



upcomillas<sup>es</sup>

upcomillas<sup>es</sup>

# Instalaciones Industriales

Tema 10: Instalaciones de Transporte de Fluidos

# ÍNDICE

- Introducción. Dimensionado hidráulico.
- Golpe de ariete.
- Materiales.
- Dimensionado mecánico. Presión admisible.
- Soportes y anclajes.
- Dilataciones.
- Valvulería.
- Aislamiento.

# Introducción

En los edificios e industrias las instalaciones mecánicas están formadas por EQUIPOS unidos entre sí mediante conductos o TUBERÍAS, por los que se transportan distintos fluidos:

- ***Agua potable (caliente y fría):*** Instalaciones de fontanería
- ***Aguas pluviales y aguas sucias:*** Instalación de saneamiento y drenajes
- ***Agua fría y caliente de climatización:*** Transporta energía térmica desde la central a los servicios (y, en su caso, a las torres de refrigeración)
- ***Fluidos refrigerantes:*** Asociados normalmente a la instalación de climatización
- ***Aire de climatización:*** Lo trataremos más especialmente en el capítulo 11, pero ya lo mencionamos aquí.
- ***Otros:*** Combustibles (gas, gasoil...), vapor, fluidos térmicos, aire comprimido, agua de extinción contra incendios, etc.

El proyecto de instalaciones mecánicas de un **edificio** incluye siempre un capítulo dedicado a las tuberías, muy importante por su valor económico, y también por la incidencia sobre la propia arquitectura del edificio. Por eso, conviene que desde el principio el equipo de diseño (arquitecto) disponga de una idea al menos básica de la red de tuberías y canalizaciones que se van a instalar.

En algunas **instalaciones industriales**, el porcentaje del coste de tuberías en la instalación puede ser una partida muy grande, teniendo en cuenta los kilómetros de tubería presentes.

# Análisis del flujo en ductos

Un “ducto” es la canalización por la cual circula un fluido. Según los casos hablaremos de conductos (para gases) o de tuberías (para líquidos). Las condiciones habituales son:

–Flujo estacionario, incompresible, turbulento ( $Re \gg 4000$ ) y plenamente desarrollado

Para el análisis del flujo, **Ecuación de Bernoulli**. Para flujo estacionario y densidad constante:

$$\frac{p_1}{\rho g} + \frac{v_1^2}{2g} + z_1 + h_{\text{maq}} - h_{\text{fm}} = \frac{p_2}{\rho g} + \frac{v_2^2}{2g} + z_2 \quad [\text{m}]$$

$$p_1 + \rho \frac{v_1^2}{2} + \rho g z_1 + \Delta p_{\text{maq}} - \Delta p_{\text{fm}} = p_2 + \rho \frac{v_2^2}{2} + \rho g z_2 \quad [\text{Pa}]$$

$v$	velocidad media del flujo (m/s)
$p$	presión estática (relativa o absoluta) (Pa)
$\rho$	densidad ( $\text{kg/m}^3$ )
$g$	aceleración de la gravedad ( $\text{m/s}^2$ )
$z$	elevación o cota (m)
$\Delta h_{\text{maq}}$ $\Delta p_{\text{maq}}$	energía aportada por una máquina, bomba o ventilador (m, Pa)
$\Delta h_{\text{fm}}$ $\Delta p_{\text{fm}}$	pérdida de carga total, primaria y secundaria (m, Pa)

# Pérdida de carga primaria

$$h_f = f \frac{L}{D_h} \frac{v^2}{2g} \text{ [m]}$$

$$\Delta p_f = \rho g h_f = f \frac{L}{D_h} \frac{v^2}{2} \rho \text{ [Pa]}$$

Fórmula de Darcy-Weisbach

- $L$  longitud del conducto (m)
- $D_h = 4 \cdot A / p$  diámetro hidráulico (m). En tubería circular:  $D_h = D$
- $f = f(Re, \varepsilon/D_h)$  factor de fricción, depende de  $Re = \frac{v D_h \rho}{\mu} = \frac{v D_h}{\nu}$  y de la rugosidad relativa  $\varepsilon/D_h$

Para agua y tuberías de agua:

$$10 \text{ a } 30 \text{ }^\circ\text{C} \rightarrow Re \approx 10^6 \cdot D_h \cdot v$$

$$50 \text{ a } 60 \text{ }^\circ\text{C} \rightarrow Re \approx 2 \cdot 10^6 \cdot D_h \cdot v$$

Valores típicos de la **rugosidad**  $\varepsilon$  (en micras):

- Suave (PVC, cobre nuevo): 1,5 - 10
- Media (acero, manguera flexible): 50 - 100
- Rugosa (hierro fundido): 250 - 2000
- Muy rugosa (hormigón, obra civil): 3000 - 6000

Para aire y conductos de aire:

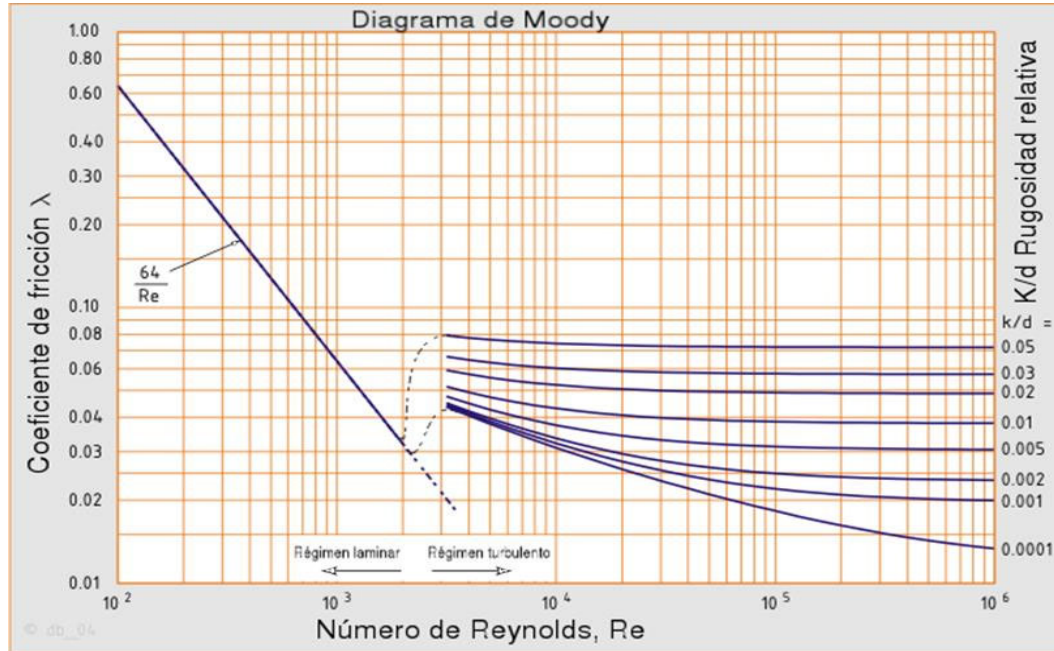
$$Re \approx 66400 \cdot D_h \cdot v$$

Valores típicos de la **rugosidad**  $\varepsilon$  (en micras):

- Suave (chapa acero o aluminio sin juntas, PVC): 30
- Media (chapa con juntas): 90
- Rugosa (fibra de vidrio): 900
- Muy rugosa (hormigón, conducto flexible): 3000

# Pérdida de carga primaria en régimen turbulento

$$f = \frac{1}{\left[ -2,0 \cdot \log_{10} \left( \frac{\varepsilon/D_h}{3,7} + \frac{2,51}{Re \cdot \sqrt{f}} \right) \right]^2} \quad \text{Colebrook (muy precisa, implícita)}$$



$$f = \frac{1}{\left[ -1,8 \cdot \log_{10} \left( \left( \frac{\varepsilon/D_h}{3,7} \right)^{1,11} + \frac{6,9}{Re} \right) \right]^2} \quad \text{Haaland (menos precisa, explícita)}$$

$$f = 0,11 \left( \frac{\varepsilon}{D_h} + \frac{68}{Re} \right)^{0,25} \quad \text{Menos precisa aún, explícita y fácil uso}$$

# Pérdida de carga primaria

**Ejemplo 1:** Por una tubería de acero inoxidable comercial de Schedule 40, DN100 (DN: Diámetro Nominal o diámetro interior, en inglés NPS o Nominal Pipe Size), y 150 m de longitud circula un caudal de agua de 50 m<sup>3</sup>/h. Determinar la **pérdida de carga primaria**.

Diámetro interior de la tubería (tabla ASTM A312): D=102,3 mm

$$v = \frac{Q}{A} = 1,69 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$\varepsilon = 50 \mu\text{m} \rightarrow \frac{\varepsilon}{D} = 4,9 \cdot 10^{-4}$$

$Re = 10^6 \cdot D \cdot v = 172.931$  flujo turbulento:

$$f = 0,11 \left( \frac{\varepsilon}{D} + \frac{68}{Re} \right)^{0,25} = 0,01896$$

$$\Delta p = f \frac{L}{D} \frac{v^2}{2} \rho = 39.684 \text{ Pa } (\rho = 1000 \text{ kg/m}^3)$$

$$\frac{\Delta p}{L} = 265 \text{ Pa/m}$$

## TUBERÍAS DE ACERO INOXIDABLE ASTM A312

Diámetro nominal		D <sub>exterior</sub>	Schedule 10				Schedule 40				Schedule 80			
			Espesor pared	D <sub>interior</sub>	p <sub>max</sub>	Peso	Espesor pared	D <sub>interior</sub>	p <sub>max</sub>	Peso	Espesor pared	D <sub>interior</sub>	p <sub>max</sub>	Peso
inch	mm	mm	mm	mm	bar	kg/m	mm	mm	bar	kg/m	mm	mm	bar	kg/m
1/8		10,29	1,24	7,8	300	0,28	1,73	6,8	434	0,37	2,41	5,5	646	0,47
1/4		13,72	1,65	10,4	298	0,49	2,24	9,2	420	0,63	3,02	7,7	599	0,8
3/8	10	17,15	1,65	13,9	233	0,63	2,31	12,5	338	0,85	3,20	10,8	492	1,1
1/2	15	21,34	2,11	17,1	240	1,00	2,77	15,8	324	1,27	3,73	13,9	456	1,62
3/4	20	26,67	2,11	22,5	189	1,28	2,87	20,9	264	1,69	3,91	18,9	372	2,2
1	25	33,40	2,77	27,9	199	2,09	3,38	26,6	247	2,50	4,55	24,3	342	3,24
1 1/4	32	42,16	2,77	36,6	155	2,69	3,56	35,0	202	3,39	4,85	32,5	284	4,47
1 1/2	40	48,26	2,77	42,7	135	3,11	3,68	40,9	182	4,05	5,08	38,1	258	5,41
2	50	60,33	2,77	54,8	107	3,93	3,91	52,5	153	5,45	5,54	49,3	222	7,48
2 1/2	65	73,03	3,05	66,9	97	5,27	5,16	62,7	168	8,64	7,01	59,0	233	11,41
3	80	88,90	3,05	82,8	79	6,46	5,49	77,9	146	11,30	7,62	73,7	203	15,27
3 1/2	90	101,60	3,05	95,5	69	7,42	5,74	90,1	133	13,58	8,08	85,4	188	18,67
4	100	114,30	3,05	108,2	61	8,37	6,02	102,3	123	16,09	8,56	97,2	176	22,32
6	150	168,28	3,40	161,5	46	13,85	7,11	154,1	98	28,28	10,97	146,3	151	42,56
8	200	219,08	3,76	211,6	39	19,98	8,18	202,7	86	42,57	12,7	193,7	134	64,64
10	250	273,05	4,19	264,7	35	27,88	9,27	254,5	78	60,36	12,7	247,7	127	96,01

Schedule (o SCH abreviadamente, inglés) ó Cedula: en la medida que aumentan crece el espesor, manteniendo el diámetro exterior

Diámetro Nominal (DN) o Nominal Pipe Size (NPS): relacionado con el diámetro interior



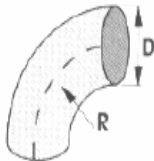
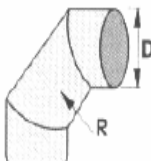
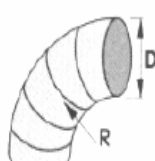
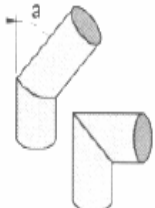

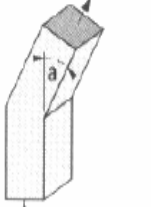
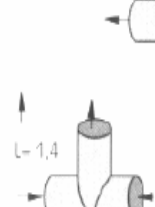
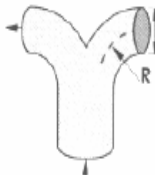
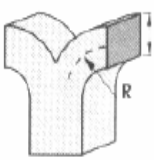
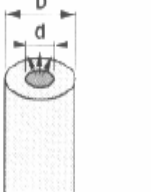
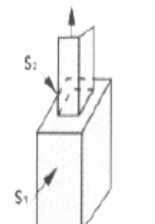
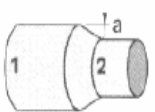
# Pérdidas de carga secundarias

**Pérdidas localizadas** en elementos (codos, derivaciones, tes, válvulas, etc):

$$h_m = k \frac{v^2}{2g} = f \frac{L_e}{D_h} \frac{v^2}{2g} \text{ [m]}$$

$$\Delta p_m = \rho g h_m = k \frac{v^2}{2} \rho = f \frac{L_e}{D_h} \frac{v^2}{2} \rho \text{ [Pa]}$$

k para conductos de aire (valores orientativos):

 <table><tr><th>R/D</th><th>5</th></tr><tr><td>0,5</td><td>1,3</td></tr><tr><td>0,75</td><td>0,8</td></tr><tr><td>1,0</td><td>0,5</td></tr><tr><td>1,5</td><td>0,3</td></tr><tr><td>2,0</td><td>0,25</td></tr></table>	R/D	5	0,5	1,3	0,75	0,8	1,0	0,5	1,5	0,3	2,0	0,25	 <table><tr><th>R/D</th><th>5</th></tr><tr><td>0,5</td><td>0,90</td></tr><tr><td>0,75</td><td>0,45</td></tr><tr><td>1,0</td><td>0,35</td></tr><tr><td>1,5</td><td>0,25</td></tr><tr><td>2,0</td><td>0,20</td></tr></table>	R/D	5	0,5	0,90	0,75	0,45	1,0	0,35	1,5	0,25	2,0	0,20	 <table><tr><th>R/D</th><th>5</th></tr><tr><td>0,5</td><td>1,1</td></tr><tr><td>0,75</td><td>0,6</td></tr><tr><td>1,0</td><td>0,4</td></tr><tr><td>1,5</td><td>0,25</td></tr><tr><td>2,0</td><td>0,2</td></tr></table>	R/D	5	0,5	1,1	0,75	0,6	1,0	0,4	1,5	0,25	2,0	0,2	 <table><tr><th>a</th><th>5</th></tr><tr><td>15°</td><td>0,1</td></tr><tr><td>30°</td><td>0,2</td></tr><tr><td>45°</td><td>0,5</td></tr><tr><td>60°</td><td>0,7</td></tr><tr><td>90°</td><td>1,3</td></tr></table>	a	5	15°	0,1	30°	0,2	45°	0,5	60°	0,7	90°	1,3																		
R/D	5																																																																				
0,5	1,3																																																																				
0,75	0,8																																																																				
1,0	0,5																																																																				
1,5	0,3																																																																				
2,0	0,25																																																																				
R/D	5																																																																				
0,5	0,90																																																																				
0,75	0,45																																																																				
1,0	0,35																																																																				
1,5	0,25																																																																				
2,0	0,20																																																																				
R/D	5																																																																				
0,5	1,1																																																																				
0,75	0,6																																																																				
1,0	0,4																																																																				
1,5	0,25																																																																				
2,0	0,2																																																																				
a	5																																																																				
15°	0,1																																																																				
30°	0,2																																																																				
45°	0,5																																																																				
60°	0,7																																																																				
90°	1,3																																																																				
 <table><tr><th>b/a</th><th>0,25</th><th>0,5</th><th>1,0</th><th>4,0</th></tr><tr><td>0</td><td>1,3</td><td>1,5</td><td>1,5</td><td>1,4</td></tr><tr><td>0,5</td><td>1,3</td><td>1,1</td><td>1,0</td><td>1,0</td></tr><tr><td>0,75</td><td>0,6</td><td>0,5</td><td>0,4</td><td>0,4</td></tr><tr><td>1,0</td><td>0,4</td><td>0,3</td><td>0,25</td><td>0,2</td></tr><tr><td>1,5</td><td>0,2</td><td>0,15</td><td>0,1</td><td>0,1</td></tr></table>	b/a	0,25	0,5	1,0	4,0	0	1,3	1,5	1,5	1,4	0,5	1,3	1,1	1,0	1,0	0,75	0,6	0,5	0,4	0,4	1,0	0,4	0,3	0,25	0,2	1,5	0,2	0,15	0,1	0,1	 <table><tr><th>a</th><th>5</th></tr><tr><td>15°</td><td>0,1</td></tr><tr><td>30°</td><td>0,3</td></tr><tr><td>45°</td><td>0,7</td></tr><tr><td>60°</td><td>1,0</td></tr><tr><td>90°</td><td>1,4</td></tr></table>	a	5	15°	0,1	30°	0,3	45°	0,7	60°	1,0	90°	1,4	 <table><tr><th>L=1,4</th><th>5</th></tr><tr><td>15°</td><td>0,1</td></tr><tr><td>30°</td><td>0,3</td></tr><tr><td>45°</td><td>0,7</td></tr><tr><td>60°</td><td>1,0</td></tr><tr><td>90°</td><td>1,4</td></tr></table>	L=1,4	5	15°	0,1	30°	0,3	45°	0,7	60°	1,0	90°	1,4	 <table><tr><th>R/D</th><th>5</th></tr><tr><td>0,5</td><td>1,2</td></tr><tr><td>0,75</td><td>0,6</td></tr><tr><td>1,0</td><td>0,4</td></tr><tr><td>1,5</td><td>0,25</td></tr><tr><td>2,0</td><td>0,2</td></tr></table>	R/D	5	0,5	1,2	0,75	0,6	1,0	0,4	1,5	0,25	2,0	0,2
b/a	0,25	0,5	1,0	4,0																																																																	
0	1,3	1,5	1,5	1,4																																																																	
0,5	1,3	1,1	1,0	1,0																																																																	
0,75	0,6	0,5	0,4	0,4																																																																	
1,0	0,4	0,3	0,25	0,2																																																																	
1,5	0,2	0,15	0,1	0,1																																																																	
a	5																																																																				
15°	0,1																																																																				
30°	0,3																																																																				
45°	0,7																																																																				
60°	1,0																																																																				
90°	1,4																																																																				
L=1,4	5																																																																				
15°	0,1																																																																				
30°	0,3																																																																				
45°	0,7																																																																				
60°	1,0																																																																				
90°	1,4																																																																				
R/D	5																																																																				
0,5	1,2																																																																				
0,75	0,6																																																																				
1,0	0,4																																																																				
1,5	0,25																																																																				
2,0	0,2																																																																				
 <table><tr><th>R/a</th><th>5</th></tr><tr><td>0,5</td><td>1,0</td></tr><tr><td>0,75</td><td>0,5</td></tr><tr><td>1,0</td><td>0,25</td></tr><tr><td>1,5</td><td>0,15</td></tr><tr><td>2,0</td><td>0,1</td></tr></table>	R/a	5	0,5	1,0	0,75	0,5	1,0	0,25	1,5	0,15	2,0	0,1	 <table><tr><th>d/D</th><th>5</th></tr><tr><td>0,1</td><td>2,5</td></tr><tr><td>0,2</td><td>2,5</td></tr><tr><td>0,4</td><td>2,5</td></tr><tr><td>0,6</td><td>2,3</td></tr><tr><td>0,8</td><td>1,9</td></tr><tr><td>0,9</td><td>1,5</td></tr></table>	d/D	5	0,1	2,5	0,2	2,5	0,4	2,5	0,6	2,3	0,8	1,9	0,9	1,5	 <table><tr><th>S2/S1</th><th>5</th></tr><tr><td>0,1</td><td>0,6</td></tr><tr><td>0,2</td><td>0,45</td></tr><tr><td>0,4</td><td>0,3</td></tr><tr><td>0,6</td><td>0,2</td></tr><tr><td>0,8</td><td>0,1</td></tr></table>	S2/S1	5	0,1	0,6	0,2	0,45	0,4	0,3	0,6	0,2	0,8	0,1	 <table><tr><th>a</th><th>5</th></tr><tr><td>10°</td><td>0,06</td></tr><tr><td>20°</td><td>0,10</td></tr><tr><td>30°</td><td>0,13</td></tr><tr><td>45°</td><td>0,20</td></tr><tr><td>60°</td><td>0,30</td></tr></table>	a	5	10°	0,06	20°	0,10	30°	0,13	45°	0,20	60°	0,30																
R/a	5																																																																				
0,5	1,0																																																																				
0,75	0,5																																																																				
1,0	0,25																																																																				
1,5	0,15																																																																				
2,0	0,1																																																																				
d/D	5																																																																				
0,1	2,5																																																																				
0,2	2,5																																																																				
0,4	2,5																																																																				
0,6	2,3																																																																				
0,8	1,9																																																																				
0,9	1,5																																																																				
S2/S1	5																																																																				
0,1	0,6																																																																				
0,2	0,45																																																																				
0,4	0,3																																																																				
0,6	0,2																																																																				
0,8	0,1																																																																				
a	5																																																																				
10°	0,06																																																																				
20°	0,10																																																																				
30°	0,13																																																																				
45°	0,20																																																																				
60°	0,30																																																																				

k y L<sub>e</sub> para tuberías (valores orientativos):

k [-]	L <sub>e</sub> /D [-]	
0,35	18	Codo corto
0,25	13	Codo largo
0,15	8	Derivación (línea)
0,75	40	Derivación (ramal)
6	300	Válvula de asiento
0,15	8	Válvula de compuerta
2	100	Válvula de ángulo
2	100	Válvula de retención

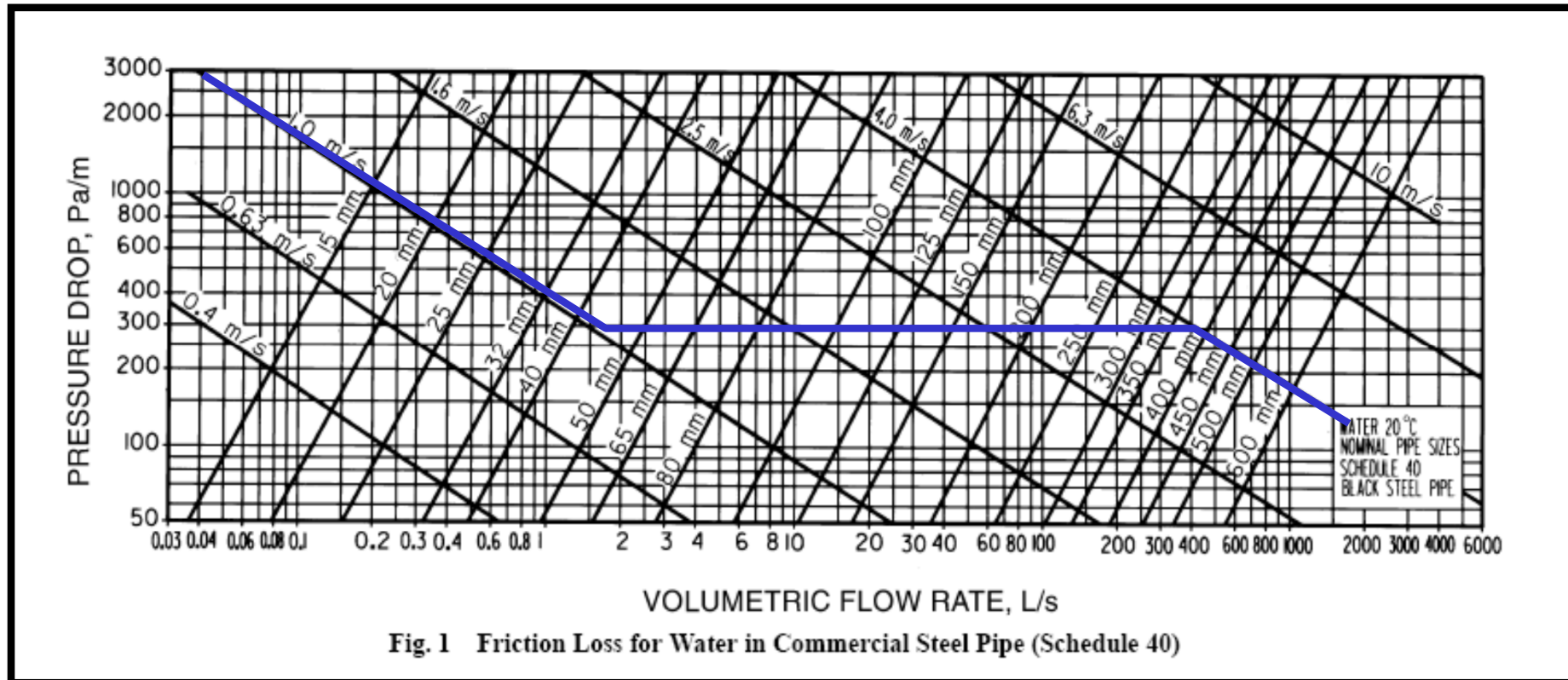
En muchos cálculos básicos para anteproyectos y predimensionado de líneas, se opta simplemente por mayorar la longitud recta en un 30-50% (según el trazado de cada línea) para tener en cuenta los accesorios de la tubería.

# Redes de agua

La **velocidad** es un criterio técnico fundamental a la hora de diseñar las tuberías de agua. Una velocidad alta (menor diámetro de tubería) permite un menor coste inicial de la instalación y un menor espacio ocupado. Sin embargo, aumentan las pérdidas de carga (mayor coste de bombeo) y ruido. Por otra parte, existe incluso riesgo de erosión en la tubería para velocidades elevadas. En ocasiones, se fija una velocidad mínima para asegurar que se arrastran los depósitos o partículas en suspensión.

Criterio habitual tuberías de agua:

- Tuberías pequeñas ( $D < 50$  mm; hasta 2"):  $v_{\max} = 1$  m/s
- Tuberías mayores ( $50 < D < 400$  mm; 2"-16"):  $(\Delta P/L)_{\max} = 300$  Pa/m
- Tuberías muy grandes ( $D > 400$  mm; mayor de 16"):  $v_{\max} = 4$  m/s



# Golpe de ariete

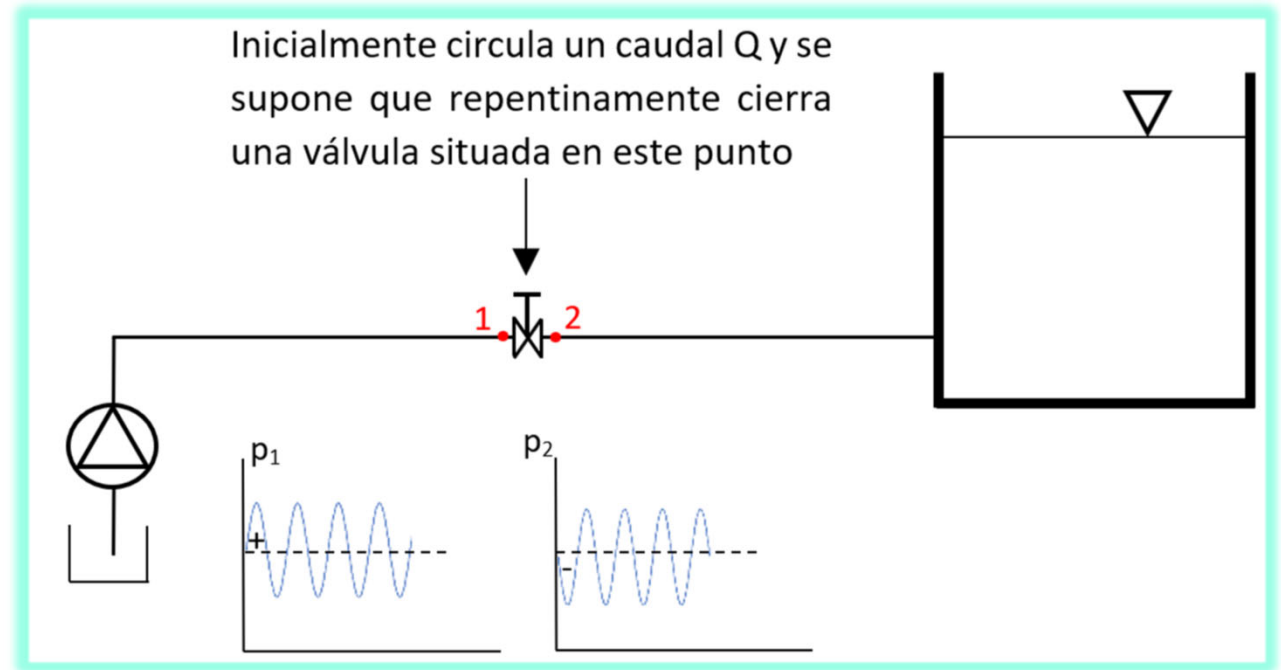
Fenómeno transitorio de oscilación de presión en conducciones de líquido como consecuencia de variaciones rápidas del caudal, en aumento o en disminución. Esta oscilación de presión se transmite por la tubería a determinada velocidad (celeridad), pudiendo alcanzar puntos muy alejados del elemento que provocó el cambio significativo del caudal (válvula, bomba, etc).

Causas:

- Apertura/cierre de válvulas
- Arranque/parada de bombas

Consecuencias:

- Sobrepresiones/depresiones elevadas
- Cavitación
- Vibraciones estructurales



<https://www.youtube.com/watch?v=xoLmVFAFjn4>

<https://www.youtube.com/watch?v=ujNGaQKap98>

# Golpe de ariete

Celeridad, c: velocidad de propagación de la onda de presión a través del fluido en el conducto:

$$c \text{ [m/s]} = \frac{\sqrt{\frac{E}{\rho}}}{\sqrt{1 + \frac{E \cdot D}{E_m \cdot e}}} = \left[ \frac{9900}{\sqrt{48,3 + K \frac{D}{e}}} \right]_{\text{agua}}$$

{

E [Pa]      Módulo elástico del fluido

$\rho$  [kg/m<sup>3</sup>]      Densidad del fluido

E<sub>m</sub> [Pa]      Módulo elástico de la tubería

D [m]      Diámetro interior tubería

e [m]      Espesor tubería

K [-]      Coeficiente función de E<sub>f</sub> y E<sub>m</sub>

Material de la tubería	K [-]
Acero	0,5
Fundición	1
Hormigón sin armar	5
PVC	33,3
PE baja densidad	500
PE alta densidad	111

Para un conducto de longitud L constituido por varios tramos en serie con diferentes diámetros, longitudes L<sub>i</sub>, materiales, etc:

Celeridades equivalente:  $\frac{L}{c} = \frac{L_1}{c_1} + \frac{L_2}{c_2} + \frac{L_3}{c_3} + \dots \rightarrow c = \frac{L}{\sum \frac{L_i}{c_i}}$

Velocidad equivalente de flujo:  $v = \frac{\sum v_i L_i}{\sum L_i}$

# Golpe de ariete

$T_c$ : Tiempo de apertura/cierre total o parcial de la válvula o tiempo de parada de una bomba. Cuando no se conoce, una estimación de éste último la da la ecuación (experimental) de Mendiluce:

$$T_c = C_1 + \frac{C_2 \cdot L \cdot v}{g \cdot H_m}$$

{

$L$  [m] Longitud conducción

$v$  [m/s] Velocidad fluido

$g$  [m/s<sup>2</sup>] Gravedad

$H_m$  [mca] Altura manométrica a la salida de la bomba (presión de salida)

$C_1, C_2$  [-] Coeficientes empíricos de Mendiluce

$H_m/L$ [-]	$C_1$ [-]
$\geq 0,4$	0,00
0,35	0,42
0,3	0,68
0,25	0,84
0,2	0,92
0,15	0,97
$\leq 0,10$	1,00

Longitud	$C_2$ [-]
$L < 500$	2,00
$L \approx 500$	1,75
$500 < L < 1500$	1,50
$L \approx 1500$	1,25
$L > 1500$	1,00

Cierre lento: aquel que es más lento que el tiempo que tarda la onda de presión en recorrer la longitud  $2 \cdot L$ :

$$T_c > \frac{2 \cdot L}{c} \rightarrow \text{cierre lento} \rightarrow \Delta p_{\text{Michaud}} [\text{Pa}] = \pm \frac{2 \cdot L \cdot v \cdot \rho}{T_c}$$

Cierre rápido: aquel que es más rápido que el tiempo que tarda la onda de presión en recorrer la longitud  $2 \cdot L$ :

$$T_c < \frac{2 \cdot L}{c} \rightarrow \text{cierre rápido} \rightarrow \Delta p_{\text{Allievi}} [\text{Pa}] = \pm c \cdot v \cdot \rho$$

# Golpe de ariete, control

En fase de diseño sin medidas antiarriete:

- Aumentar el diámetro de las tuberías (menor velocidad de flujo)
- Aumentar el espesor de las tuberías para soportar la sobrepresión

Ambas son caras y sobredimensionan en exceso las tuberías para las condiciones de operación

En operación:

- Controlando la velocidad de los actuadores: tiempo de arranque/parada bomba, tiempo de apertura/cierre de válvulas, etc

- Dispositivos antiarriete:

- Instalación de volante de inercia en motores (mejor con variadores de frecuencia)

- Calderines

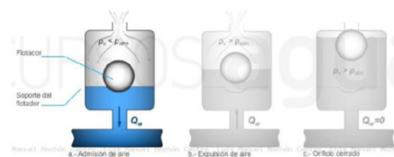
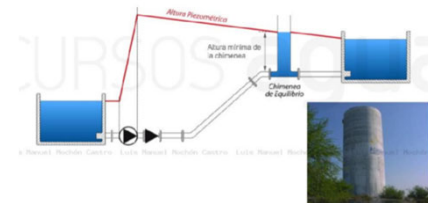
- Chimeneas de equilibrio

- Ventosas

[https://www.youtube.com/watch?app=desktop&v=19no\\_3aLlFc](https://www.youtube.com/watch?app=desktop&v=19no_3aLlFc)

- Válvulas antirretorno (de retención)

- Instalación de válvulas con volante



Chimenea equilibrio



Calderín



# Golpe de ariete

**Ejemplo 2.** Calcular el golpe de ariete de una conducción de 2400 m de longitud por la que circula un caudal de 7,5 l/s de agua. Se anula el caudal por mediación de una válvula, cuyo tiempo de cierre es de 4,5 s:

- a) Tubería de acero de 100 mm de diámetro interior y 5 mm de espesor
- b) Tubería de PVC de 93,4 mm de diámetro interior y 8,2 mm de espesor
- c) Tramo de 1200 m de acero y el resto de PVC

Datos:  $L=2400$  m;  $Q=7,5$  l/s;  $T_c=4,5$  s

a) Acero  $D=0,1$  m;  $e=0,005$  m

$$c = \frac{9900}{\sqrt{48,3 + K \frac{D}{e}}} = \frac{9900}{\sqrt{48,3 + 0,5 \frac{0,1}{0,005}}} = 1297 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$\frac{2L}{c} = \frac{2 \cdot 2400}{1297} = 3,7 < T_c = 4,5 \text{ s} \rightarrow \text{cierre lento}$$

$$\Delta p_{\text{Michaud}} = \frac{2L \cdot v \cdot \rho}{T_c} = \frac{2 \cdot 2400 \cdot 0,955 \cdot 1000}{4,5} = 10,2 \text{ bar}$$

b) PVC  $D=0,0934$  m;  $e=0,0082$  m

$$c = \frac{9900}{\sqrt{48,3 + K \frac{D}{e}}} = \frac{9900}{\sqrt{48,3 + 33,3 \frac{0,0934}{0,0082}}} = 479 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$\frac{2L}{c} = \frac{2 \cdot 2400}{479} = 10,0 \text{ s} > T_c = 4,5 \text{ s} \rightarrow \text{cierre rápido}$$

$$\Delta p_{\text{Allievi}} = c \cdot v \cdot \rho = 479 \cdot 1,095 \cdot 1000 = 5,2 \text{ bar}$$

c) Acero 1200 m y PVC 1200 m:

$$c = \frac{L}{\frac{L_1}{c_1} + \frac{L_2}{c_2}} = \frac{2400}{\frac{1200}{1297} + \frac{1200}{479}} = 699 \frac{\text{m}}{\text{s}} \quad v = \frac{\sum (L_i v_i)}{L} = \frac{1200 \cdot 0,95 + 1200 \cdot 1,09}{2400} = 1,02 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$\frac{2L}{c} = \frac{2 \cdot 2400}{699} = 6,9 \text{ s} > T_c = 4,5 \text{ s} \rightarrow \text{cierre rápido} \rightarrow \Delta p_{\text{Allievi}} = c \cdot v \cdot \rho = 699 \cdot 1,02 \cdot 1000 = 7,2 \text{ bar}$$

# Golpe de ariete

Ejemplo 3. Se impulsa un caudal de 230 l/s a una velocidad de 1,45 m/s por una tubería de acero de 4700 m de longitud y 0,019 m de espesor. La presión a la salida de la bomba parada vale 40 m y la pérdida de carga en la impulsión durante el funcionamiento es de 6,7 m. Evaluar el golpe de ariete provocado por la parada imprevista de la bomba.

$$T_c = C_1 + \frac{C_2 \cdot L \cdot v}{g \cdot H_m} = \left\{ \begin{array}{l} L=4700 \text{ m} \rightarrow C_2=1 \\ H_m=40+6,7=46,7 \text{ m} \\ m=\frac{H_m}{L}=\frac{46,7}{4700}=0,01 \rightarrow C_1=1 \end{array} \right\} = 1 + \frac{1 \cdot 4700 \cdot 1,45}{9,81 \cdot 46,7} = 15,9 \text{ s}$$

$$A = \frac{Q}{v} = \frac{\pi D^2}{4} \rightarrow D = 0,45 \text{ m}$$

$$c = \frac{9900}{\sqrt{48,3 + K \frac{D}{e}}} = \{K(\text{acero})=0,5\} = \frac{9900}{\sqrt{48,3 + 0,5 \frac{0,45}{0,019}}} = 1277 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$\frac{2L}{c} = \frac{2 \cdot 4700}{1277} = 7,4 \text{ s} < T_c = 15,9 \text{ s} \rightarrow \text{cierre lento}$$

$$\Delta H_{\text{Michaud}} = \frac{2 \cdot L \cdot v \cdot \rho}{T_c} = \frac{2 \cdot 4700 \cdot 1,45 \cdot 1000}{15,9} = 8,6 \text{ bar}$$



# Proyecto de una instalación

En un proyecto de tuberías hay que considerar muchos aspectos al objeto que la **instalación preste su servicio** adecuadamente, según los parámetros de diseño y durante los años de servicio previstos. El proyecto debe incluir al menos los siguientes aspectos:

- **Diseño hidráulico:** Se define la geometría de la red de tuberías, su trazado por el edificio y se dimensionan las secciones de paso basándose en velocidades límite, pérdidas de carga, etc.
- **Selección de materiales:** Con criterios de durabilidad y resistencia a la corrosión a las temperaturas de servicio, además de los criterios económicos.
- **Diseño mecánico:** Se definen los espesores y la forma de unión, para responder a las sollicitaciones mecánicas a las que va a estar sometida la tubería: presión interior, peso propio, vibraciones, dilataciones, fatiga y otras cargas.

# Materiales

En las tuberías de los edificios se emplean diversos materiales y es preciso conocer sus aplicaciones y limitaciones. A la hora de elegir el material hay que tener en cuenta, al menos, las siguientes propiedades:

- **Resistencia mecánica:** Normalmente se emplea el límite elástico o el valor dado por la norma aplicable, con un coeficiente de seguridad que suele ser de 4. Prestar atención a las temperaturas, sobre todo en materiales plásticos.
- **Tenacidad:** Propiedad del material que evita la rotura frágil y repentina. Se mide por la prueba de impacto Charpy en los aceros.
- **Resistencia a la corrosión:** Considerar aquí ambas caras de la tubería. Atención a posibles pares galvánicos (por ejemplo, acero - cobre), ([ver serie galvánica](#)): “en medio húmedo el cobre se come (oxida) al acero, el acero se come al aluminio...”
- **Métodos de unión posibles:** Soldadura, bridas, adhesivos, uniones mediante accesorios especiales (*press-fitting...*), etc.
- **Disponibilidad comercial:** precio, facilidad de hallar accesorios, válvulas, existencia de montadores capacitados, facilidad de realizar cambios y reformas, etc.

# Materiales

Los materiales aceptados por el CTE para instalaciones de **agua potable** (fría y caliente) en los edificios son los siguientes:

Materiales de las tuberías para suministro de agua		
Material	Den.	Norma
Acero galvanizado	Galva	UNE 19.047
Cobre	Cu	UNE-EN 1.057
Acero inoxidable	Inox	UNE 19.049
Fundición dúctil	Hº Fº	UNE-EN 545
Policloruro de vinilo no plastificado	PVC	UNE-EN 1.452
Policloruro de vinilo clorado	PVC-C	UNE-EN ISO 15.877
Polietileno	PE	UNE-EN 12.201
Polietileno reticulado	PE-X	UNE-EN ISO 15.875
Polibutileno	PB	UNE-EN ISO 15.876
Polipropileno	PP	UNE-EN ISO 15.874
Multicapa polímero/aluminio/polietileno resistente a temperatura	P/AL/PE-RT	UNE 53.960 EX
Multicapa polímero/aluminio/polietileno reticulado	P/AL/PE-X	UNE 53.961 EX
Apartado 6.2 (Hs4)		

Estos materiales también pueden aplicarse a otras instalaciones como las de agua de climatización.

Por razones de salubridad, no pueden emplearse para agua potable tuberías de aluminio ni aquellas que contengan plomo. Otros materiales, como el acero al carbono, tampoco pueden usarse para agua potable, pero sí en otras instalaciones, por ejemplo en instalaciones de calefacción.

# Materiales

Los **materiales metálicos** son los más “clásicos”. De manera general, ofrecen una mayor resistencia mecánica y térmica (mayores presiones admisibles, soportación más separada, aptos para agua caliente y vapor, etc.). Existe una larga experiencia de uso, con instalaciones que han funcionado muchas décadas (o incluso más de un siglo). Por eso son los preferidos en la industria y en instalaciones importantes.

Los **materiales plásticos** son más novedosos y se han desarrollado enormemente en los últimos 20 años. Sus ventajas principales son la resistencia a la corrosión, su ligereza y flexibilidad. Algunos se presentan en forma de bobinas, que permiten realizar grandes conducciones libres de uniones. En general, el manejo en obra es más sencillo (se corta fácilmente, se trabaja en frío, etc.). Su desventaja común es la menor resistencia a altas temperaturas y menor experiencia en cuanto a duración, pero la cualidades citadas al principio hacen que se estén aplicando cada vez más en edificación civil: viviendas, oficinas, etc.

Los **materiales multicapa** pretenden combinar ventajas de los metálicos y los plásticos. Sobre todo, evitan las grandes dilataciones de los plásticos, y esto facilita su uso.

	MATERIALES METÁLICOS			
ASPECTO	ACERO NEGRO	ACERO GALVANIZADO	ACERO INOXIDABLE	COBRE
Resistencia mecánica	Alta	Alta	Alta	Media
Tensión admisible de referencia (kPa)	90.000	90.000	130.000	45.000
Resistencia térmica	Alta	Alta	Alta	Alta
Peso	Alto	Alto	Medio	Medio
Resistencia a la corrosión	Baja	Media	Alta	Alta
Dilatación	Baja	Baja	Baja	Medio
Pérdida de carga	Media	Alta	Baja	Baja
Uniones	Soldadura, vitaulic	Rosca	Soldadura, accesorios especiales	Soldadura (estaño o plata)
Aplicaciones	Circuitos de agua de calefacción y refrigeración, PCI. Máximas prestaciones de resistencia mecánica	Circuitos de agua fría y refrigeración, PCI	Todas. Larga vida útil. Instalaciones vistas.	Todas, especialmente circuitos frigoríficos. El menor diámetro exterior para un caudal dado.
Desventaja principal	No válido para agua potable	Uniones no estancas. Incrustaciones.	Montaje muy especializado	Diámetros limitados.
Precio (incluyendo montaje)	Medio	Bajo	Alto	Medio
Diámetros disponibles (mm)	15 - 600	15 - 100	10 - 600	6 - 60

# Materiales plásticos y multicapa

	MATERIALES PLÁSTICOS				
ASPECTO	PE (polietileno)	PE-X (polietileno reticulado)	PB (polibutileno)	PP (polipropileno)	PEX-AI (multicapa)
Resistencia mecánica	Baja	Media	Media	Baja	Media
Tensión admisible de referencia (kPa)	2.200	5.500	3.500	2.500	
Resistencia térmica	Baja	Media	Media	Media	Media
Peso	Bajo	Bajo	Bajo	Bajo	Bajo
Resistencia a la corrosión	Alta	Alta	Media	Muy alta	Alta
Dilatación	Alta	Alta	Alta	Muy alta	Media
Pérdida de carga	Baja	Baja	Baja	Baja	Baja
Uniones	Racores especiales	Accesorios especiales "press-fitting"	Termofusión	Termofusión	Accesorios especiales "press-fitting"
Aplicaciones	Agua fría enterrado, riego. Saneamiento, drenaje.	Agua fría y caliente. Suelos radiantes.	Agua fría y caliente. Calefacción.	Agua fría y caliente. Calefacción. DN > 65 mm	Agua fría y caliente. Calefacción. Instalaciones vistas.
Desventaja principal	Sólo agua fría, presiones bajas. No resiste la radiación solar.	Accesorios especiales de cada fabricante	Permeable al oxígeno. Problemas de corrosión. Poca disponibilidad.	Grandes espesores, no adecuado para tubos de pequeño diámetro empotrados.	Accesorios especiales de cada fabricante. No disponible en grandes diámetros.
Precio (incluyendo montaje)	Bajo	Medio	Medio	Alto	Medio
Diámetros disponibles (mm)	20 - 250	12 - 80	15 - 50	20 - 150	15 - 50

# Dimensionado mecánico. Espesor necesario

La sollicitación mecánica principal en una tubería es la presión interior. El cálculo de la tensión del material en un tubo de pared delgada sometido a presión interior es elemental. Distintas normas recogen el método de cálculo autorizado y, naturalmente, llegan a valores muy semejantes. La norma ASME B31 de aplicación generalizada establece las fórmulas de cálculo siguientes:

$$e = \frac{p \cdot D_{\text{ext}}}{2 \cdot S_E} + \Delta e$$

Donde:

$e$  espesor [mm]

$p$  presión admisible interior tubería [kPa]

$D_{\text{ext}}$  diámetro exterior [mm]

$S_E$  tensión admisible, incluye el factor de soldadura [kPa]

$\Delta e$  sobre-espesor por corrosión, roscado, etc. [mm]

Esta fórmula es de aplicación en tuberías metálicas que no se degradan por acción del tiempo o la temperatura. Para las tuberías plásticas hay que atender a la norma correspondiente y prestar atención a la clase de la tubería, vigilando que se respete por parte del montador.

# Dimensionado mecánico. Espesor necesario

**Ejemplo 4:** Determinar la presión máxima admisible de una tubería de acero al carbono sin soldadura, DN100, serie DIN 2448 y material St 37. Tomar un sobre-espesor de corrosión de 1 mm.

Símbolo	Nº del Material	Carga de Rotura MPa	Limite Elástico MPa			Alargamiento % min.	
			e ≤ 16 mm	16 < e ≤ 40 mm	40 < e ≤ 65 mm	Long	Trans.
St 37.0	1.0254	350 - 480	235	225	215	25	23
St 44.0	1.0256	420 - 550	275	265	255	21	19
St 52.0	1.0421	500 - 650	355	345	335	21	19

Tensión admisible  $S_E$ :  $\frac{1}{4}$  de la carga de rotura =  $350/4 = 87,5$  MPa

Serie DIN 2448, DN100 ([Tabla DIN2448](#)): Diámetro exterior=114,3 mm; espesor=3,6 mm

$$p = \frac{2 \cdot S_E \cdot (e - \Delta e)}{D_{ext}} = \frac{2 \cdot 87,5 \cdot 10^3 (3,6 - 1)}{114,3} = 3981 \text{ kPa} = 39,81 \text{ bar}$$

*Para aplicaciones generales en edificación, con presiones de trabajo menores a 10 bar, la tubería de acero no se suele comprobar por presión admisible.*

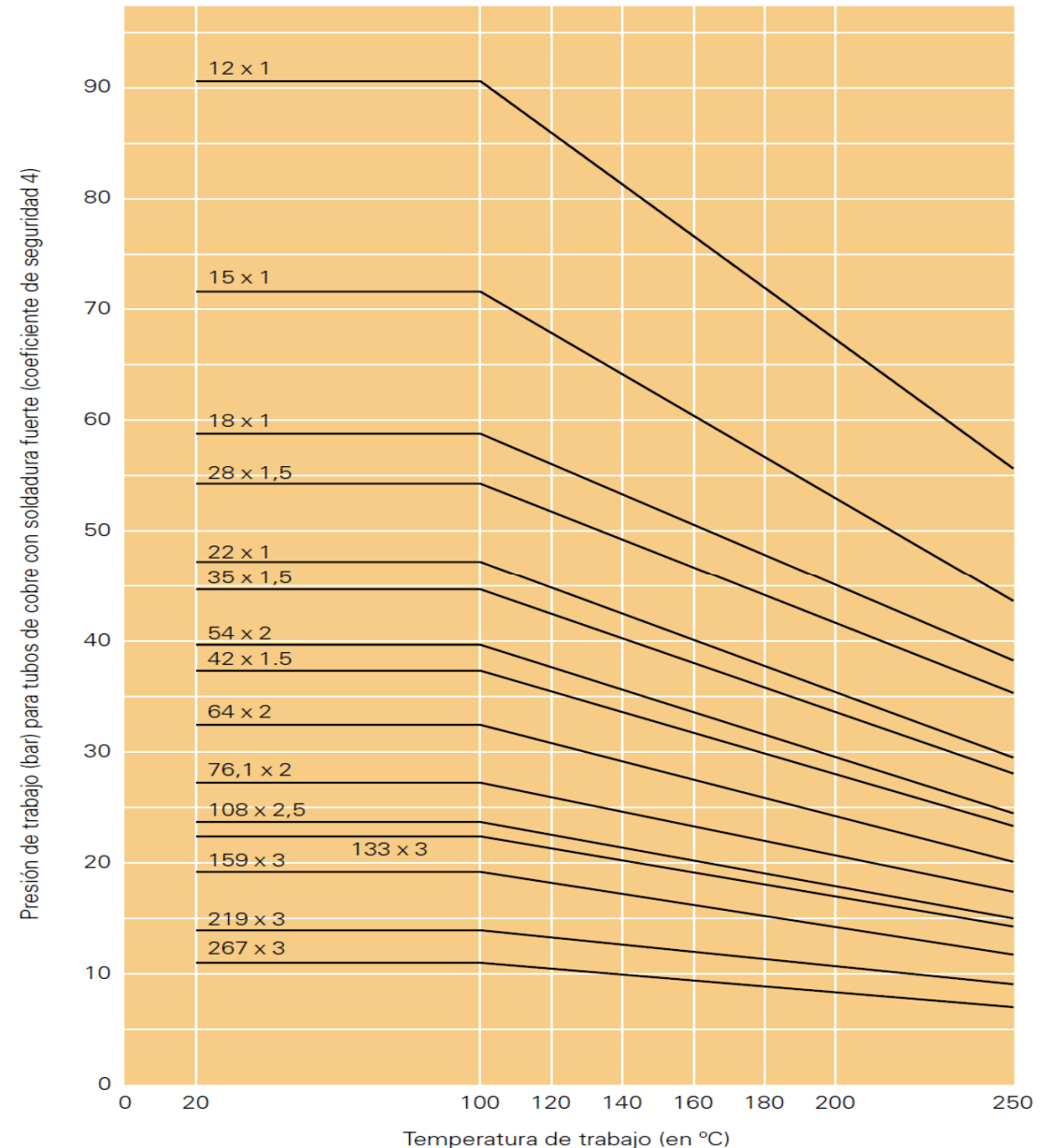


# Dimensionado mecánico. Espesor necesario

En el caso del cobre, existen dos calidades principales: **cobre duro** y **cobre recocido**. El tubo en estado duro es más rígido y tiene una resistencia que es alrededor de un 40% superior. Sin embargo, lo habitual es aplicar la misma tensión admisible que en el recocido (44 MPa). No se aplican sobreespesores de corrosión.

Para las tuberías de cobre se puede emplear la gráfica siguiente, que además incorpora el efecto de la temperatura, la cual no tiene incidencia en las aplicaciones normales en los edificios (<100 °C).

Recuérdese que los diámetros comerciales están limitados a 64 mm. (Valores de presión en bar y líneas de DN x espesor en mm.)



# Dimensionado mecánico. Tuberías plásticas

Las características mecánicas de las tuberías plásticas dependen de la **temperatura de aplicación** y el **tiempo de servicio**. La normativa establece unas categorías o “clases de aplicación”, basadas en una duración estimada de la instalación de 50 años:

## CLASIFICACIÓN DE LAS CONDICIONES DE SERVICIO

EN ISO 15874-1

Clase de aplicación	Temperatura de diseño $T_D$ °C	Tiempo a $T_D$ años	T máx. °C	Tiempo a $T_{máx.}$ años	$T_{mal}$ °C	Tiempo a $T_{mal}$ h	Campo típico de aplicación
1 <sup>1)</sup>	60	49	80	1	95	100	Suministro de agua caliente a 60 °C
2 <sup>1)</sup>	70	49	80	1	95	100	Suministro de agua caliente a 70 °C
4 <sup>2)</sup>	20	2.5	70	2.5	100	100	Calefacción por suelo radiante y radiadores a baja temperatura
	40	20					
	60	25					
5 <sup>2)</sup>	20	14	90	1	100	100	Radiadores a alta temperatura
	60	25					
	80	10					

# Dimensionado mecánico. Tuberías plásticas

Aparte de la clase de aplicación (temperatura), las tuberías plásticas tienen una “serie” y una **presión nominal**, que se imprime en los tubos. La presión nominal se corresponde a la que resiste el tubo en servicio continuo (50 años) con agua a 20°C. La tabla siguiente corresponde a un fabricante de PP:

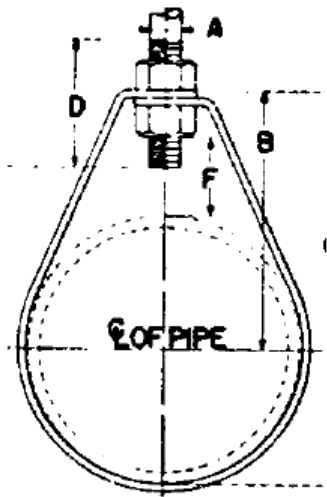
Temperature [°C]	Operating period [years]	Diameter-wall thickness relation SDR						
		41	33	26	17	11	7,4	6
		Pipe series S						
		20	16	12,5	8	5	3,2	2,5
		PN						
		4	5	6,3	10	16	25	32
Permissible component operating pressure $p_B^{1) 2)}$ [bar]								
10	5	5,0	6,3	7,9	12,6	20,2	31,5	40,4
	10	4,9	6,2	7,8	12,4	19,8	31,0	39,7
	25	4,8	6,0	7,6	12,1	19,3	30,2	38,7
	50	4,7	5,9	7,5	11,9	19,0	29,7	38,0
	100	4,6	5,8	7,3	11,6	18,7	29,2	37,4
20	5	4,2	5,3	6,6	10,6	16,9	26,5	33,9
	10	4,1	5,2	6,5	10,4	16,6	26,0	33,3
	25	4,0	5,0	6,4	10,1	16,2	25,4	32,5
	50	4,0	5,0	6,3	10,0	16,0	25,0	32,0
	100	3,9	4,9	6,1	9,8	15,7	24,5	31,4
30	5	3,6	4,5	5,6	9,0	14,4	22,5	28,8
	10	3,5	4,4	5,5	8,8	14,1	22,1	28,3
	25	3,4	4,3	5,4	8,6	13,8	21,6	27,6
	50	3,3	4,2	5,3	8,4	13,5	21,2	27,1
40	5	3,0	3,8	4,8	7,7	12,3	19,3	24,7
	10	3,0	3,8	4,7	7,6	12,1	19,0	24,3
	25	2,9	3,7	4,6	7,4	11,8	18,5	23,7
	50	2,9	3,6	4,5	7,2	11,6	18,2	23,3
50	5	2,6	3,3	4,2	6,7	10,7	16,7	24,4
	10	2,6	3,2	4,0	6,5	10,4	16,2	20,3
	15	2,3	2,9	3,7	5,9	9,5	14,8	19,0
60	5	1,9	2,4	3,0	4,8	7,7	12,1	15,5
70	2	1,5	1,9	2,4	3,9	6,2	9,8	12,5

# Soportes

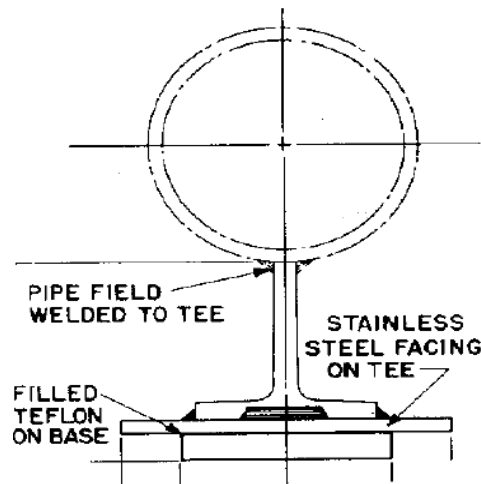
Dejando aparte las instalaciones empotradas y las enterradas, las redes de tuberías deben soportarse adecuadamente para resistir una serie de cargas:

- El peso propio de la tubería y accesorios (válvulas), el fluido contenido y el aislamiento térmico.
- Cargas no permanentes provocadas por nieve, viento...
- Fuerzas debidas a la dilatación de la tubería por cambios de temperatura
- Esfuerzos por vibración y por el propio flujo circulante (golpes de ariete)
- Esfuerzos ejercidos en las pruebas
- Esfuerzos sísmicos

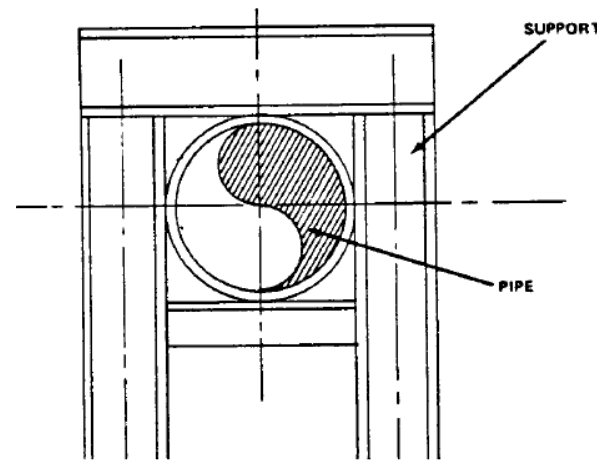
Existen numerosos tipos de soportes de tuberías, que se diferencian básicamente por los grados de libertad que limitan el movimiento de la tubería, y la forma de soportarla:



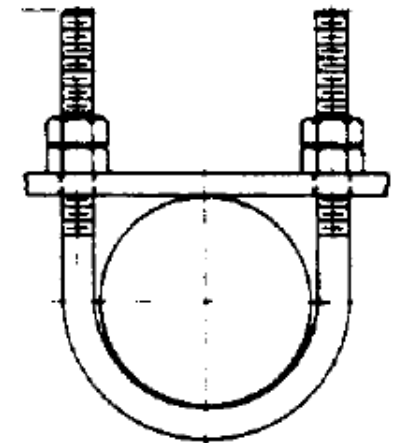
Suspensión  
(sólo resiste fuerzas  
verticales)



Soporte deslizante  
(resiste esfuerzos verticales y  
opcionalmente perpendiculares a la  
tubería)



Soporte tipo caja (box)  
Si se suelda a la tubería  
puede ser un anclaje



Soporte en U o abarcón  
realizado mediante varilla  
roscada y curvada

# Soportes

La soportación de las tuberías de especial importancia debe ser objeto de un cálculo estructural detallado. Este es el caso de las tuberías:

- De vapor o gases peligrosos (amoníaco)
- De agua sobrecalentada a más de 120 °C o 10 bar
- Tramos verticales de más de 30 m
- Tuberías de diámetros mayores de DN250
- Cargas sobre los anclajes mayores de 40 kN

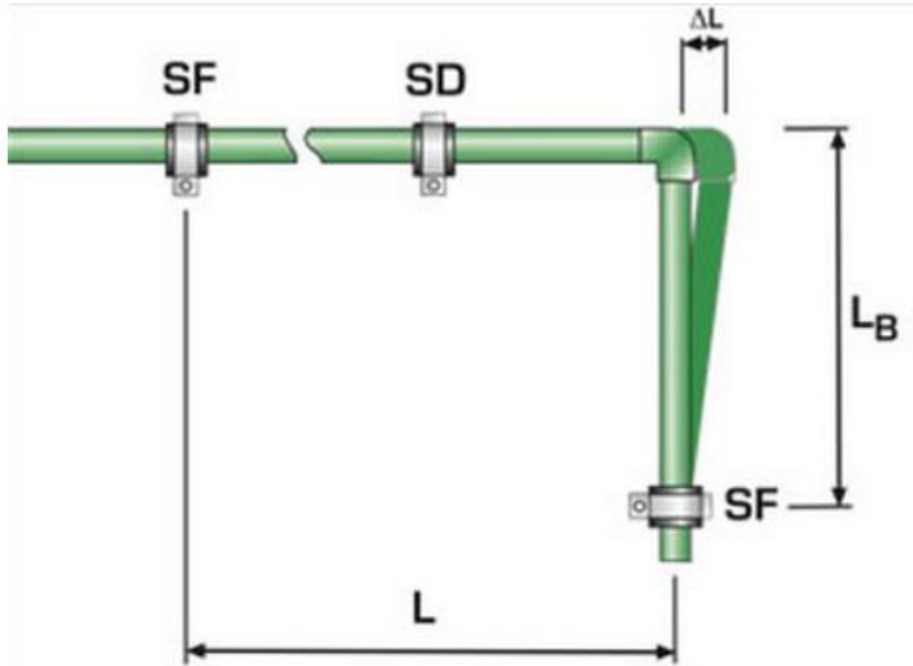
En el resto de casos (habituales en las instalaciones de edificación), no es necesario ese cálculo y basta con seguir unas reglas prácticas, como prever soportes de gravedad con una separación –en metros– igual o menor al mostrado en la tabla siguiente:

DIÁMETRO NOMINAL mm	ACERO	COBRE	PP, PE, PE-X	MULTICAPA
25 o inferior	2,1	1,7	0,7	1,2
40	2,7	2,2	0,9	1,5
50	3	2,5	1,0	1,7
65	3,4	2,8	1,1	1,9
80	3,7	3,1	1,2	2,1
100	4,3	3,6	1,4	2,4
150	5,2		1,7	
200	5,8			
250	6,1			
300	7			

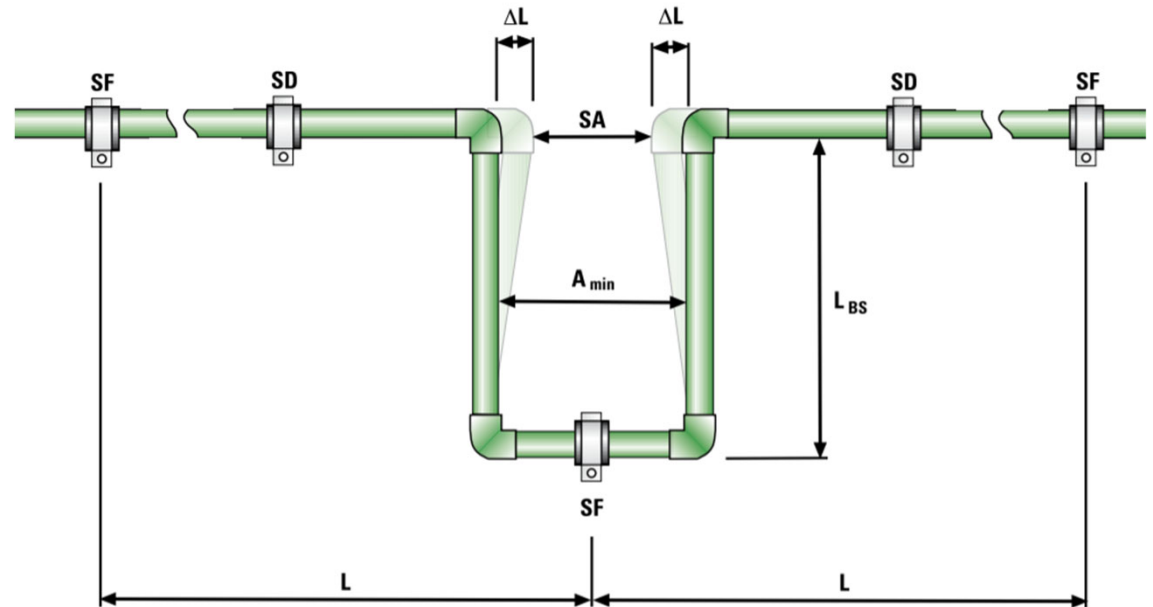
# Dilataciones

Los materiales que se emplean en las tuberías se dilatan por **efecto de la temperatura**. Las tuberías sometidas a grandes diferencias de temperatura y aquellas que tienen longitudes importantes sufren variaciones muy apreciables que, si no se tienen en cuenta, dan lugar a esfuerzos importantes que pueden provocar el fallo de la tubería. Un diseño correcto permite que la tubería se dilate y contraiga sin provocar esfuerzos imprevistos en los anclajes y soportes.

Siempre que sea posible, hay que realizar un trazado de la tubería con una geometría flexible “per se”, incluyendo, por ejemplo, cambios de dirección “en L”, “en Z” o “en U”, también llamados “liras”.



Compensador  
"en L"



Compensador  
"en U" o lira

# Dilataciones

El **diseño de una compensación** “en L” es bastante simple. La longitud del brazo de compensación puede calcularse mediante:

donde:

$$L_B = \sqrt{\frac{3 \cdot \Delta L \cdot D \cdot E}{S_E}}$$

$L_B$	longitud del brazo compensador [mm]
$\Delta L = \alpha \cdot L_0 \cdot \Delta T$	dilatación del tramo recto [mm]
$D$	diámetro de la tubería [mm]
$E$	módulo elástico del material [kPa]
$S_E$	tensión admisible del material [kPa]

Para el acero de uso normal en tuberías, esta fórmula se simplifica resultando:

$$L_B = 80 \sqrt{\Delta L \cdot D}$$

El efecto de la dilatación produce en el anclaje fijo un esfuerzo que puede calcularse por las fórmulas habituales de resistencia de materiales.

Una compensación en Z o en U se puede considerar como dos compensaciones L “en serie” y calcularse de modo análogo.

Hay que prever la soportación de forma que la tubería pueda efectivamente moverse de la forma prevista, para evitar que al ponerla en servicio haya sorpresas desagradables.

# Dilataciones

**Ejemplo 5:** Una tubería DN100 tiene un tramo recto de 30 m, y se prevé una oscilación de temperatura de 60 °C. Calcular el brazo compensador necesario para acero, cobre y polietileno.

En la tabla siguiente se muestran el cálculo y los resultados:

	ACERO	COBRE	PE-X
Tensión admisible, $S_E$ [kPa]	90.000	45.000	5.500
Módulo elástico, $E$ [kPa]	1,93E+08	1,20E+08	1,03E+06
Coeficiente de dilatación, $\alpha$ [mm/m·K]	1,00E-03	1,66E-02	2,00E-01
Longitud tramo recto, $L$ [m]	30	30	30
Diferencia de temperaturas [°C]	60	60	60
Diámetro de la tubería, $D$ [mm]	100	100	100
Expansión de la tubería, $\Delta L$ [mm]	1,8	30	360
En relación al acero [-]	1	17	200
<b>Longitud del compensador, <math>L_B</math> [mm]</b>	<b>1076</b>	<b>4889</b>	<b>4497</b>
En relación al acero [-]	1	5	4

Vemos que el cobre se dilata 17 veces más que el acero, y el PE-X 200 veces más. Sin embargo, dada la flexibilidad del PE, el brazo de compensación es comparable al del cobre, o sea aproximadamente 4,5 veces el necesario en el acero.



# Dilataciones

Existen casos en los que no es posible utilizar la solución anterior en el trazado de las tuberías. En estos casos, se puede recurrir a **compensadores** especialmente diseñados para esta función. Normalmente están fabricados a base de un fuelle con una gran flexibilidad, el cual puede ir guiado.

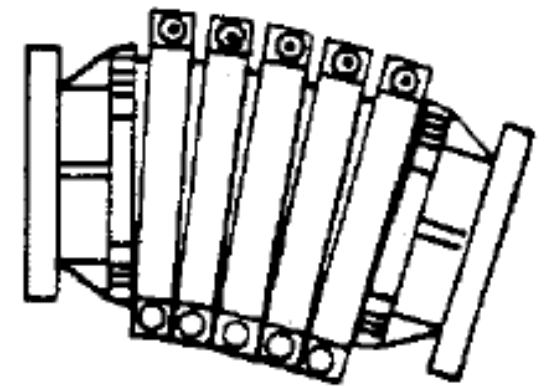
Se seleccionan del catálogo del fabricante por la forma de unión (soldado o embridado), la presión y temperatura de trabajo, y el desplazamiento (dilatación) a compensar.



Compensador axial para montaje soldado con guía para el fuelle (altas presiones)



Compensador axial para montaje embridado sin guía para el fuelle (medias presiones)



Compensador axial, lateral y angular para montaje embridado con anillos de refuerzo para el fuelle (altas presiones)

Existen otros compensadores o manguetas, ejecutados mediante elastómeros, que pueden realizar esta función y también la de aislar la tubería de fuentes de vibración. Se montan habitualmente en la conexión (impulsión) a las bombas.

# Válvulas

Para **controlar el flujo** en las redes de tuberías son fundamentales las válvulas. Las funciones principales de las válvulas son:

- Detener o permitir el flujo: válvulas todo-nada (*on-off*).
- Regular el caudal o la presión: válvulas modulantes.
- Evitar el flujo en sentido contrario al de diseño: válvulas de retención o antirretorno.
- Proteger a la tubería o equipo de presiones excesivas: válvulas de alivio.

Aparte de la función, a la hora de elegir una válvula hay que prestar atención a:

- El fluido de trabajo: líquido o gas, corrosividad, posible vaporización al atravesar la válvula.
- Presión y temperatura normales de trabajo y máximas admisibles.
- Materiales de construcción.
- Forma de unión a la tubería: bridas, rosca, soldadura, etc.
- Requerimientos de pérdida de carga máxima, caudales máximo y mínimo, etc.
- Accionamiento frecuente o esporádico.
- Operación manual o automática. En caso de ser automática, tipo de actuador (neumático, eléctrico...).

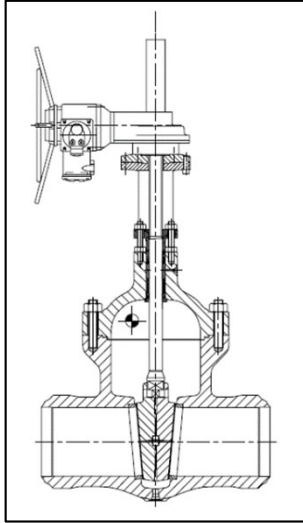
# Válvulas

TIPO	COMPUERTA	MARIPOSA	ASIENTO	ESFERA	RETENCIÓN
<b>FUNCIONAMIENTO</b>	El obturador está formado por un disco que se ajusta en un alojamiento y cierra el paso del fluido. El movimiento de este es vertical.	El obturador está formado por un disco que rota alrededor de un eje permite o impide el paso del agua.	El flujo se produce a través del paso anular existente entre el asiento de la válvula y el obturador, que se desplaza verticalmente por la actuación del vástago.	En el interior de la válvula se encuentra una esfera calibrada con un orificio de paso acorde a su DN tiene un giro de 90°. Cuando el orificio es paralelo a la tubería el paso libre es máximo. Cuando la esfera gira 90° se bloquea el flujo.	Las válvulas de retención se accionan por la propia presión del fluido permitiendo su paso pero no su retroceso Esta válvula sólo permite el paso de un fluido en un sentido.
<b>PERMITE REGULACIÓN</b>	NO ADECUADA. SÓLO PARA SITUACIONES TEMPORALES	NO ADECUADA. SÓLO PARA SITUACIONES TEMPORALES	SÍ	SÍ EN APLICACIONES QUE NO NECESITAN UN AJUSTE PRECISO	NO
<b>DIAMETROS RECOMENDADO DE USO</b>	DN < 300 mm	DN > 300 mm	DN < 150 mm	DN < 100 mm	
<b>VENTAJAS</b>	EXISTE GRAN VARIEDAD DE DIÁMETROS	EXISTE GRAN VARIEDAD DE DIÁMETROS	EXCELENTE PARA REGULAR CAUDALES	BARATA	

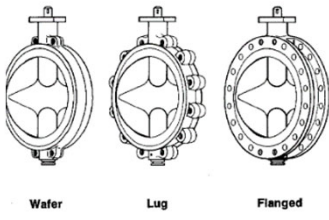
Para escoger que válvulas se utilizan en el proceso se debe tener en cuenta unos criterios mínimos:

- Tipo de válvula a utilizar según flujo y uso
- Material de la válvula
- Tipo de conexiones
- Rango de presión de operación
- Diámetro nominal
- Elementos de control

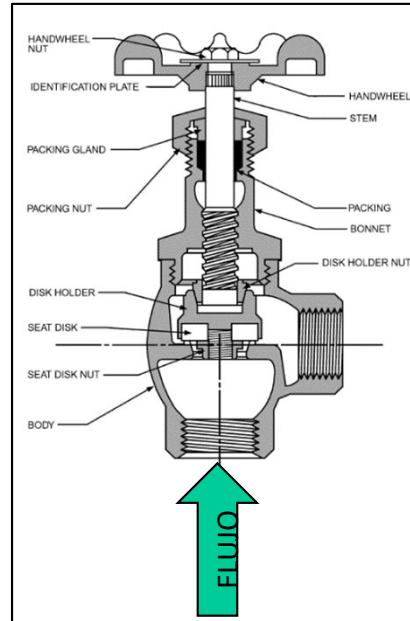
# Válvulas



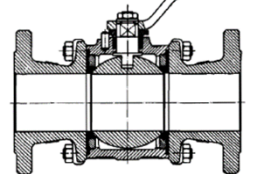
VÁLVULA DE COMPUERTA



VÁLVULA DE MARIPOSA

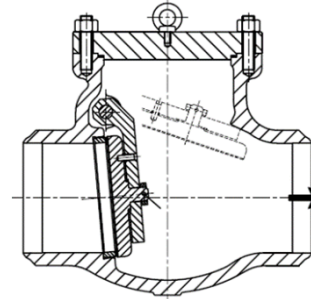


VALVULA DE ASIENTO

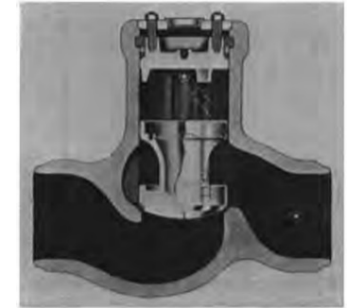


VÁLVULA DE ESFERA

## VÁLVULAS DE RETENCIÓN



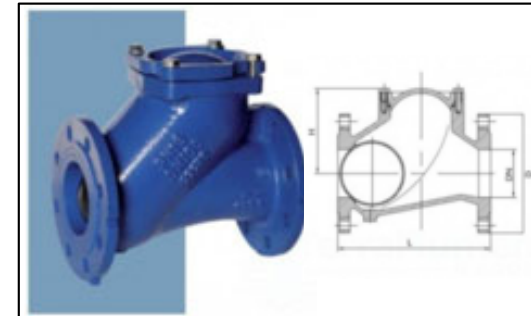
De disco



De pistón



De doble clapeta



De bola

# Aislamiento de tuberías

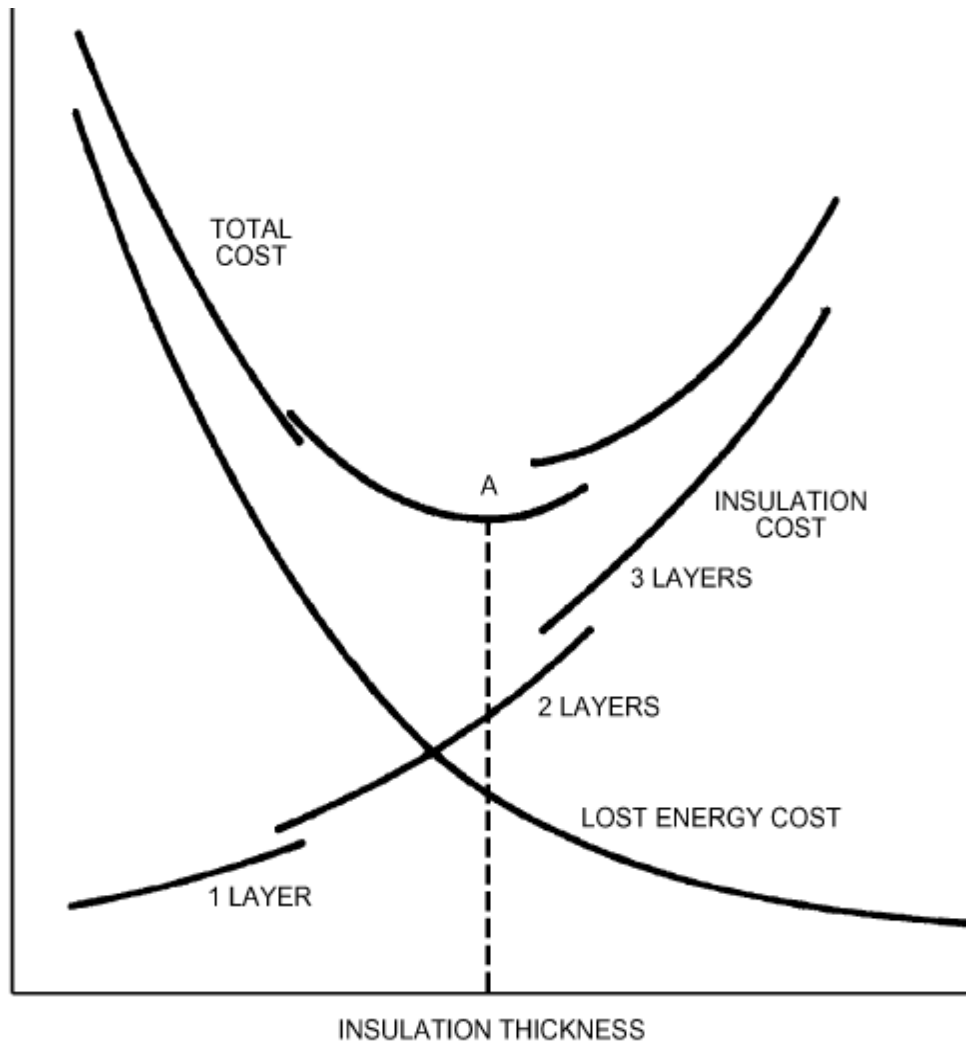
Muy habitualmente, las tuberías de las instalaciones transportan fluidos a temperaturas distintas a la del ambiente. Por tanto, si se desea **evitar** un **intercambio térmico** no deseado, se requiere la instalación de aislamiento térmico.

Pero además de la conservación de la energía, existen otras razones que hacen necesario el aislamiento:

- Proteger a las personas de contactos térmicos peligrosos
- Evitar la congelación del fluido (agua) en ambientes muy fríos
- Evitar la formación de condensación de la humedad ambiente sobre las superficies frías
- Asegurar que el fluido llega a su destino en las condiciones requeridas (temperatura y estado físico)
- Disminuir la propagación de ruido
- Protección contra incendios, evitando su propagación entre dos espacios separados por una pared, o protegiendo al propio fluido transportado

# Aislamiento de tuberías. Espesor económico

Desde el punto de vista de la conservación de la energía, se puede plantear un problema de **compromiso económico**. Un mayor espesor de aislante resulta más costoso en cuanto a inversión inicial, pero conlleva un menor coste (mayor ahorro) de energía en la vida de la instalación.



Es posible plantear este problema si se parte de los datos de coste de instalación del material aislante, de la energía y del plazo de vida de la instalación y las horas de operación anuales.

El espesor óptimo económico se logra cuando el **coste total de la vida de la instalación** resulta **mínimo**.

Un contexto de encarecimiento de la energía favorece espesores mayores de aislante, si bien el propio coste del aislante también se ve afectado por el coste energético.

Vemos que en espesores de aislante pequeños, un incremento del aislante implica una reducción del coste total de vida. Sin embargo, para espesores superiores al óptimo, la adición de más aislamiento implica un coste que no se compensa con los ahorros alcanzados.

Un análisis parecido es posible si se considera la adición de aislamiento suplementario sobre una instalación existente.

# Aislamiento de tuberías. Espesor normativo

En los países desarrollados, las autoridades responsables de la energía han redactado normas de obligado cumplimiento que buscan precisamente favorecer medidas de ahorro energético y mejora de la eficiencia. En el caso de España, y para las instalaciones en los edificios, estas medidas están recogidas en el RITE, el cual está integrado en el CTE. En materia de aislamiento térmico, el RITE establece unos **espesores mínimos**.

Por ejemplo, para agua caliente sanitaria (ACS) y material con conductividad de referencia 0,04 W/m·K, los espesores son:

Espesor (mm) aislamiento térmico para ACS				
$\Phi$ exterior tubería		Interior		Exterior
	$D \leq$	35	30	40
35	$< D \leq$	60	35	45
60	$< D \leq$	90	35	45
90	$< D \leq$	140	35	45
140	$< D$		40	50
$\lambda_{\text{ref}} = 0,040 \text{ (W/m}\cdot\text{K) a } 10^\circ\text{C}$				

Para temperaturas superiores a la del ACS, los espesores serán proporcionalmente mayores.

Si el fluido transportado es frío, el aislamiento no sólo debe obedecer a criterios de limitar las pérdidas térmicas, sino que es preciso evitar la condensación superficial sobre el mismo.

# Aislamiento de tuberías. Evitar la condensación

Cuando circula un **fluido frío** por una tubería aislada, si la temperatura superficial exterior del aislamiento es inferior a la de rocío, se producirá **condensación superficial**. Hay que evitarla: deteriora el aislante, formación moho, etc.

La fórmula siguiente permite obtener el **espesor de aislamiento** necesario para lograr en la superficie exterior una determinada temperatura. Puede aplicarse para el caso de la condensación o también para la protección de las personas:

$$e_{\min} = \frac{\lambda}{h_{\text{ext}}} \frac{T_{\text{sup}} - T_{\text{int}}}{T_{\text{amb}} - T_{\text{sup}}}$$

Donde:

$e_{\min}$  espesor mínimo de aislamiento [m]

$T_{\text{int}}$  temperatura del fluido interior

$T_{\text{sup}}$  temperatura superficial requerida (superior a la de rocío cuando aislamiento fluido frío)

$T_{\text{amb}}$  temperatura ambiente

$\lambda$  conductividad térmica del aislante [W/m·K]

$h_{\text{ext}}$  coeficiente de convección superficie-ambiente exterior [W/m<sup>2</sup>·K]

Esta fórmula es válida para paredes planas o cilindros de gran diámetro. En el caso de tuberías conduce a espesores mayores, quedando por tanto del lado de la seguridad.



# Aislamiento de tuberías. Evitar la condensación

**Ejemplo 6:** Determinar el espesor mínimo de un aislamiento de conductividad  $0,043 \text{ W/m}\cdot\text{K}$  para evitar la condensación superficial en un tanque que mantiene agua fría a  $4 \text{ }^{\circ}\text{C}$ , con una temperatura ambiente de  $27 \text{ }^{\circ}\text{C}$  a distintos valores de humedad relativa del aire.

Conductividad del aislante, $\lambda \text{ [W/m}\cdot\text{K]}$	0,043	0,043	0,043	0,043	0,043
Temperatura del fluido interior, $T_{\text{int}} \text{ [}^{\circ}\text{C]}$	4	4	4	4	4
Temperatura ambiente, $T_{\text{amb}} \text{ [}^{\circ}\text{C]}$	27	27	27	27	27
Coeficiente de convección superficie-ambiente, $h \text{ [W/m}^2\cdot\text{K]}$	6,8	6,8	6,8	6,8	6,8
Humedad relativa [%]	50%	60%	70%	80%	90%
Temperatura de rocío, $T_r \text{ [}^{\circ}\text{C]}$	15,9	18,8	21,3	23,4	25,4
Espesor mínimo de aislamiento, $e \text{ [mm]}$	<b>6,7</b>	<b>11,3</b>	<b>19,0</b>	<b>34,6</b>	<b>84,7</b>

Vemos que a medida que la humedad relativa exterior aumenta, se necesita un mayor espesor. En casos de humedad muy alta, no resulta práctico evitar la condensación añadiendo aislamiento, por lo que es preferible otra estrategia como puede ser mejorar la ventilación (aumenta el coeficiente de convección de la superficie).

# Bibliografía

## Títulos

- Mecánica de fluidos, fundamentos y aplicaciones  
Autor: Yunus Cengel, John Cimbala, 4ª Edición  
Editorial: McGraw Hill, 2019
- ASHRAE Handbook Volumes (2018-2021)

## Normativa y guías técnicas

- RITE - Reglamento de Instalaciones Térmicas en Edificios (Real Decreto 178/2021, de 23 de marzo, por el que se modifica el Real Decreto 1027/2007)
- Código Técnico de la Edificación (CTE) (<http://www.codigotecnico.org/index.php/menu-ahorro-energia/91-ct-documentos-cte>)
- CTE Documento Básico HS Salubridad, Sección HS 4 – Suministro de agua (versión 20 de diciembre de 2019)
- Diseño y cálculo del aislamiento térmico de conducciones, aparatos y equipos (Guía Técnica del IDAE)
- Guía técnica de instalaciones de climatización por agua ( Guía Técnica del IDAE)
- Guía técnica para el diseño, fabricación e instalación de tuberías a presión de poliéster reforzado con fibra de vidrio (2016)(CEDEX)
- *ASME B31 – Standards of Pressure Piping*
- *ASTM A312 - Standard Specification for Seamless, Welded, and Heavily Cold Worked Austenitic Stainless Steel Pipes*
- UNE-EN 10216-1:2014 (DIN 2448) - Tubos de acero sin soldadura para usos a presión
- Manual técnico del Cobre (Nacobre)