar que se le suministren del lado contrario al que requiere.

Al dilatarse, la curva completa no produce una fuerza en oposición a la dilatación de la tubería, como sucede con otros tipos de accesorios, pero cuando hay presión en su interior, existe una ligera tendencia a disminuir la curvatura, lo que produce una sollicitación adicional en las bridas.

Lira o herradura (Figura 29)

Cuando se dispone de espacio algunas veces se utiliza este tipo de accesorio. Lo mejor es montarla horizontalmente para que la curva y la tubería estén en el mismo plano por las mismas razones que la curva cerrada.

La presión no tiende a abrir los extremos de la curva pero hay un ligero efecto de tensión hacia el exterior debido al diseño, que no causa desalineación en las bridas. En otros casos, la "curva" se fabrica con tramos rectos de tubería, y curvas de 90°. Esto puede no ser efectivo y requiere más espacio, pero cumple con las mismas necesidades. Si este dispositivo se monta verticalmente, deberá disponerse un punto de purga antes de la lira.

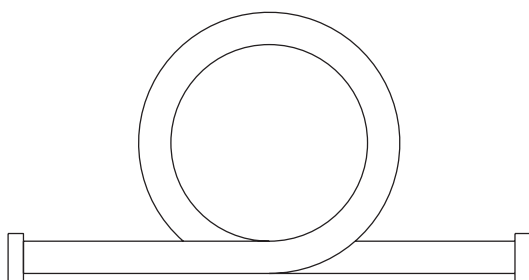


Fig. 28 Curva completa

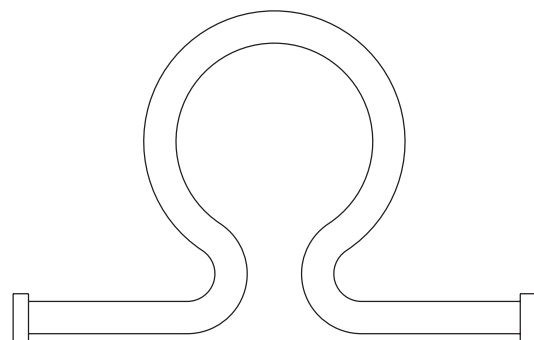


Fig. 29 Lira o herradura

Curvas de dilatación (Figura 30)

Las curvas de dilatación se pueden fabricar con tramos rectos de tuberías y codos soldados en las juntas. Los valores de expansión que se pueden absorber en tales conjuntos se muestran en las Figuras 35 y 36 de la página 43.

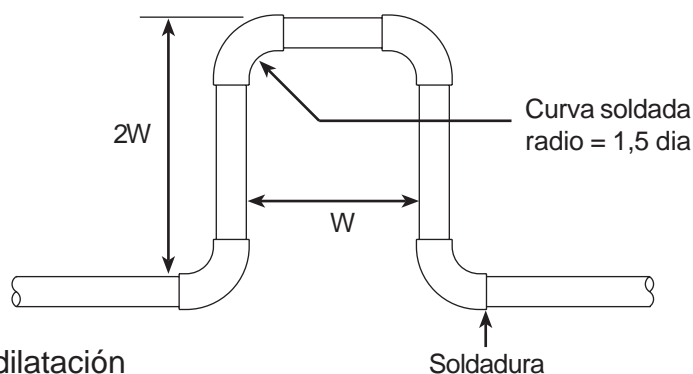


Fig. 30 Curva de dilatación

Junta deslizante (Figura 31)

Se usan frecuentemente por el reducido espacio que ocupan, pero es imprescindible que la tubería esté rígidamente anclada y guiada, siguiendo las instrucciones del fabricante. Si no es así, la presión de vapor que actúa sobre la sección transversal del casquillo de la junta, tiende a provocar un movimiento en oposición a las fuerzas debidas a la expansión de la tubería. Si no está bien alineada, el casquillo se curvará, por lo que también será necesario un mantenimiento regular del prensaestopas.

Fuelles (Figura 32)

Un simple fuelle tiene la ventaja de ser un accesorio que se monta en la línea y no requiere empaquetadura, como en el caso de la junta deslizante. Pero presenta las mismas desventajas que la junta deslizante en cuanto que la presión interna tiene tendencia a alargar el accesorio, por lo que los anclajes y las guías deben ser capaces de soportar estas fuerzas.

Los fuelles, no obstante, se pueden incorporar a diversos dispositivos de expansión de diseño adecuado, como se muestra en la Figura 33 de la página 39, que es capaz de absorber no sólo el movimiento axial, sino que también absorbe parte del desplazamiento lateral y angular. Como en el caso anterior, la instalación debe cumplir las instrucciones del fabricante.

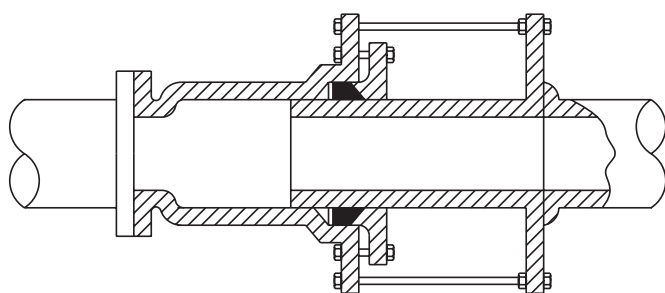


Fig. 31 Junta deslizante

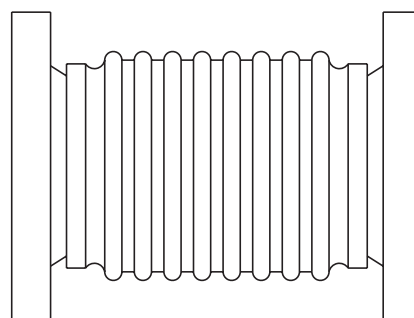


Fig. 32 Fuelle

Para que los accesorios de expansión trabajen correctamente, la tubería deberá estar bien anclada en algún punto entre los dispositivos de expansión. También es muy importante que esté bien guiada para que ningún movimiento interfiera en la pendiente de diseño hacia los puntos de purga.

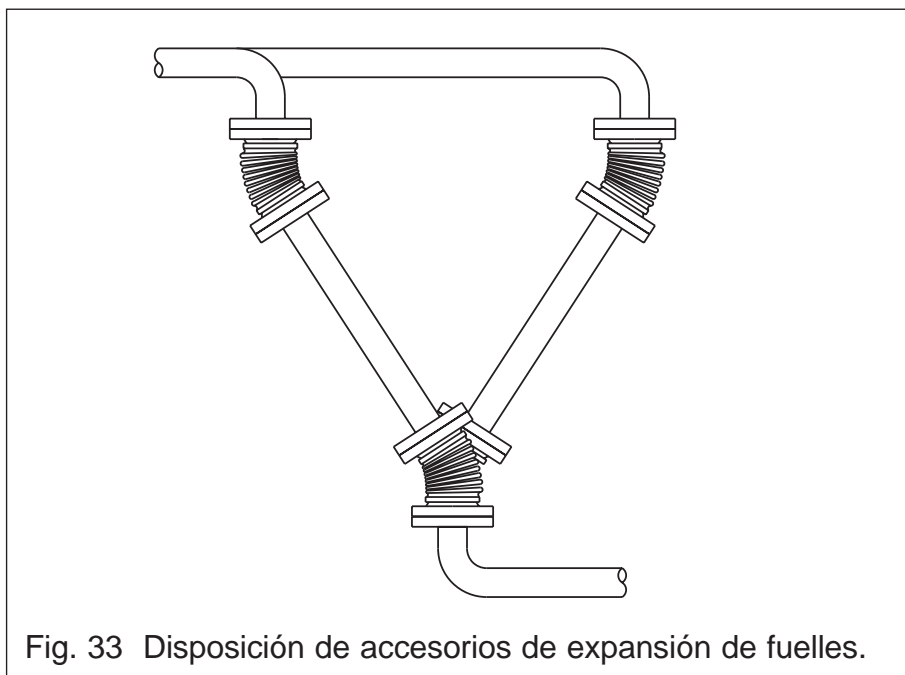


Fig. 33 Disposición de accesorios de expansión de fuelles.

Distancia entre soportes de tubería

La frecuencia de los soportes de tubería variará de acuerdo con el diámetro de la tubería; el material (acero o cobre); y si está en posición horizontal o vertical.

Generalmente los soportes de tuberías deben cumplir la BS 3974, Parte 1, 1974: 'Soportes colgados, deslizantes y de patín'. Algunos puntos importantes son:

- Los soportes deben ir montados en las uniones de tuberías, (curvas, 'T', válvulas y bridas), y a intervalos no mayores a los mostrados en la tabla que hay más abajo. La razón de colocar los soportes en las uniones, es para eliminar las tensiones en juntas roscadas o con bridas.
- Cuando hay dos o más tuberías soportadas por un accesorio común, la distancia entre los puntos de soporte debe ser la adecuada para la tubería de menor tamaño.
- Cuando el movimiento vaya a ser considerable, como en tramos de tubería recta de longitud superior a 15 m, los soportes deberán ser de tipo patín como se mencionó anteriormente.

La siguiente tabla puede utilizarse como guía cuando calcule la distancia entre soportes de tubería de acero y de cobre.

Tabla 5 Soportes recomendados para tubería

Diámetro nominal (mm) Acero/Cobre		Intervalo de recorrido horizontal (m)		Intervalo de recorrido vertical (m)	
ø interior	ø exterior	Acero suave	Cobre	Acero suave	Cobre
12	15		1,0		1,2
15	18	2,0	1,2	2,4	1,4
20	22	2,4	1,4	3,0	1,7
25	28	2,7	1,7	3,0	2,0
32	35	2,7	1,7	3,0	2,4
40	42	3,0	2,0	3,6	2,4
50	54	3,4	2,0	4,1	2,4
65	67	3,7	2,0	4,4	2,9
80	76	3,7	2,4	4,4	3,2
100	108	4,1	2,7	4,9	3,6
125	133	4,4	3,0	5,3	4,1
150	159	4,8	3,4	5,7	
200	194	5,1		6,0	
250	267	5,8		5,9	

Las tuberías verticales deben soportarse adecuadamente en la base, para aguantar todo el peso de la tubería. Las derivaciones de las tuberías verticales no deben utilizarse como medio de soporte de la tubería, ya que esto causaría excesivos esfuerzos sobre las uniones en 'T'.

Todos los soportes deben estar específicamente diseñados para adaptarse al diámetro exterior de la tubería en cuestión. No conviene utilizar soportes de tubería sobredimensionados.

Tabla 6 Dilatación de las tuberías (mm cada 10 m)

Temperatura °C	Materiales				
	Acero al carbono mm/10 m	Acero 12 % Cr mm/10 m	Acero inox. 18/8 mm/10 m	Hierro dúctil mm/10 m	Cobre mm/10 m
-30	-4,99	-5,05	-7,79	-4,54	-7,16
-25	-4,44	-4,49	-6,92	-4,04	-6,38
-20	-3,90	-3,94	-6,05	-3,53	-5,59
-15	-3,35	-3,38	-5,19	-3,03	-4,79
-10	-2,80	-2,82	-4,32	-2,52	-4,00
-5	-2,24	-2,26	-3,46	-2,02	-3,20
0	-1,69	-1,69	-2,59	-1,51	-2,41
5	-1,13	-1,13	-1,73	-1,01	-1,61
10	-0,56	-0,57	-0,86	-0,50	-0,80
15	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
20	0,57	0,57	0,86	0,50	0,81
25	1,14	1,13	1,73	1,01	1,61
30	1,71	1,70	2,59	1,51	2,42
35	2,29	2,27	3,46	2,02	3,24
40	2,86	2,84	4,32	2,52	4,05
45	3,44	3,42	5,18	3,21	4,87
50	4,03	3,99	6,05	3,75	5,68
55	4,61	4,56	6,91	4,28	6,50
60	5,20	5,14	7,78	4,82	7,33
65	5,79	5,72	8,64	5,36	8,15
70	6,39	6,29	9,50	5,89	8,98
75	6,98	6,87	10,37	6,43	9,80
80	7,58	7,45	11,23	6,96	10,63
85	8,18	8,03	12,09	7,50	11,47
90	8,79	8,62	12,95	8,03	12,30
95	9,39	9,20	13,82	8,57	13,14
100	10,00	9,78	14,68	9,10	13,97
110	11,23	10,96	16,41	10,53	15,66
120	12,47	12,13	18,13	11,64	17,35
130	13,72	13,32	19,85	12,75	19,04
140	14,97	14,50	21,58	13,86	20,75
150	16,24	15,69	23,30	14,97	22,46
160	17,52	16,89	25,02	16,60	24,19
170	18,81	18,08	26,75	17,74	25,92
180	20,11	19,29	28,47	18,89	27,65
190	21,43	20,50	30,19	20,03	29,40
200	22,75	21,71	31,91	21,18	31,15
210	24,08	23,04	33,63	23,38	
220	25,42	24,28	35,35	24,58	
230	26,78	25,53	37,07		
240	28,14	26,78	38,79		
250	29,52	28,04	40,51		
260	30,90	29,30	42,23		
270	32,30	30,57	43,94		
280	33,70	31,85	45,66		
290	35,12	33,13	47,38		
300	36,55	34,42	49,09		
310	37,98	35,71	50,81		
320	39,43	37,01	52,53		
330	40,89	38,32	54,24		
340	42,36	39,63	55,95		
350	43,84	40,94	57,67		
360	45,33	42,26	59,38		
370	46,83	43,59	61,10		
380	48,35	44,93	62,81		
390	49,87	46,27	64,52		
400	51,40	47,61	66,23		
410		48,96	67,94		
420		50,32	69,66		
430		51,68	71,37		
440		53,05	73,08		
450		54,43	74,79		
460		55,81	76,49		
470		57,19	78,20		
480		58,58	79,91		
490		59,98	81,62		
500		61,38	83,33		

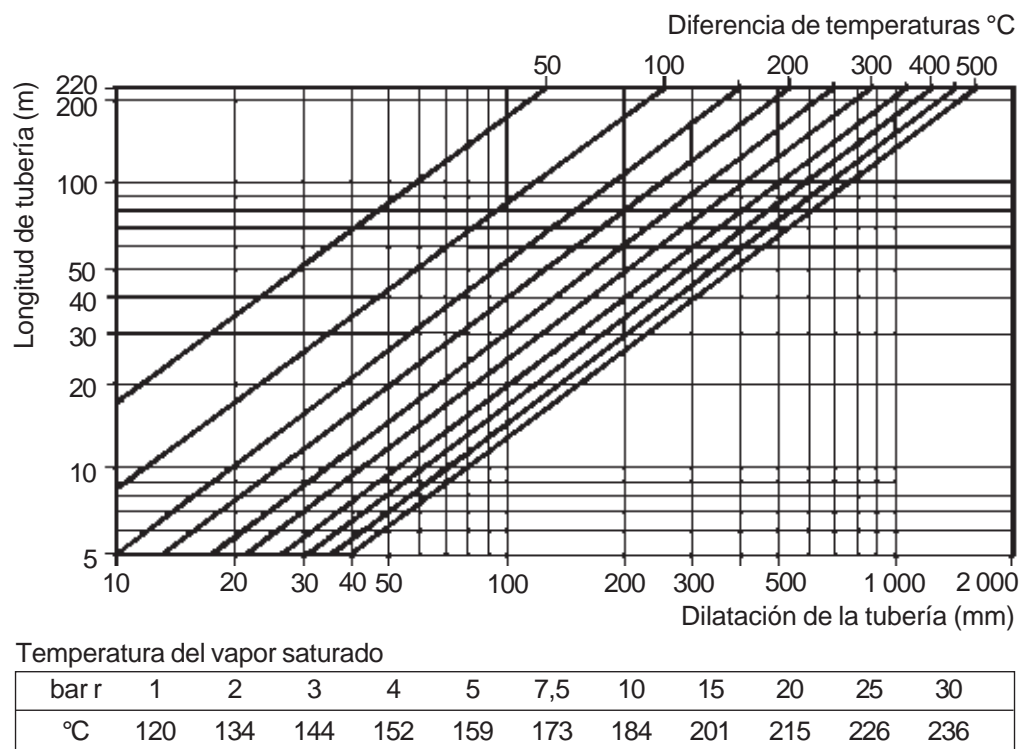


Fig. 34 Gráfico de expansión para tubería de acero suave

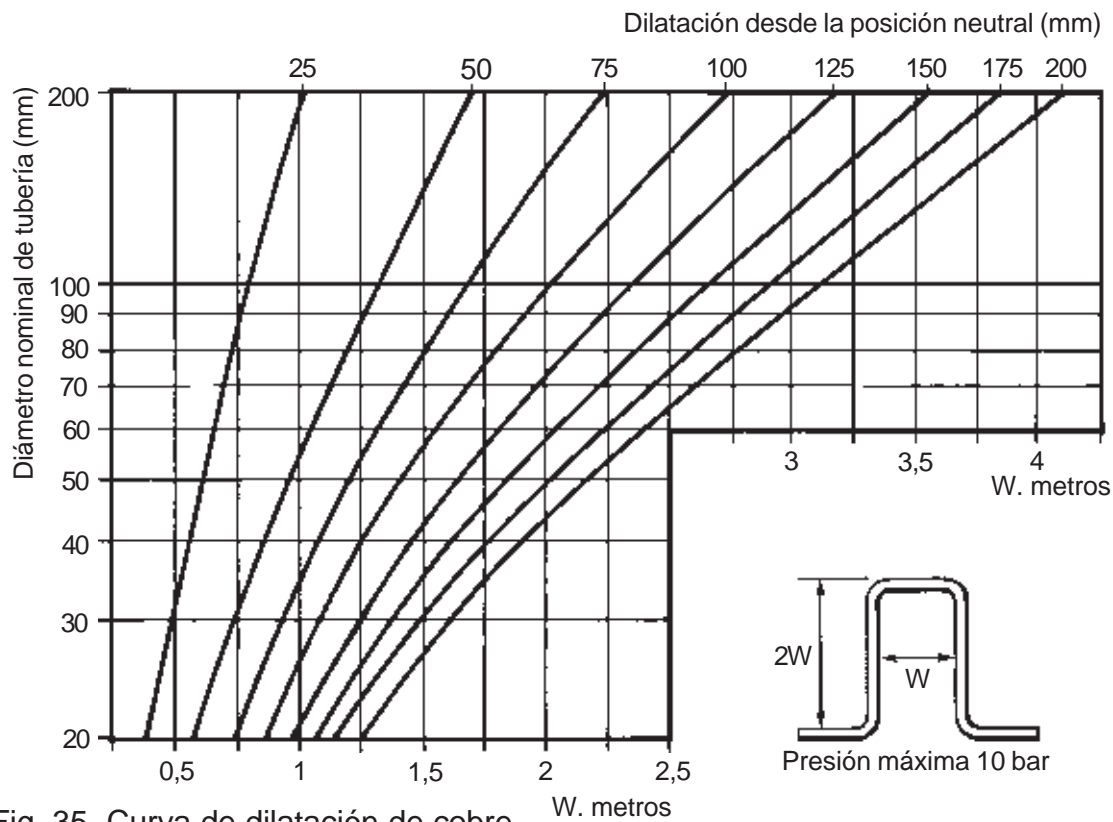


Fig. 35 Curva de dilatación de cobre

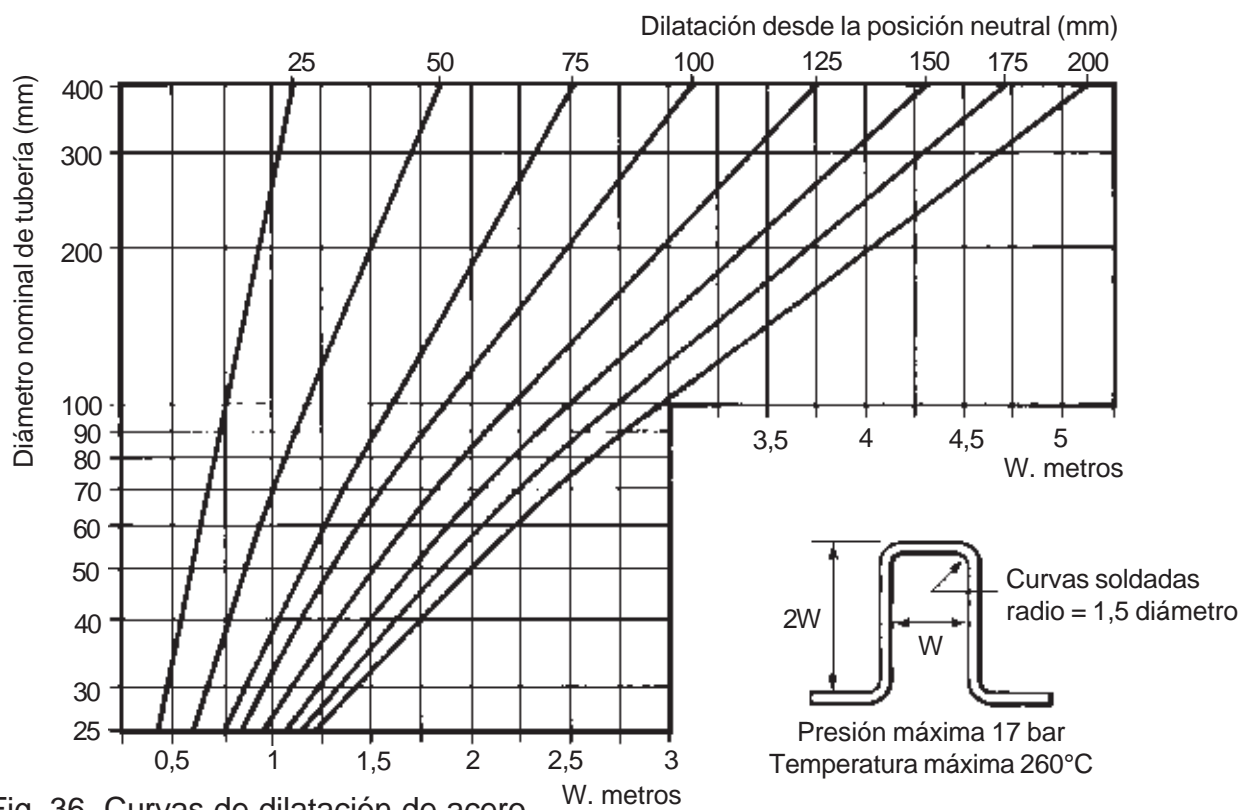


Fig. 36 Curvas de dilatación de acero

Eliminación de aire

A menudo se olvida que cuando se introduce vapor en una línea después de un periodo de parada, la tubería está llena de aire. Además, con el vapor se introducen ciertas cantidades de aire y otros gases no condensables, aunque las proporciones de estos gases son normalmente muy pequeñas comparadas con el vapor. No obstante, si no se toman medidas para eliminarlos, estos gases se acumularán en la tubería y en los espacios que libera el vapor al condensar en los intercambiadores de calor. El calentamiento del sistema de vapor se convertirá en un proceso largo que contribuirá a la disminución del rendimiento de la planta.

Otro efecto del aire en el sistema de vapor será el efecto sobre la presión y la temperatura. El aire ejercerá su presión parcial en el espacio del vapor, y esta presión se añadirá a la presión parcial del vapor, dando entre ambas, la presión total. Por lo tanto, la presión del vapor será menor a la presión total señalada por el manómetro. La temperatura será también menor a la que correspondería por la indicación del manómetro. En realidad este es usualmente un concepto marginal. Mucho más importante es el efecto que el aire tiene sobre la transferencia de calor. Una capa de aire de 1 micra de espesor puede ofrecer la misma resistencia al paso del calor que una capa de agua de 25 micras de espesor, o una capa de hierro de 2mm, o una capa de cobre de 17 mm. Es, por tanto, de suma importancia eliminar el aire del sistema.

Los eliminadores de aire automáticos para sistemas de vapor no son más que purgadores de vapor termostáticos, montados a un nivel superior al del condensado, de forma que sólo lo alcancen el vapor, o el aire, o mezclas de aire/vapor. La mejor ubicación para los eliminadores de aire son los extremos de líneas de vapor principales o derivaciones de gran diámetro como se ve en la Figura 37.

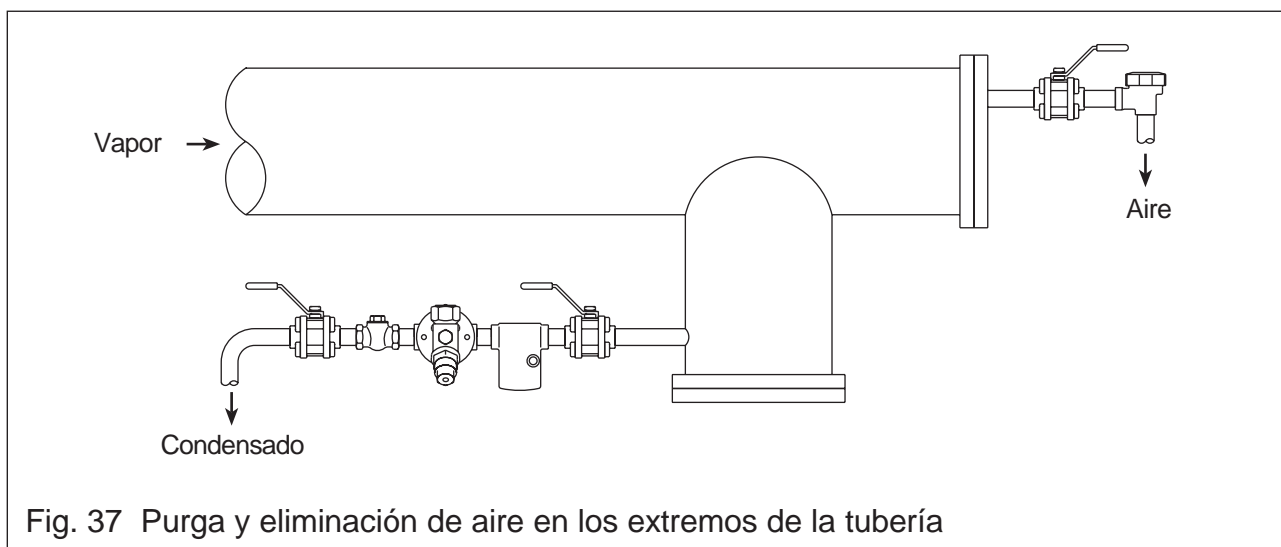


Fig. 37 Purga y eliminación de aire en los extremos de la tubería

La descarga del eliminador de aire se puede conducir a un lugar seguro. En la práctica, es frecuente llevarla a una línea de condensado, cuando se trata de una línea que por gravedad desciende hasta un recipiente con venteo.

Además de los extremos de líneas principales, otras partes del sistema de vapor que pueden requerir la eliminación de aire son:

- En paralelo con un purgador de cubeta invertida, ya que estos son relativamente lentos para eliminar el aire en la puesta en marcha.
- En espacios de vapor complicados como el lado opuesto a la entrada de vapor en un recipiente con camisa de vapor.
- Cuando hay un gran espacio de vapor, y debe evitarse la mezcla de vapor/aire.

Reducción de pérdidas de calor

Cuando una línea de vapor se ha calentado, se sigue produciendo condensado a causa de las pérdidas de calor por radiación. La tasa de condensación depende de la temperatura del vapor, la temperatura ambiente y la eficacia del sistema de aislamiento.

Para que un sistema de distribución sea máximamente eficiente, deberán cuidarse todos los aspectos para reducir las pérdidas de calor al mínimo de forma rentable. El espesor de aislamiento más rentable dependerá de diversos factores:

- Coste de la instalación.
- Valor del calor transportado por el vapor.
- Tamaño de la tubería.
- Temperatura de la tubería.

Si la tubería que se desea aislar está en el exterior, deberá tenerse en cuenta la velocidad del aire y la capacidad de amortiguamiento del aislante.

La mayoría de los materiales aislantes se basan en diminutas células de aire, dispuestas en una base de material inerte como lana mineral, fibra de vidrio o silicato de calcio. Las instalaciones típicas utilizan fibra de vidrio chapada en aluminio, lana mineral chapada en aluminio y silicato de calcio. Es importante que el material aislante no quede aplastado o pueda inundarse. Es esencial una protección mecánica adecuada y la resistencia al agua, especialmente cuando se encuentra a la intemperie.

Las pérdidas de calor de una tubería de vapor al agua, o al aislante saturado de agua, pueden ser tanto como 50 veces mayores que las pérdidas de la misma tubería al aire. Debe prestarse una atención especial a la protección de las líneas de vapor que discurren por suelos inundados o por conductos susceptibles de inundarse.

Debe tenerse en cuenta la necesidad de aislar todos los elementos calientes del sistema. Esto incluye todas las juntas con bridas de las tuberías de distribución, las válvulas y otros accesorios. En el pasado, era común que el aislamiento quedara cortado a ambos lados de una junta con bridas, permitiendo el acceso a los tornillos para el mantenimiento. Esto representaba unos 0,3 m de tubería descubierta, a lo que había que añadirle la superficie de las bridas. El efecto total de esto era el equivalente a dejar descubiertos 0,6 m de tubería en cada junta. Afortunadamente, la disponibilidad de fundas aislantes prefabricadas para juntas con bridas, y cajas para aislar las válvulas es ampliamente valorada. Normalmente estos aislamientos van provistos de cierres que permiten ser desmontados con facilidad para realizar tareas de mantenimiento.

Cálculo de la transferencia de calor

El cálculo de las pérdidas de calor de una tubería puede ser muy complejo y llevarnos mucho tiempo, ya que se debe considerar la teoría de transferencia de calor por conducción, convección y radiación. Las ecuaciones para calcular estos factores son distintas y asumen que los datos relacionados con el espesor de tubería, coeficientes de transferencia de calor y diversas constantes derivadas son fácilmente conocidas.

El estudio de estas formulaciones escapa del objetivo de esta guía, pero cabe decir que en cualquier buen libro de termodinámica puede encontrarse información sobre el tema. Existe, además, gran abundancia de software que proporciona gran ayuda al ingeniero exigente.

De esta manera, la solución más corriente a este problema, puede encontrarse fácilmente utilizando la Tabla 7 y una ecuación sencilla. La tabla supone condiciones ambientales entre 10 - 21 °C, y considera las pérdidas de calor en tuberías horizontales de distintos tamaños a varias presiones.

Tabla 7 Emisiones de calor en las tuberías

Diferencia de temperatura entre vapor y aire °C	Tamaño do tubería									
	15 mm	20 mm	25 mm	32 mm	40 mm	50 mm	65 mm	80 mm	100 mm	150 mm
	W/m									
56	54	65	79	103	108	132	155	188	233	324
67	68	82	100	122	136	168	198	236	296	410
78	83	100	122	149	166	203	241	298	360	500
89	99	120	146	179	205	246	289	346	434	601
100	116	140	169	208	234	285	337	400	501	696
111	134	164	198	241	271	334	392	469	598	816
125	159	191	233	285	285	394	464	555	698	969
139	184	224	272	333	333	458	540	622	815	1 133
153	210	255	312	382	382	528	623	747	939	1 305
167	241	292	357	437	437	602	713	838	1 093	1 492
180	274	329	408	494	494	676	808	959	1 190	1 660
194	309	372	461	566	566	758	909	1 080	1 303	1 852

Nota: Emisión de calor en tuberías horizontales sin protección con temperatura ambiente entre 10°C y 21°C y aire en calma.

Se pueden introducir otros factores en la ecuación, como por ejemplo, si la tubería estuviera aislada, se produciría una reducción de un 15 % en las pérdidas de calor respecto a una tubería no aislada. En este caso, basta con multiplicar \dot{M} por un factor 0,15.

Donde: $\dot{M} = \frac{Q \times L \times 3,6}{h_{fg}} \times f$

\dot{M} = Tasa de condensación (kg/h)

Q = Emisión calorífica (W/m) (según Tabla 7)

L = Longitud efectiva de tubería, teniendo en cuenta bridas y accesorios(m)

h_{fg} = Entalpía específica de evaporación (kJ/kg)

f = factor de aislamiento. Para tuberías sin aislar f = 1.

Para tuberías bien aisladas f = 0,15.

Normativas de UK e Internacionales

Se han utilizado símbolos para indicar estándares armonizados, estándares técnicamente equivalentes y estándares relacionados -≡; = y ¹ respectivamente.

BS 10 Especificación para bridas y tornillos de tuberías, válvulas y accesorios.

BS 21 = ISO 7/1 ≠ ISO 7/2 Especificación para roscas en tuberías y accesorios cuando las juntas se hacen estancas a la presión en las roscas.

BS 806 Especificación para diseño y construcción de instalaciones de tuberías férricas para y en conexiones con calderas terrestres.

BS 1306 Especificación para sistemas de tuberías de cobre y aleación de cobre.

BS 1387 Especificación para tubos con extremo enchufado o roscado y para tubos de acero de extremo liso adecuados para soldar y roscar con roscas de tuberías BS 21.

BS 1560 Bridas circulares para tuberías, válvulas y accesorios (clase designada); Parte 3 Sección 3.1 Especificación para bridas de acero (≠ISO 7005); Parte 3 Sección 3.2 Especificación para bridas de hierro fundido (≠ISO 7005-2); Parte 3 Sección 3.3 Especificación para bridas de aleación de cobre y compuestos (≠ISO 7005-3).

BS 1600 Dimensiones de las tuberías de acero para la industria del petróleo.

BS 1965 Especificación para accesorios de tuberías butt welding para trabajar a presión.

BS 1710 Especificación para la identificación de tuberías.

BS 2779 = ISO 228/1 e ISO 228/2 Especificación para roscas de tuberías y accesorios cuando la estanqueidad a la presión de las juntas no se realiza en las roscas.

BS 3600 Especificación para dimensiones y masas por unidad de longitud de tuberías de acero estirado y soldado y tubos para trabajar a presión.

BS 3601 Especificación para tuberías y tubos de acero con propiedades de temperatura local especificadas para trabajar a presión.

BS 3602 Especificación para tuberías y tubos de acero para trabajar a presión: acero al carbono y al carbono-manganeso con especificación de propiedades térmicas elevadas.

BS 3603 Especificación para tubos y tuberías de acero aleado y al carbono con especificación de propiedades térmicas bajas para trabajar a presión.

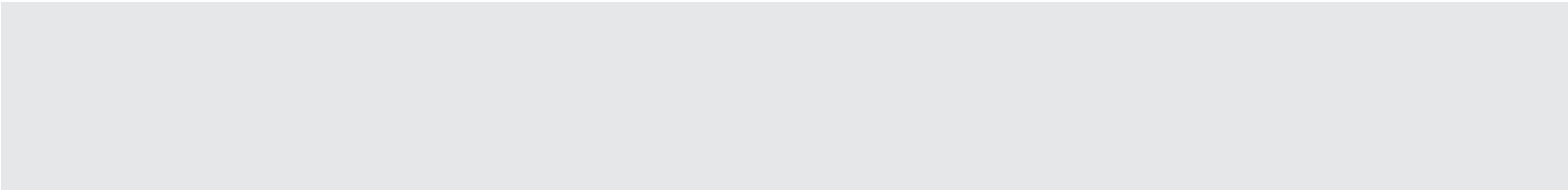
BS 3604 Tubos y tuberías de acero para trabajar a presión: acero de aleación ferrítica con especificación de propiedades térmicas elevadas.

BS 3605 Tubos y tuberías de acero inoxidable austenítico para trabajar a presión.

BS 3799 Especificación para accesorios de tubería de acero, roscados o socket welded para la industria del petróleo.

BS 3974 Especificación para soportes de tuberías.

BS 4504 Parte 3 Sección 3.1 Especificación para bridas de acero; Sección 3.2 Especificación para bridas de hierro fundido (≠ISO 7005-2); Sección 3.3 Especificación para bridas de aleación de cobre y compuestos (≠ISO 7005/3).



Sumario

Para resumir lo que ha cubierto esta Guía de Referencia Técnica, sería apropiado finalizar con una lista de comprobación, que nos servirá para asegurar que un sistema de distribución de vapor funcione con un rendimiento óptimo.

- ¿Están bien dimensionadas las líneas de distribución de vapor?
- ¿Están debidamente instaladas las líneas de distribución de vapor?
- ¿Se purgan de forma adecuada las líneas de distribución?
- ¿Se elimina correctamente el aire de las tuberías?
- ¿Se ha previsto adecuadamente la dilatación?
- ¿Se pueden utilizar separadores para mejorar la calidad del vapor?
- ¿Hay fugas en juntas, prensaestopas o válvulas de seguridad?
- ¿Hay tuberías sobrantes que puedan aislarse o eliminarse del circuito?
- ¿Está suficientemente calorifugado el sistema?

Apéndice 1 – Dimensionado según la capacidad y la caída de presión de las tuberías

Lo que se expone a continuación se refiere a la sección titulada 'Dimensionado de tuberías según la caída de presión'. El ejemplo demuestra el método teórico para el cálculo del tamaño de la tubería utilizando la caída de presión.

Ejemplo

Supongamos que tenemos una caldera que alimenta una batería de calefacción como en la Figura 38.

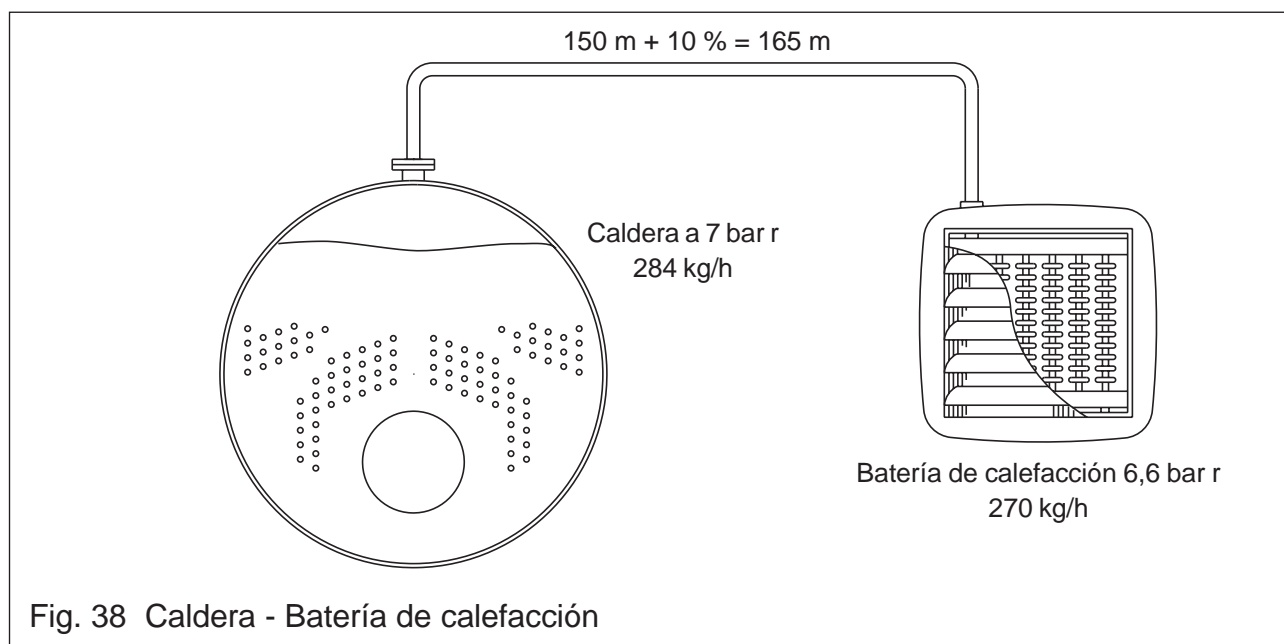


Fig. 38 Caldera - Batería de calefacción

La longitud del recorrido desde la caldera hasta la batería de calefacción es conocida, pero debemos calcular la longitud equivalente de tubería que tenga en cuenta la resistencia al paso del fluido de los accesorios instalados.

Si el tamaño de la tubería fuese conocido, podríamos calcular la resistencia de los accesorios. Como no conocemos el tamaño, sumaremos la longitud equivalente basándonos en la experiencia. Si la línea tiene más de 100 metros de longitud, y su recorrido es relativamente recto, el aumento proporcional debido a los accesorios será de un 10 %. Otra línea, también relativamente recta, pero de una longitud inferior, requerirá un aumento sobre el 20 %.

Debe aún sumarse otro complemento, este, a causa de las pérdidas de calor en las tuberías. La batería de calefacción requiere 270 kg/h de vapor. Por tanto, la tubería deberá transportar este caudal, más la cantidad de vapor que condensa debido a las pérdidas de calor. El tamaño de la tubería de distribución está aún por determinar y, por tanto, todavía no podemos realizar los cálculos. Suponiendo que la tubería esté aislada, es razonable sumar un 1 % del caudal de vapor cada 30 metros de recorrido por pérdidas de calor. Esto equivale a un 3,4 % cada 100 m, y en

nuestro caso, el 3,4 % de 270 kg/h cada 100 m, multiplicado por la longitud de la tubería, nos daría lo siguiente:

$$\frac{3,4}{100} \times \frac{270 \text{ kg/h}}{100 \text{ m}} \times 150 \text{ m} = 14 \text{ kg/h debido a las pérdidas de calor}$$

$$\text{Caudal total de vapor} = 270 \text{ kg/h} + 14 \text{ kg/h} = 284 \text{ kg/h}$$

Volviendo a la ecuación

De la tabla de factores de presión para dimensionado de tuberías (Tabla 8 página 55)

$$\begin{array}{ll} P_1 \text{ a } 7,0 \text{ bar r} & = 56,38 \\ P_2 \text{ a } 6,6 \text{ bar r} & = 51,05 \\ \text{Longitud } L & = 165 \text{ m} \end{array}$$

$$\text{Por lo tanto, } F = \frac{P_1 - P_2}{L} = \frac{56,38 - 51,05}{165} = 0,0323$$

Siguiendo hacia abajo por la columna izquierda de la tabla de factores de capacidad de tuberías y caída de presión (Tabla 9), se encuentra que las dos lecturas más cercanas a nuestro valor de 0,0323 son 0,03 y 0,04. El factor 0,04 implica una caída de presión hasta una presión final inferior a 6,6 bar y, por lo tanto, debemos elegir el siguiente valor inferior, en este caso, 0,030. Es una mala práctica dimensionar una tubería al límite de su capacidad, pues se debe disponer de un margen para compensar cualquier error en el diseño. Tomamos pues, el factor inferior siguiente. También se pueden interpolar las lecturas con una precisión razonable, aunque la tabla no corresponde a una línea recta en un gráfico y en consecuencia, interpolar no es absolutamente correcto.

Desde 0,030, se sigue la línea x (volumen de vapor), y vemos que una tubería de 40 mm transporta sólo 229,9 kg/h y una de 50 mm transporta 501,0 kg/h. Obviamente, deberemos seleccionar la tubería de 50 mm de diámetro ya que cumple el requisito de capacidad.

Habiendo dimensionado la tubería de distribución según el método de la caída de presión, podemos ahora comprobar si estamos aún dentro de los límites requeridos de velocidad del vapor. Esto supondrá utilizar la línea del factor de velocidad (y) de la Tabla 9, que se basa en un volumen de vapor de 1 m³/kg.

Nuestro diagrama (Figura 38), muestra 284 kg de vapor pasando a través de una tubería de 50 mm. Si vamos a la Tabla 9 y buscamos en la columna de tubería de 50 mm, veremos que donde se transporta esta cantidad de vapor, el factor de velocidad (y) es aproximadamente 40.

El vapor a 7 bar r tiene un volumen específico (como muestra la Tabla 8 página 55) de 0,24 m³/kg, por lo tanto, la velocidad real en el sistema del ejemplo utilizando una tubería de 50 mm es:

$$y = \text{Velocidad real} \times 1$$

$$40 = \frac{\text{Velocidad real}}{0,24}$$

$$\text{Velocidad real} = 40 \times 0,24$$

$$\therefore \text{Velocidad real} = 9,6 \text{ m/s}$$

Observamos que esta velocidad es baja en comparación con las velocidades máximas permitidas, pero debemos recordar que la tubería se ha dimensionado para limitar la caída de presión, en tanto que permitir las velocidades máximas comporta normalmente una alta caída de presión.

Table 8 Factores de presión para dimensionado de tuberías

Presión bar	Volumen m³/kg	Factor de presión	Bar relativo	Volumen m³/kg	Factor de presión	Bar relativo	Volumen m³/kg	Factor de presión
0,05	28,192	0,0301	2,15	0,576	9,309	7,70	0,222	66,31
0,10	14,674	0,0115	2,20	0,568	9,597	7,80	0,219	67,79
0,15	10,022	0,0253	2,25	0,660	9,888	7,90	0,217	69,29
0,20	7,64 9	0,0442	2,30	0,552	10,18	8,00	0,215	70,80
0,25	6,204	0,0681	2,35	0,544	10,48	8,10	0,212	72,33
0,30	5,229	0,0970	2,40	0,536	10,79	8,20	0,210	73,88
0,35	4,530	0,1308	2,45	0,529	11,40	8,30	0,208	75,44
0,40	3,993	0,1694	2,50	0,522	11,41	8,40	0,206	77,02
0,45	3,580	0,2128	2,55	0,515	11,72	8,50	0,204	78,61
0,50	3,240	0,2610	2,60	0,509	12,05	8,60	0,202	80,22
0,55	2,964	0,3140	2,65	0,502	12,37	8,70	0,200	81,84
0,60	2,732	0,3716	2,70	0,496	12,70	8,80	0,198	83,49
0,65	2,535	0,4340	2,75	0,489	13,03	8,90	0,196	85,14
0,70	2,365	0,5010	2,80	0,483	13,37	9,00	0,194	86,81
0,75	2,217	0,5727	2,85	0,477	13,71	9,10	0,192	88,50
0,80	2,087	0,6489	2,90	0,471	14,06	9,20	0,191	90,20
0,85	1,972	0,7298	2,95	0,466	14,41	9,30	0,189	91,92
0,90	1,869	0,8153	3,00	0,461	14,76	9,40	0,187	93,66
0,95	1,777	0,9053	3,10	0,451	15,48	9,50	0,185	95,41
1,013	1,673	1,025	3,20	0,440	16,22	9,60	0,184	97,18
bar gauge			3,30	0,431	16,98	9,70	0,182	98,96
0	1,673	1,025	3,40	0,422	17,75	9,80	0,181	100,75
0,05	1,601	1,126	3,50	0,413	18,54	9,90	0,179	102,57
0,10	1,533	1,230	3,60	0,405	19,34	10,00	0,177	104,40
0,15	1,471	1,339	3,70	0,396	20,16	10,20	0,174	108,10
0,20	1,414	1,453	3,80	0,389	21,00	10,40	0,172	111,87
0,25	1,361	1,572	3,90	0,381	21,85	10,60	0,169	115,70
0,30	1,312	1,694	4,00	0,374	22,72	10,80	0,166	119,59
0,35	1,268	1,822	4,10	0,367	23,61	11,00	0,163	123,54
0,40	1,225	1,953	4,20	0,361	24,51	11,20	0,161	127,56
0,45	1,186	2,090	4,30	0,355	25,43	11,40	0,158	131,64
0,50	1,149	2,230	4,40	0,348	26,36	11,60	0,156	135,78
0,55	1,115	2,375	4,50	0,342	27,32	11,80	0,153	139,98
0,60	1,083	2,525	4,60	0,336	28,28	12,00	0,151	144,25
0,65	1,051	2,679	4,70	0,330	29,27	12,20	0,149	148,57
0,70	1,024	2,837	4,80	0,325	30,27	12,40	0,147	152,96
0,75	0,997	2,999	4,90	0,320	31,29	12,60	0,145	157,41
0,80	0,971	3,166	5,00	0,315	32,32	12,80	0,143	161,92
0,85	0,946	3,338	5,10	0,310	33,37	13,00	0,141	166,50
0,90	0,923	3,514	5,20	0,305	34,44	13,20	0,139	171,13
0,95	0,901	3,694	5,30	0,301	35,52	13,40	0,135	175,83
1,00	0,881	3,878	5,40	0,296	36,62	13,60	0,133	180,58
1,05	0,860	4,067	5,50	0,292	37,73	13,80	0,132	185,40
1,10	0,841	4,260	5,60	0,288	38,86	14,00	0,130	190,29
1,15	0,823	4,458	5,70	0,284	40,01	14,20	0,128	195,23
1,20	0,806	4,660	5,80	0,280	41,17	14,40	0,127	200,23
1,25	0,788	4,866	5,90	0,276	42,35	14,60	0,125	205,30
1,30	0,773	5,076	6,00	0,272	43,54	14,80	0,124	210,42
1,35	0,757	5,291	6,10	0,269	44,76	15,00	0,122	215,61
1,40	0,743	5,510	6,20	0,265	45,98	15,20	0,121	220,86
1,45	0,728	5,734	6,30	0,261	47,23	15,40	0,119	226,17
1,50	0,714	5,961	6,40	0,258	48,48	15,60	0,118	231,54
1,55	0,701	6,193	6,50	0,255	49,76	15,80	0,117	236,97
1,60	0,689	6,429	6,60	0,252	51,05	16,00	0,115	242,46
1,65	0,677	6,670	6,70	0,249	52,36	16,20	0,114	248,01
1,70	0,665	6,915	6,80	0,246	53,68	16,40	0,113	253,62
1,75	0,654	7,164	6,90	0,243	55,02	16,60	0,111	259,30
1,80	0,643	7,417	7,00	0,240	56,38	16,80	0,110	265,03
1,85	0,632	7,675	7,10	0,237	57,75	17,00	0,109	270,83
1,90	0,622	7,937	7,20	0,235	59,13	17,20	0,108	276,69
1,95	0,612	8,203	7,30	0,232	60,54	17,40	0,107	282,60
2,00	0,603	8,473	7,40	0,229	61,96	17,60	0,106	288,58
2,05	0,594	8,748	7,50	0,227	63,39	17,80	0,105	294,52
2,10	0,585	9,026	7,60	0,224	64,84	18,00	0,104	300,72

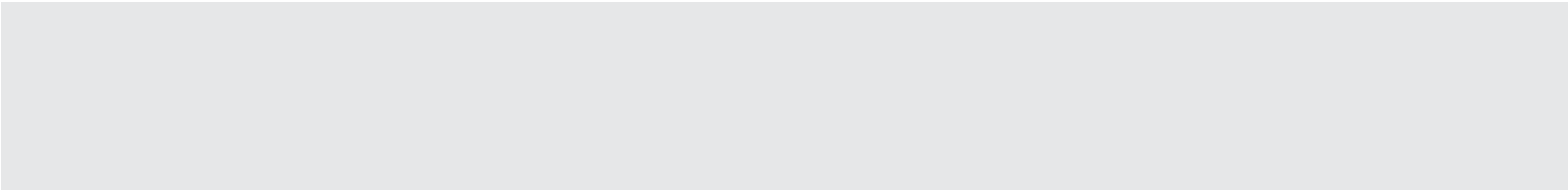
Table 9 Factores de capacidad de tubería y caída de presión

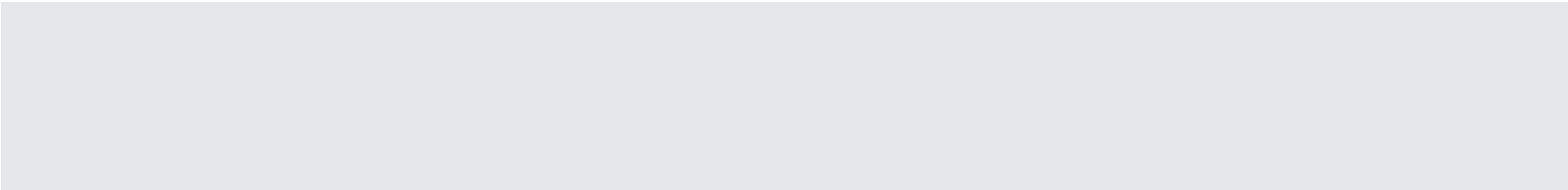
Factor F	Tamaño de tubería en mm																	
	15	20	25	32	40	50	65	80	100	125	150	175	200	225	250	300		
0,00016	x					30,40	55,41	90,72	199,1	360,4	598,2	890,0	1275	1755	2329	3800		
	y					4,30	4,86	5,55	6,82	7,90	9,16	10,05	10,94	11,94	12,77	14,54		
0,00020	x				16,18	34,32	62,77	103,0	225,6	407,0	662,0	1005	1437	1966	2623	4276		
	y				3,96	4,85	5,51	6,31	7,72	8,92	10,13	11,34	12,33	13,37	14,38	16,36		
0,00025	x			10,84	17,92	38,19	69,31	113,2	249,9	450,3	735,5	1108	1678	2183	2904	4715		
	y			3,74	4,39	5,40	6,08	6,92	8,56	9,87	11,26	12,51	14,40	14,85	15,92	18,04		
0,00030	x			11,95	19,31	41,83	75,85	124,1	271,2	491,9	804,5	1209	1733	2390	4172	5149		
	y			4,13	4,73	5,92	6,65	7,60	9,29	10,79	12,31	13,65	14,87	16,26	17,39	19,07		
0,00035	x		6,86	12,44	20,59	43,76	80,24	130,01	285,3	519,2	845,3	1279	1823	2497	3346	5406		
	y		3,88	4,30	5,04	6,21	7,04	7,96	9,77	11,38	12,94	14,44	15,64	17,00	18,34	20,69		
0,00045	x	3,62	7,94	14,56	23,39	50,75	92,68	150,9	333,2	604,6	979,7	1478	2118	2913	3884	6267		
	y	3,54	4,49	5,03	5,73	7,18	8,13	9,24	11,42	13,26	15,00	16,68	18,18	19,82	21,29	23,99		
0,00055	x	4,04	8,99	16,18	26,52	57,09	103,8	170,8	373,1	674,2	1101	1663	2382	3281	4338	7057		
	y	3,96	5,09	5,59	6,49	8,08	9,10	10,46	12,78	14,78	16,85	18,77	20,44	22,32	23,78	27,01		
0,00065	x	4,46	9,56	17,76	29,14	62,38	113,8	186,7	409,8	739,9	1207	1823	2595	3597	4781	7741		
	y	4,37	5,41	6,13	7,14	8,82	9,98	11,43	14,04	16,22	18,48	20,58	22,27	24,47	26,21	29,62		
0,00075	x	4,87	10,57	19,31	31,72	68,04	124,1	203,2	445,9	804,5	1315	1977	2836	3908	5172	8367		
	y	4,77	5,98	6,67	7,77	9,62	10,88	12,44	15,28	17,64	20,13	22,32	24,34	26,59	28,35	32,02		
0,00085	x	5,52	11,98	21,88	35,95	77,11	140,7	230,2	505,4	911,8	1490	2240	3215	4429	5861	9482		
	y	5,41	6,78	7,56	8,80	10,91	12,34	14,09	17,32	19,99	22,81	25,29	27,59	30,13	32,13	36,29		
0,00100	x	1,96	5,84	12,75	23,50	38,25	81,89	148,6	245,2	539,4	968,5	1579	2403	3383	4707	6228	10052	
	y	4,10	5,72	7,21	8,12	9,37	11,58	13,03	15,01	18,48	21,24	24,17	27,13	29,03	32,02	34,14	38,47	
0,00125	x	2,10	6,26	13,57	24,96	40,72	87,57	159,8	261,8	577,9	1038	1699	2544	3634	5035	6655	10639	
	y	4,39	6,13	7,68	8,62	9,97	12,39	14,02	16,03	19,80	22,76	26,01	28,72	31,19	34,26	36,48	40,71	
0,00150	x	2,39	7,35	15,17	28,04	45,97	98,84	179,3	295,1	652,8	1172	1908	2896	4091	5631	7493	11999	
	y	5,00	7,20	8,58	9,68	11,26	13,98	15,72	18,07	22,37	25,70	29,21	32,69	35,11	38,31	41,08	45,92	
0,00175	x	2,48	7,51	16,30	29,61	49,34	103,4	188,8	311,1	686,5	1270	2017	3046	4291	5921	7852	13087	
	y	5,19	7,36	9,22	10,23	12,08	14,63	16,56	19,05	23,52	27,85	30,88	34,39	36,83	40,28	43,04	50,08	
0,0020	x	2,84	8,58	18,63	33,83	56,39	118,2	215,8	355,5	784,6	1451	2305	3482	4904	6767	8974	14956	
	y	5,94	8,40	10,54	11,68	13,81	16,72	18,93	21,77	26,88	31,82	35,28	39,31	42,09	46,04	49,19	57,24	
0,0025	x	3,16	9,48	20,75	37,25	61,30	132,0	240,5	391,3	881,7	1556	2456	3819	5422	7544	10090	16503	
	y	6,61	9,29	11,74	12,86	15,01	18,67	21,09	23,96	30,21	34,12	38,97	43,11	46,53	51,33	55,31	63,16	
0,0030	x	3,44	10,34	22,5	40,45	66,66	143,4	262,0	429,8	924,4	1701	2767	4183	6068	8275	11033	18021	
	y	7,20	10,13	12,73	13,97	16,33	20,29	22,98	26,32	32,29	37,30	42,36	47,22	52,08	56,30	60,48	68,97	
0,0040	x	4,17	12,50	26,97	48,55	80,91	173,1	313,8	514,9	1128	2040	3330	5051	7208	9905	13240	21625	
	y	8,73	12,25	15,26	16,77	19,82	24,49	27,52	31,53	38,65	44,73	50,97	57,02	61,86	67,39	72,58	82,76	
0,0050	x	4,71	14,12	30,40	54,92	90,23	196,1	354,0	578,6	1275	2305	3727	5757	8189	11278	14858	24469	
	y	9,86	13,83	17,20	18,97	20,10	27,74	31,05	35,43	43,68	50,54	57,05	64,76	70,28	76,73	81,45	93,64	
0,0060	x	5,25	15,69	35,80	60,31	99,05	215,8	392,3	647,3	1412	2250	4148	6277	9072	12406	16476	26970	
	y	10,99	15,37	20,26	20,83	24,26	30,53	34,41	39,63	48,38	55,92	63,50	70,86	77,86	84,40	90,82	103,21	
0,0080	x	6,08	18,34	39,23	70,12	116,2	251,5	456,0	750,3	1648	2976	4879	7355	10543	14417	19173	31384	
	y	12,72	17,97	22,20	24,22	28,46	35,58	40,00	45,95	56,46	65,26	74,69	83,03	90,48	98,09	105,1	120,1	
0,0100	x	6,86	20,64	44,13	79,44	130,4	283,9	514,9	845,9	1863	3334	5492	8336	11867	16280	21576	35307	
	y	14,36	20,22	24,97	27,44	31,94	40,16	45,16	51,80	63,83	73,11	84,07	94,11	101,8	110,8	118,28	135,1	
0,0125	x	7,35	22,20	47,28	81,00	140,1	302,1	547,3	901,9	1983	3589	5867	8844	12697	17426	23074	37785	
	y	15,38	21,75	26,75	27,98	34,31	42,74	48,00	55,22	67,94	78,70	89,81	99,84	109,0	118,5	126,5	144,6	
0,0150	x	8,27	25,00	53,33	95,62	157,2	342,0	620,6	1020	2230	4045	6620	10022	14251	19584	25974	42616	
	y	17,31	24,49	30,18	33,03	38,50	43,38	54,43	62,46	76,40	88,70	101,3	113,1	122,3	133,2	142,4	163,09	
0,0175	x	8,58	26,39	55,78	100,4	165,6	360,4	665,1	1073	2360	4291	6994	10512	15017	20595	27461	44194	
	y	17,95	25,85	31,56	34,68	40,65	50,99	58,34	65,70	80,52	94,09	107,1	118,7	128,9	140,1	150,5	169,1	
0,020	x	9,80	30,16	63,75	114,7	189,3	411,9	760,1	1226	2697	49,04	7993	12014	17163	23538	31384	50508	
	y	20,51	29,55	36,07	39,62	46,36	58,27	66,67	75,01	92,41	107,5	122,3	135,6	147,3	160,01	172,0	193,3	
0,025	x	10,99	33,48	70,73	127,3	209,8	459,7	834,6	1367	2970	5422	8817	13296	19332	26357	34750	56581	
	y	23,00	32,80	40,02	43,97	51,39	65,03	73,20	83,70	101,7	118,9	135,0	150,1	165,9	179,3	190,5	216,5	
0,030	x	12,00	36,78	77,23	137,9	229,9	501,1	919,4	1480	3264	5884	9792	14481	20917	28595	37697	62522	
	y	25,11	36,03	43,70	47,63	56,31	70,89	80,64	90,62	111,8	129,0	149,9	163,5	179,5	194,5	206,6	239,3	
0,040	x	14,46	44,16	93,17	169,2	279,5	600,7	1093	1790	3923	7710	11622	17457	25254	34571	45604	75026	
	y	30,26	43,23	52,72	58,44	68,46	84,98	95,87	109,6	134,4	155,9	177,9	197,1	216,7	235,2	250,0	287,1	
0,050	x	16,43	49,53	104,4	191,2	313,8	676,7	1231	2020	4413	8042	13044	19370	28441	39229	51489	85324	
	y	34,38	48,52	59,08	66,04	76,86	95,73	108,0	123,7	151,2	176,3	199,7	218,7	244,1	266,9	282,3	326,5	
0,06	x	18,14	52,96	115,7	210,8	343,2	750,3	1373	2231	4855	8827	14368	21282	31384	43152	57373		
	y	37,96	51,88	65,47	72,81	84,06	106,1	120,4	136,6	166,3	193,5	219,9	240,2	269,3	293,6	314,5		
0,08	x	21,08	62,28	134,8	245,2	402,1	872,8	1594	2599	5688	10249	16672	24518	36532				
	y	44,11	61,02	76,28	86,69	98,49	123,5	139,8	159,1	194,9	224,7	255,2	276,8	313,5				
0,10	x	24,03	70,12	152,0	277,0	456,0	980,7	1804	2942	6424	11524	18879	27461					
	y	50,29	68,70	86,01	95,67	111,7	138,7	158,2	180,1	220,1	252,7	289,0	310,1					
0,12	x	25,99	77,48	167,7	306,5	500,2	1079	1986	3236	7110	12700	20841						
	y	54,39	75,91	94,90	105,9	122,5	152,6	174,2	198,1	243,6	278,5	319,0						
0,15	x	28,50	84,13	183,9	334,2	551,7	1195	2161	3494									
	y	59,64	84,42	104,1	115,4	135,1	169,0	189,5	213,9	266,2								
0,20	x	34,32	102,0	220,7	402,1	622,0	1427	2599	4217									
	y	71,82	99,93	124,9	138,9	162,1	201,9	228,0	258,2	319,2								
0,25	x	37,72	112,7	245,2	447,9	735,5	1565	2876										

Información adicional

Esta publicación ha sido realizada con el fin de proporcionar una guía de referencia técnica a todos aquellos ingenieros que trabajan en el campo de las instalaciones de vapor. Es imposible cubrir con estas páginas todas las particularidades de las instalaciones de vapor, puesto que cada caso es único y el abanico de soluciones que se pueden plantear son múltiples, no siendo siempre evidente cuál de las soluciones es la más adecuada.

Como consecuencia, y habiendo tratado de exponer las directrices generales a seguir en el diseño de las instalaciones de vapor más comunes, ponemos nuestro equipo de ingenieros locales a su disposición, con el fin de proporcionarle la máxima colaboración en aquellos puntos particulares de cada instalación que le puedan ser de interés.





BARCELONA
08980 Sant Feliu de Llobregat
Sant Josep, 130, Polígono El Pla
Tel. 93 685 79 29 Fax 93 685 70 11

SPIRAX-SARCO S.A.
MADRID
28109 La Moraleja
Azalea, 1, Edificio B, Oficina 4
Tel. 91 650 65 27 Fax 91 650 35 17

BILBAO
48014 Bilbao
Lehendakari Aguirre, 11, 3º despacho 6
Tel. y Fax 94 476 33 30



TR-GCM-03

ESP Issue 1