

## 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.

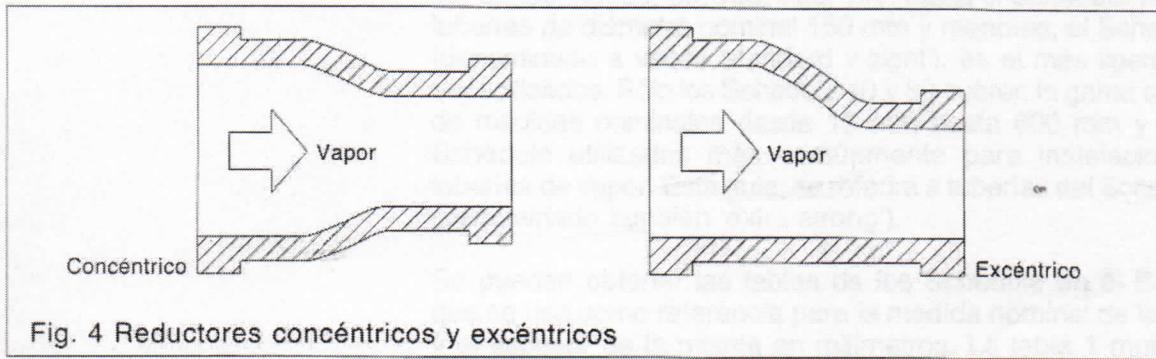


Fig. 4 Reductores concéntricos y excéntricos

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.

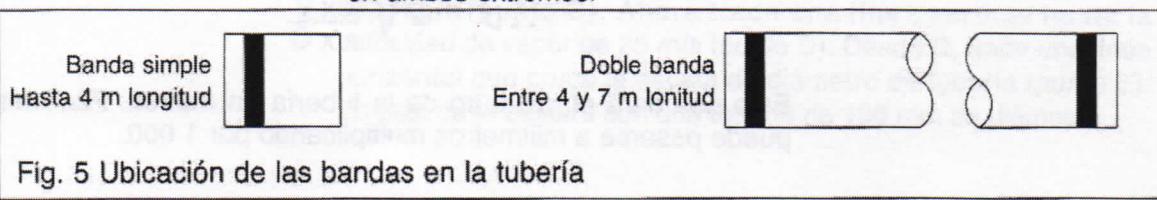


Fig. 5 Ubicación de las bandas en la tubería

## 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<sup>3</sup>/kg)      v
- Caudal másico (kg/s)       $\dot{m}$
- Caudal volumétrico (m<sup>3</sup>/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:

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

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

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.

$$\begin{aligned}- \text{Velocidad del flujo (C)} &= 25 \text{ m/s} \\ - \text{Volumen específico (v)} &= 0,24 \text{ m}^3/\text{kg} \text{ (de las tablas de vapor)} \\ - \text{Caudal másico (\dot{m})} &= \frac{5\,000 \text{ kg/h}}{3\,600 \text{ s/h}} = 1,389 \text{ kg/s} \\ - \text{Caudal volumétrico (\dot{V})} &= \dot{m} \times v \\ &= 1,389 \text{ kg/s} \times 0,24 \text{ m}^3/\text{kg} \\ &= 0,333 \text{ m}^3/\text{s}\end{aligned}$$

Por lo tanto, utilizando:

$$\begin{aligned}\text{Sección de tubería (A)} &= \frac{\text{Caudal volumétrico (\dot{V})}}{\text{Velocidad (C)}} \\ \frac{\pi \times D^2}{4} &= \frac{0,333}{25} \\ D &= \sqrt{\frac{4 \times 0,333}{\pi \times 25}} \\ D &= 0,130 \text{ m ó } 130 \text{ mm}\end{aligned}$$

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 5000 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**

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).

**Ejemplo**

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).

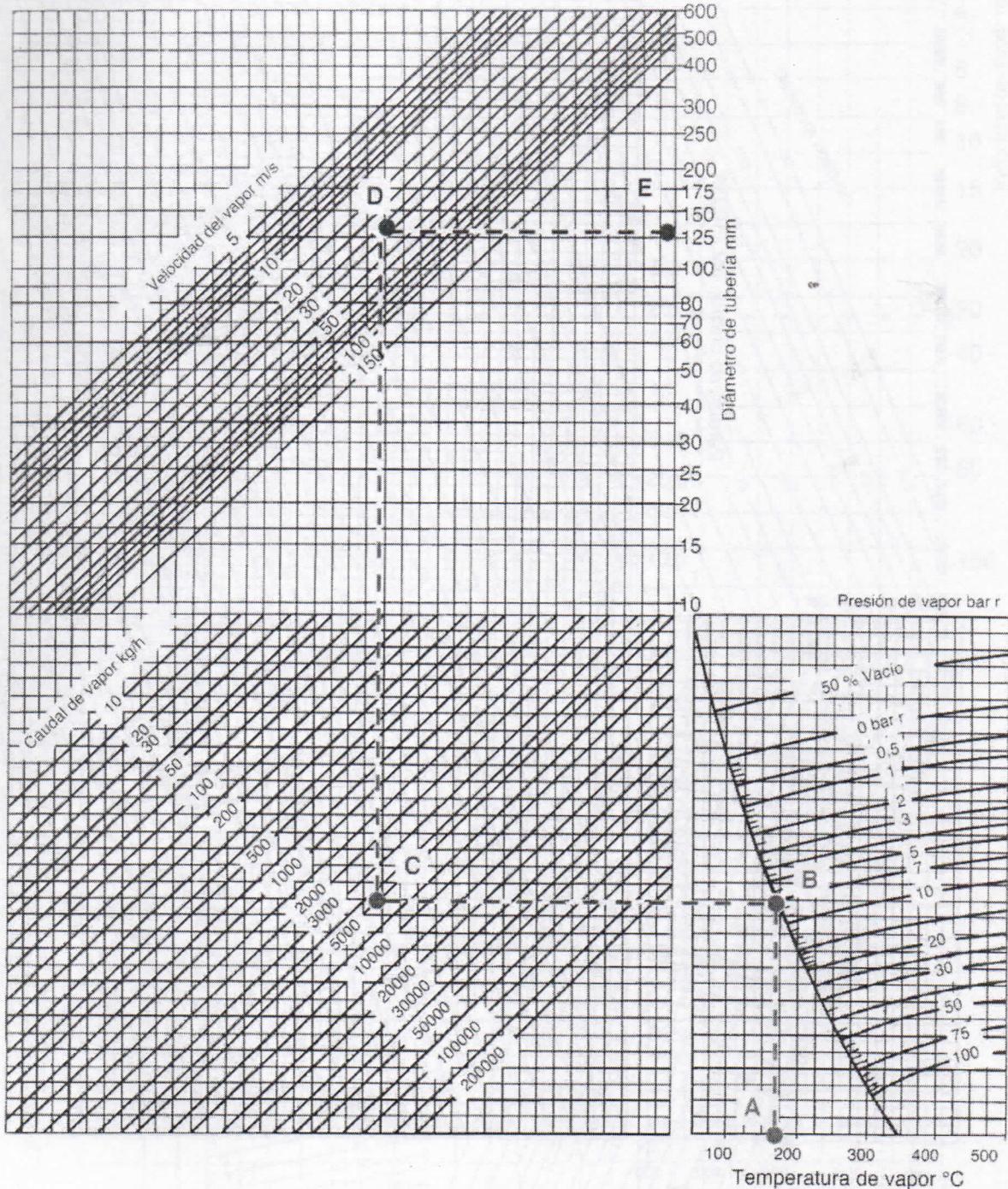
Trace una línea horizontal hacia la derecha hasta encontrar la línea de 20 toneladas/hora (punto E), y desde este punto trace hacia arriba una línea vertical. El tamaño de tubería se indica donde esta línea corta a la línea B - C, en el punto F. Este, muestra un tamaño de tubería de 200 mm.

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)

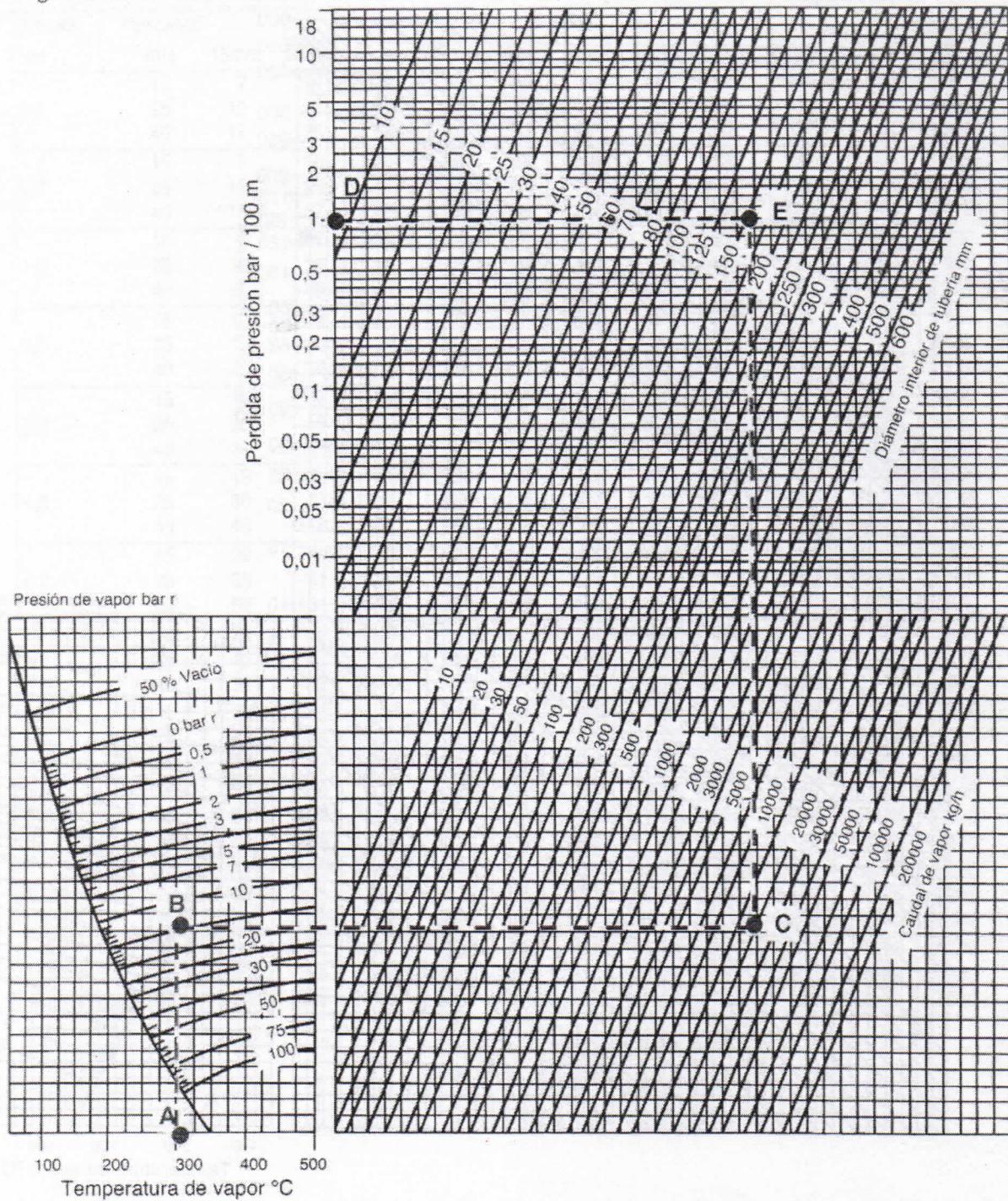
Presión bar	Velocidad m/s	kg/h										
		15mm	20mm	25mm	32mm	40mm	50mm	65mm	80mm	100mm	125mm	150mm
0,4	15	7	14	24	37	52	99	145	213	394	648	917
	25	10	25	40	62	92	162	265	384	675	972	1 457
	40	17	35	64	102	142	265	403	576	1 037	1 670	2 303
0,7	15	7	16	25	40	59	109	166	250	431	680	1 006
	25	12	25	45	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

