

TUBERÍAS

El sistema de conducción (aducción) por tubería en presión es ampliamente utilizado, en proyectos mineros y de agua potable, para gastos pequeños o medianos se constituyen como la solución más económica. La posibilidad de contaminación es muy pequeña y se reduce a los períodos en que la tubería está vacía.

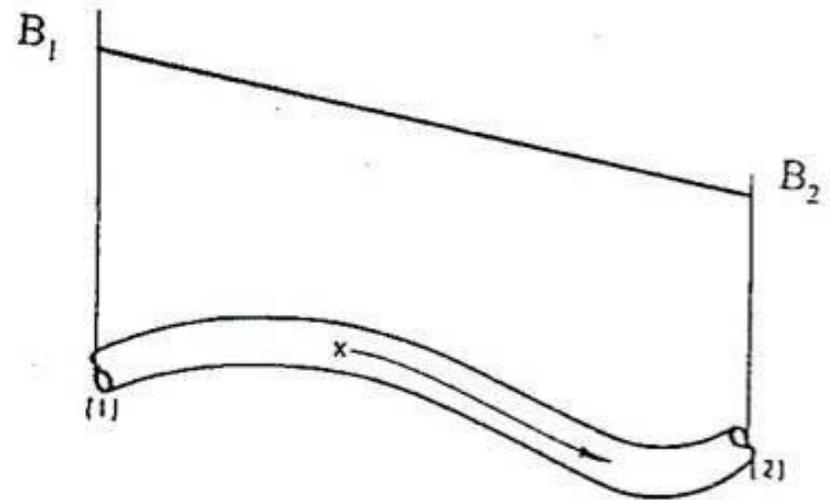




CÁLCULO HIDRÁULICO

BALANCE DE ENERGÍA

En el balance de energía se deben considerar la igualdad de Bernoulli y las pérdidas friccionales y singulares presentes en el sistema. Luego para un tramo de tubería se cumple que:

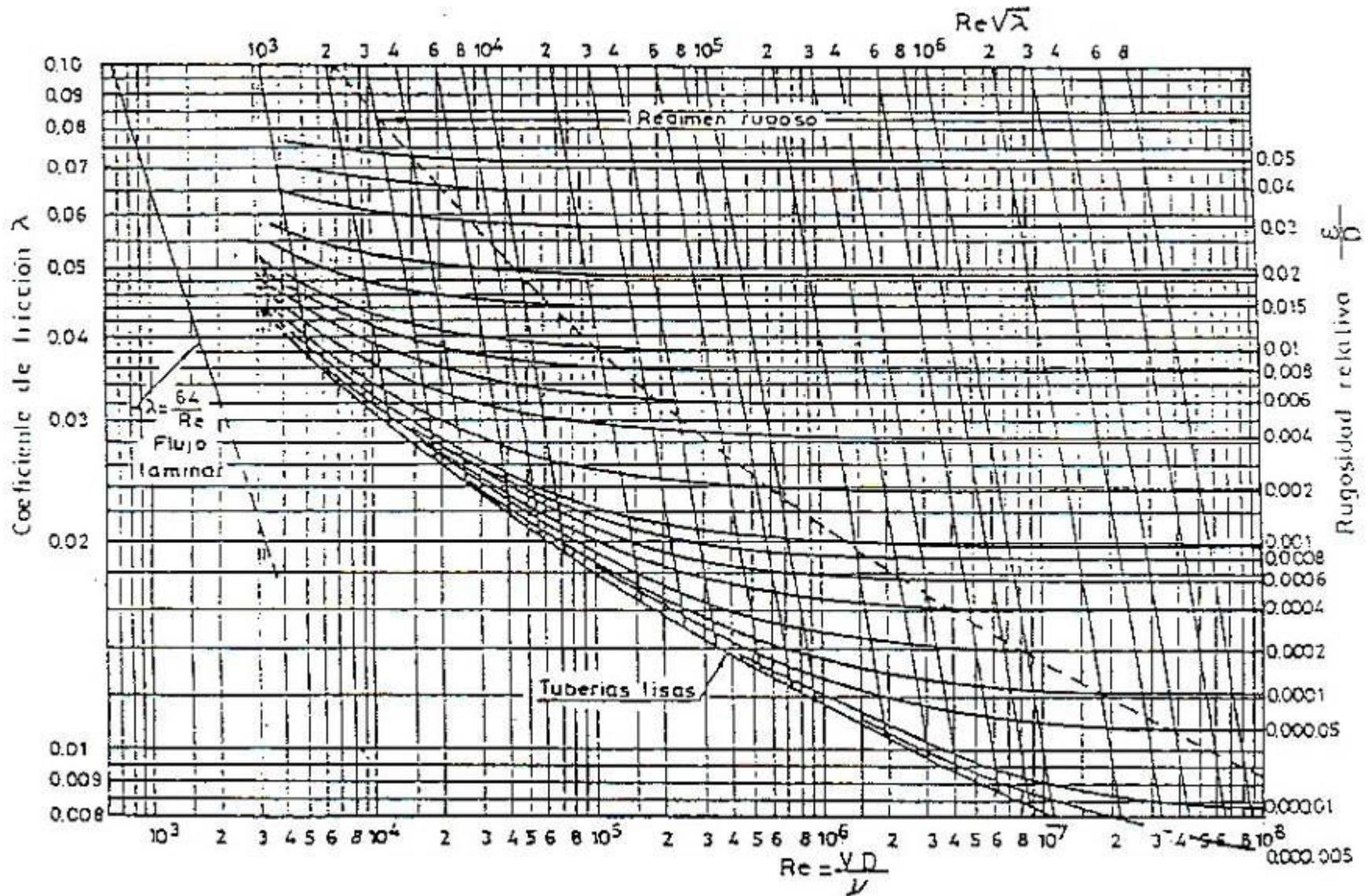


$$\Rightarrow B_1 = B_2 + hf_{12} + hs_{12}$$

$$\Rightarrow z_1 + \frac{p_1}{\gamma} + \frac{V_1^2}{2 \cdot g} = z_2 + \frac{p_2}{\gamma} + \frac{V_2^2}{2 \cdot g} + hf_{12} + hs_{12}$$

$$h_f = J \cdot L \quad J = \frac{f \cdot V^2}{D \cdot 2 \cdot g} \quad h_s = K \cdot \frac{V^2}{2 \cdot g}$$

Ábaco de Moody



PÉRDIDAS FRICCIONALES

Se considerará en el cálculo la aplicación de la fórmula de Bernoulli

$$h_f = B_{(1)} - B_{(2)} = J \cdot L$$

El coeficiente de fricción λ , se puede calcular :

Fórmula de Colebrook & White:

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -2 \cdot \log_{10} \left(\frac{0.27 \cdot \varepsilon}{D} + \frac{2.51}{\text{Re} \cdot \sqrt{f}} \right)$$

Fórmula de Hazen –Williams

$$J = \frac{10.668 \cdot Q^{1.85}}{C^{1.85} \cdot D^{4.87}}$$

Coeficientes de rugosidad en Tuberías

Material	ϵ (mm)
Tubos de acero soldado de calidad normal	0.01-0.015
Acero comercial nuevo	0.05
Acero pulido por flujo de pulpas	0.1
Tubos de acero lisos	0.04-0.1
Asbesto cemento	0.01-0.03
HDP (Pecc, Sclairpipe, etc.)	0.009
Hormigón bien terminado	0.025
Hormigón	0.15-0.35
Poliuretano	0.0015-0.0025
Vidrio	0.001-0.002

COEFICIENTE DE HAZEN-WILLIAMS

Tipo de Conducto	C
Acero soldado nuevo	130
Acero soldado con uso	90
Acero con revestimiento interior	130
Cobre	130
Asbesto-Cemento	140
Hormigón buena terminación	130
Hormigón terminación común	120
Hierro fundido nuevo	130
Hierro fundido usado (15-20 años)	100
Vidrio	140
Plástico	140
Acero galvanizado	125
Acero corrugado	60

Propiedades del Agua = f (T [°C])

Temp (°C)	Peso Específico γ (N/m ³)	Densidad ρ (Kg/m ³)	Viscosidad μ (Kg/ms $\times 10^{-3}$)	Viscosidad Cinemática ν (m ² /s) $\times 10^{-6}$
0	9805	999.9	1.792	1.792
5	9806	1000.0	1.519	1.519
10	9803	999.7	1.308	1.308
15	9798	999.1	1.140	1.141
20	9789	998.2	1.005	1.007
25	9779	997.1	0.894	0.897
30	9767	995.7	0.801	0.804
35	9752	994.1	0.723	0.727
40	9737	992.2	0.656	0.661
45	9720	990.2	0.599	0.605
50	9697	988.1	0.549	0.556

VALORES TÍPICOS DE COEF. DE PERDIDAS SINGULARES

Descripción	K
Codos	
45° Estándar	0.35
45° Radio Grande	0.20
90° Estándar	0.75
90° Ángulo Recto	1.30
180° U	1.50
Uniones	0.04
Válvulas (totalmente abiertas)	
Compuerta	0.17
Mariposa	0.24
Globo	2.00
Seguridad (Válvula Check)	15.00

Coeficientes de pérdidas singulares

Extraído de Hidráulica de Tuberías, Saldarriaga, Mc Graw Hill, 2011

$$h_m = k_m \frac{v^2}{2g}$$

Donde

- h_m = energía por unidad de peso perdida en el accesorio
- k_m = coeficiente de pérdidas menores del accesorio
- v = velocidad media del flujo en la tubería
- g = aceleración de la gravedad

Por lo general, el valor del coeficiente de pérdidas menores (k_m) es un valor empírico, deducido de pruebas en laboratorio. Sin embargo, algunos de los accesorios típicos de tuberías pueden ser analizados utilizando las ecuaciones de conservación de energía y conservación de *momentum*, con el fin de deducir sus coeficientes.

Las siguientes tablas muestran un resumen de coeficientes de pérdidas menores para accesorios de uso frecuente en sistemas de tuberías, los cuales deben utilizarse en todos los algoritmos de diseño presentados en este capítulo.

Coeficientes para pérdidas en accesorios y codos

Accesorio	k_m
Válvula de globo, completamente abierta	10.0
Válvula en ángulo, completamente abierta	5.0
Válvula de cheque, completamente abierta	2.5
Válvula de compuerta, completamente abierta	0.2
Válvula de compuerta, con 3/4 de apertura	1.00-1.15

Accesorio	k_m
Válvula de compuerta, con 1/2 de apertura	5.6
Válvula de compuerta, con 1/4 de apertura	24.0
Codo de radio corto ($r/d = \pm 1$)	0.9
Codo de radio mediano	0.75-0.80
Codo de gran radio ($r/d = \pm 1.5$)	0.6
Codo de 45°	0.4-0.42
Retorno (curva en U)	2.2
Tee en sentido recto	0.3
Tee a través de la salida lateral	1.8
Unión	0.3
Ye de 45°, en sentido recto	0.3
Ye de 45°, salida lateral	0.8
Entrada recta a tope	0.5
Entrada con boca acampanada	0.1
Entrada con tubo reentrante	0.9
Salida	1.0

Tabla A2.1

Coefficientes de pérdida en codos de 90° con diferentes relaciones entre el radio de curvatura (r) y el diámetro de la tubería

Diámetro nominal en pulgadas											
r/d	1/2	1/4	1	2	3	4	5	6	8-10	12-16	18-24
1	0.54	0.50	0.46	0.38	0.36	0.34	0.32	0.30	0.28	0.26	0.24
3	0.32	0.30	0.276	0.228	0.216	0.204	0.192	0.018	0.168	0.156	0.144
6	0.459	0.425	0.391	0.32	0.31	0.29	0.27	0.26	0.24	0.22	0.2
10	0.81	0.75	0.69	0.57	0.54	0.51	0.48	0.45	0.42	0.39	0.36
14	1.03	0.95	0.87	0.72	0.68	0.65	0.61	0.57	0.53	0.49	0.46
20	1.35	1.25	1.15	0.95	0.90	0.85	0.80	0.75	0.70	0.65	0.60

Tabla A2.2

Valores de k_m para diferentes accesorios

Diámetro nominal en pulgadas												
	1/2	1/4	1	1 ^{1/2}	2	3	4	5	6	8-10	12-16	18-24
Válvula de compuerta abierta	0.22	0.20	0.18	0.16	0.15	0.14	0.14	0.13	0.12	0.11	0.10	0.10
Válvula de globo abierta	9.2	8.5	7.8	7.1	6.5	6.1	5.8	5.4	5.1	4.8	4.4	4.1
Codo estándar	0.80	0.75	0.69	0.63	0.57	0.54	0.51	0.48	0.45	0.42	0.39	0.36
Semicodo estándar	0.43	0.40	0.37	0.34	0.30	0.29	0.27	0.26	0.24	0.22	0.21	0.19
Tee en sentido recto	0.54	0.50	0.46	0.42	0.38	0.36	0.34	0.32	0.30	0.28	0.26	0.24
Tee en sentido lateral	1.62	1.50	1.38	1.26	1.14	1.08	1.02	0.96	0.9	0.84	0.78	0.72

Tabla A2.3

Valores experimentales de coeficientes k_m para contracciones bruscas*

Relación de áreas (A_2/A_1)											
	0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1
C_c	0.617	0.624	0.632	0.643	0.659	0.681	0.712	0.755	0.813	0.892	1.00
$(1/C_c - 1)^2$	0.385	0.363	0.339	0.308	0.268	0.219	0.164	0.105	0.0529	0.0147	0
k_a	0.0438	0.0362	0.0296	0.0231	0.0178	0.0135	0.00913	0.0057	0.00331	0.000796	0
K_m	0.5	0.46	0.41	0.36	0.31	0.25	0.18	0.12	0.058	0.016	0

Tabla A2.4

* La ecuación para el cálculo de las pérdidas en contracciones bruscas es:

$$h_m = \left[\frac{k_a}{C_c^2} + \left(\frac{1}{C_c} - 1 \right)^2 \right] \frac{v_2^2}{2g} \quad (A2.2)$$

donde:

v_2 = velocidad aguas abajo de la contracción

Coefficientes de pérdidas menores para contracciones bruscas*

		Velocidad							
	0.6 m/s	1.2 m/s	1.8 m/s	2.4 m/s	3 m/s	4.5 m/s	6 m/s	9 m/s	12 m/s
d_1/d_2	2 pies/s	4 pies/s	6 pies/s	8 pies/s	10 pies/s	15 pies/s	20 pies/s	30 pies/s	40 pies/s
1.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
1.1	0.03	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.05	0.05	0.06
1.2	0.07	0.07	0.07	0.07	0.08	0.08	0.09	0.10	0.11
1.4	0.17	0.17	0.17	0.17	0.18	0.18	0.18	0.19	0.20
1.6	0.26	0.26	0.26	0.26	0.26	0.25	0.25	0.25	0.24
1.8	0.34	0.34	0.34	0.33	0.33	0.32	0.31	0.29	0.27
2.0	0.38	0.37	0.37	0.36	0.36	0.34	0.33	0.31	0.29
2.2	0.40	0.40	0.39	0.39	0.38	0.37	0.35	0.33	0.30
2.5	0.42	0.42	0.41	0.40	0.40	0.38	0.37	0.34	0.31
3.0	0.44	0.44	0.43	0.42	0.42	0.40	0.39	0.36	0.33
4.0	0.47	0.46	0.45	0.45	0.44	0.42	0.41	0.37	0.34
5.0	0.48	0.47	0.47	0.46	0.45	0.44	0.42	0.38	0.35
10.0	0.49	0.48	0.48	0.47	0.46	0.45	0.43	0.40	0.36
∞	0.49	0.48	0.48	0.47	0.47	0.45	0.44	0.41	0.38

Tabla A2.5

* Para utilizar estos coeficientes, la ecuación para el cálculo de las pérdidas menores en las contracciones es:

$$h_m = k_m \frac{v_2^2}{2g} \quad (A2.3)$$

donde: v_2 = velocidad media aguas abajo de la contracción

Coefficientes de pérdidas menores para expansiones bruscas*

Velocidad							
	0.6 m/s	1.2 m/s	3 m/s	4.5 m/s	6 m/s	9 m/s	12 m/s
d_1/d_2	2 pies/s	4 pies/s	10 pies/s	15 pies/s	20 pies/s	30 pies/s	40 pies/s
1.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
1.2	0.11	0.10	0.09	0.09	0.09	0.09	0.08
1.4	0.26	0.25	0.23	0.22	0.22	0.21	0.20
1.6	0.40	0.38	0.35	0.34	0.33	0.32	0.32
1.8	0.51	0.48	0.45	0.43	0.42	0.41	0.40
2.0	0.60	0.56	0.52	0.51	0.50	0.48	0.47
2.5	0.74	0.70	0.65	0.63	0.62	0.60	0.58
3.0	0.83	0.78	0.73	0.70	0.69	0.67	0.65
4.0	0.92	0.87	0.80	0.78	0.76	0.74	0.72
5.0	0.96	0.91	0.84	0.82	0.80	0.77	0.75
10.0	1.00	0.96	0.89	0.86	0.84	0.82	0.80
∞	1.00	0.98	0.91	0.88	0.86	0.83	0.81

Tabla A2.6

* Para utilizar estos coeficientes, la ecuación para el cálculo de las pérdidas menores en las expansiones es:

$$h_m = k_m \frac{v_2^2}{2g} \quad (A2.4)$$

nde:

v_2 = velocidad media aguas abajo de la expansión

Coefficientes de pérdidas menores para expansiones graduales*

Ángulo del cono de contracción												
d_2/d_1	2°	6°	10°	15°	20°	25°	30°	35°	40°	45°	50°	60°
1.1	0.01	0.01	0.03	0.05	0.10	0.13	0.16	0.18	0.19	0.20	0.21	0.23
1.2	0.02	0.02	0.04	0.09	0.16	0.21	0.25	0.29	0.31	0.33	0.35	0.37
1.4	0.02	0.03	0.06	0.12	0.23	0.30	0.36	0.41	0.44	0.47	0.50	0.53
1.6	0.03	0.04	0.07	0.14	0.26	0.35	0.42	0.47	0.51	0.54	0.57	0.61
1.8	0.03	0.04	0.07	0.15	0.28	0.37	0.44	0.50	0.54	0.58	0.61	0.65
2.0	0.03	0.04	0.07	0.16	0.29	0.38	0.46	0.52	0.56	0.60	0.63	0.68
2.5	0.03	0.04	0.08	0.16	0.30	0.39	0.48	0.54	0.58	0.62	0.65	0.70
3.0	0.03	0.04	0.08	0.16	0.31	0.40	0.48	0.55	0.59	0.63	0.66	0.71
∞	0.03	0.05	0.08	0.16	0.31	0.40	0.49	0.56	0.60	0.64	0.67	0.72

Tabla A2.7

* En este caso se utiliza la misma ecuación para el cálculo de las pérdidas de energía en una expansión brusca.

Ejemplo de aplicación

Para una tubería de HDPE de 18" PE 100 PN6 que transporta un caudal de 486 l/s, se pide calcular la pérdida de carga por unidad de longitud a través de la fórmula de Darcy y Hazen Williams.

Respuesta

$$Q = 486 \text{ l/s} = 0.486 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$D_e = 450 \text{ mm}$$

$$e = 16.3 \text{ mm}$$

$$D_i = 417.4 \text{ mm}$$

$$A = 0.137 \text{ m}^2$$

$$V = 3.58 \text{ m/s}$$

$$K_s = 20 \text{ mm}, l = 0.012 \text{ y } C = 140$$

$$J = \frac{\lambda \cdot V^2}{D \cdot 2 \cdot g} = 0.0192$$

$$J = \frac{10.668 \cdot Q^{1.85}}{C^{1.85} \cdot D^{4.87}} = 0.0215$$

Como puede verse, existe una diferencia del orden del 14%, destacando que el valor de Darcy-Weisbach es más preciso (pero más difícil de calcular), en cambio, el método de Hazen-Williams es más inexacto pero rápido de calcular.

Selección del tipo de conducción

Para la selección del tipo de ducto es altamente determinante la geografía del lugar. En el caso en que la topografía del lugar permita la conducción gravitacional, se debe considerar lo siguiente:

El trazado para el transporte de agua en tubería en presión, normalmente resulta de longitudes bastante menores a las del trazado en canal o túnel acueducto.

Por otra parte, el metro lineal de canal para transportar un cierto caudal es bastante más económico que el metro lineal de tubería para la misma capacidad de transporte.

Como referencia aproximada, se puede decir que para conducciones con caudales mayores a 300 - 500 l/s, cuando la geografía determina trazados en superficie libre mayores al doble de la longitud del trazado para tubería en presión, resulta más conveniente la utilización de tuberías.

La afirmación anterior es solamente como una referencia global, ya que obviamente existen múltiples factores que pueden determinar algo distinto. Estos factores pueden ser: la necesidad de construir túneles en el trazado (tanto para tuberías como para canales), la necesidad de disipar energía, etc.

Con respecto a la decisión de utilizar tubería en presión de acero o de HDPE, ello está totalmente determinado por las presiones existentes, ya que las tuberías de HDPE sólo son técnicamente factibles para presiones de trabajo menores a los 120 mca.



Tipos de Tuberías

Las tuberías de uso más corriente en el transporte de agua son:

Acero comercial

Es la tubería más usada por su versatilidad y facilidad de construcción. El inconveniente de usar estas líneas radica en que su ritmo de desgaste es relativamente alto frente a otras alternativas y adicionalmente presenta problemas de corrosión interno y externo. Resisten altas presiones mayores a 300 mca.

Plásticas (HDPE, PVC, ETC.)

Es una de las alternativas que mayor éxito ha tenido hoy en día, pueden ser de PVC, polipropileno, o polietileno, siendo las últimas las más usadas en sus tipos de alta densidad (HDPE). Estas tuberías son livianas y fáciles de instalar.

La ventaja mayor radica en su resistencia a la corrosión y, en la mayoría de los casos, su resistencia a la abrasión. Sus desventajas son: no pueden operar con presiones altas, sobre 100 - 200 psi, pueden ser inflamables o rotas por equipo pesado, se desgastan fuertemente por el fondo.

Fierro Fundido

Es uno de los materiales de mejor calidad en cuanto a su resistencia a la corrosión. Su duración o vida útil cercana a los 100 años.

Hormigón armado

Las tuberías de hormigón armado se utilizan en sifones de gran diámetro con presiones inferiores a 30 mca. Para diámetros pequeños y medianos no son económicas

Cobre.

Es un material de excelente condiciones en cuanto a resistencia a la corrosión, excepto cuando se trata de corrosión galvanica. Su alto precio limita su uso a pequeños diámetros en instalaciones interiores.

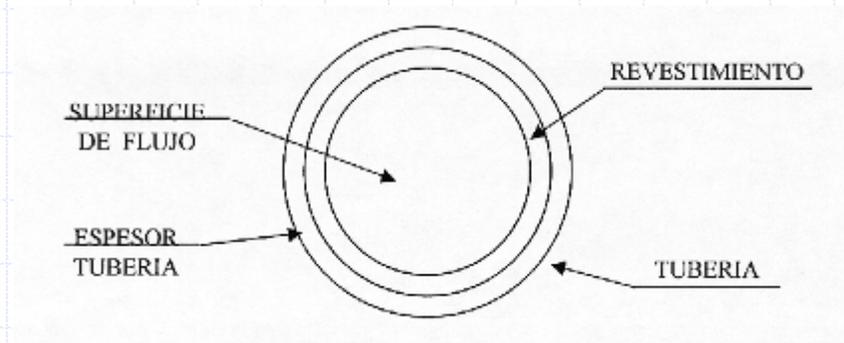
Revestimiento de la Tubería

Las tuberías de acero pueden presentar revestimientos interiores tales como bitumen anticorrosivo (2 a 3 mm), goma antiabrasiva (¼" a ½"), revestimiento de poliuretano (2 a 6 mm), o incrustaciones calcáreas en aguas de pH alto (2 o más mm / año en condiciones extremas), que reducen el diámetro interno.

En este caso, el cálculo del diámetro interno, debe considerar la reducción por efecto del revestimiento

donde:

$$D_i = D_{it} - 2e$$



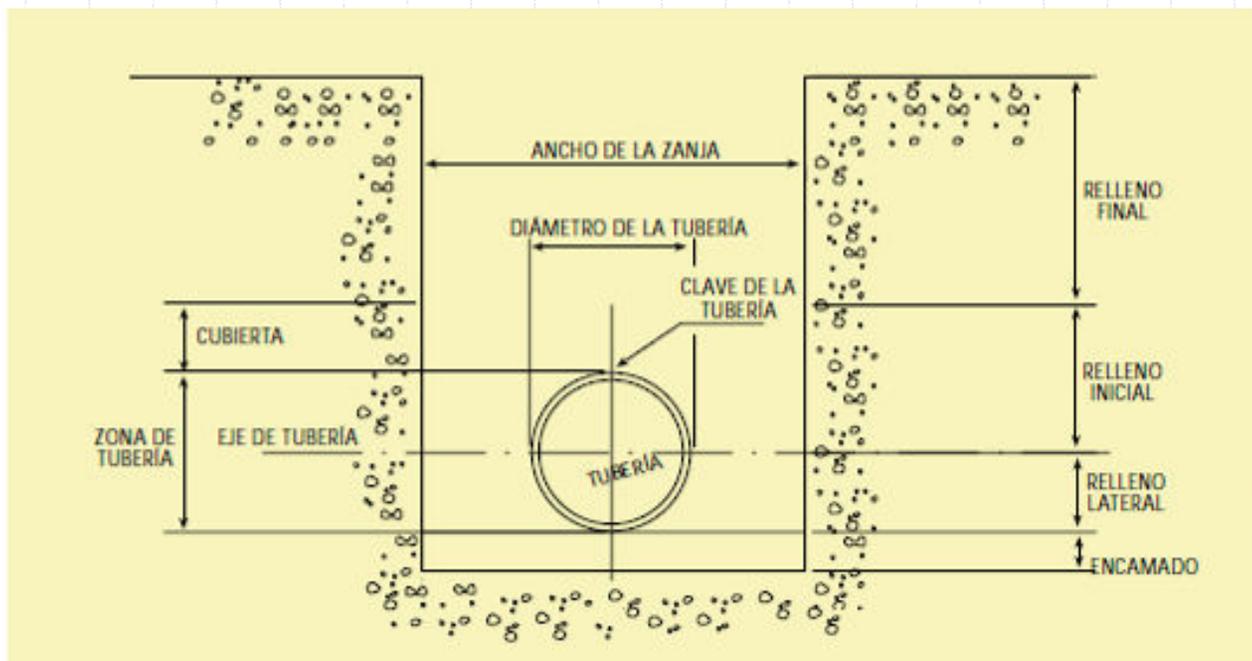
D_{it} = diámetro interno sin revestimiento [mm]

e = espesor del revestimiento [mm]

Colocación de Tuberías

Colocación de Tuberías en Zanja

Las características del encamado y rellenos depende del tipo de tubería y de las cargas a que estará expuesta durante su vida útil.



Fuente: Catalogo tuberías de PVC, Vinilit.

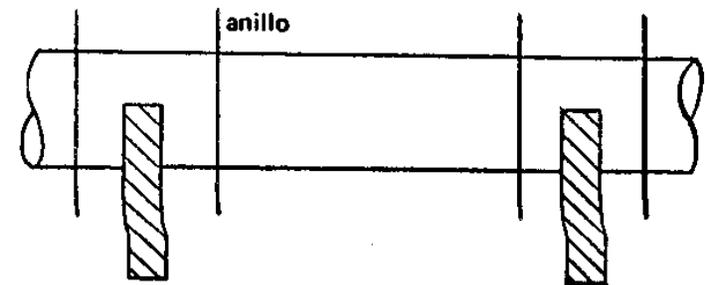
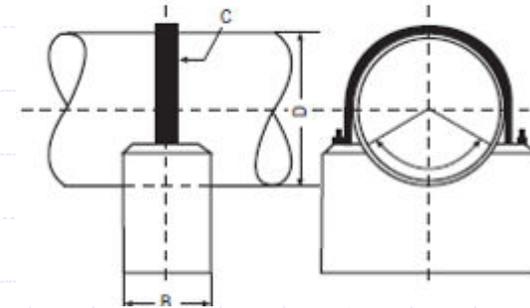
Colocación de Tuberías sobre el terreno

Elementos de anclaje apoyo de la tubería



Los elementos de anclaje (sillas de apoyo y machones) deben dimensionarse (cálculo estructural) tomando en cuenta el tipo de material de la tubería y el tipo de suelo que en que se emplazará.

Sillas de apoyo





Silla de apoyo

Machón de anclaje
(cambio dirección
en planta)

Machón de anclaje



Machones de anclaje en cambios de dirección.

Los esfuerzos en los cambios de dirección deben ser resistidos generalmente por machones de anclaje, cuando se usan juntas flexibles o semirígidas. En las cañerías con uniones soldadas o de bridas, en general no se necesitan machones de anclaje.

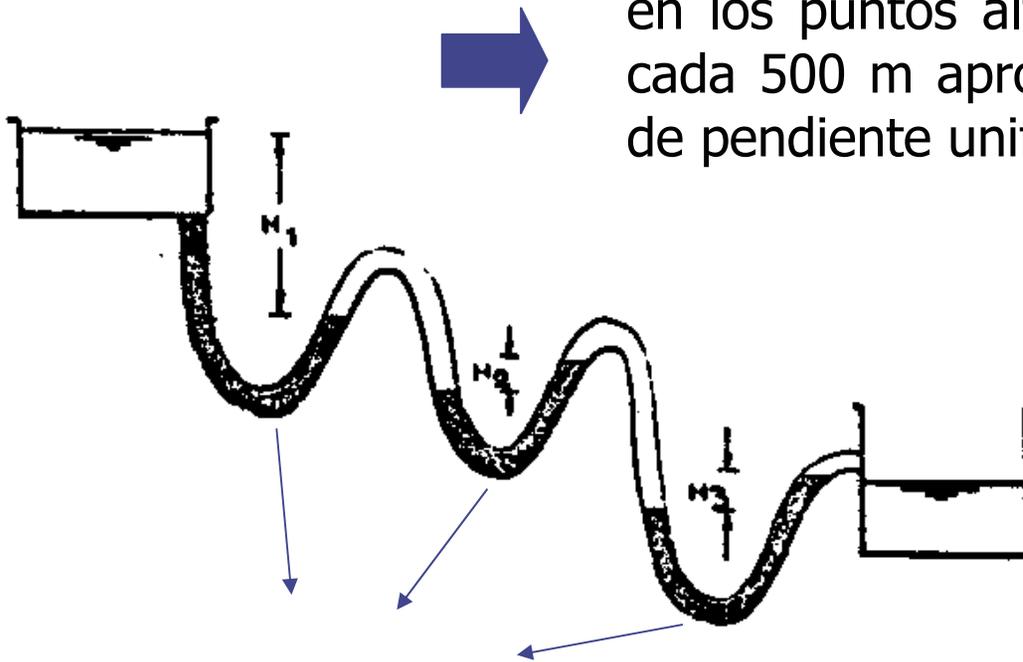
Machones en terrenos de fuerte pendiente.

En las cañerías ubicadas en pendientes fuertes, superiores al 40% es necesario anclar la cañería cuando se usan uniones flexibles o semirígidas porque debido a los efectos térmicos y a su peso tienden a trasladarse hacia abajo. Se aconseja anclar un tubo por medio o cada dos tubos. Cuando la pendiente es muy fuerte puede ser conveniente en ciertos casos anclar las cañerías de uniones soldadas o de bridas.

El aire en las cañerías con escurrimiento de agua.

El aire en las cañerías a presión merece consideración especial, debido a que puede disminuir considerablemente la capacidad y aún llega a interrumpir el escurrimiento como en el caso que se muestra en la figura.

Es conveniente el uso de ventosas en los puntos altos del trazado y cada 500 m aprox. en los tramos de pendiente uniforme y pequeña.



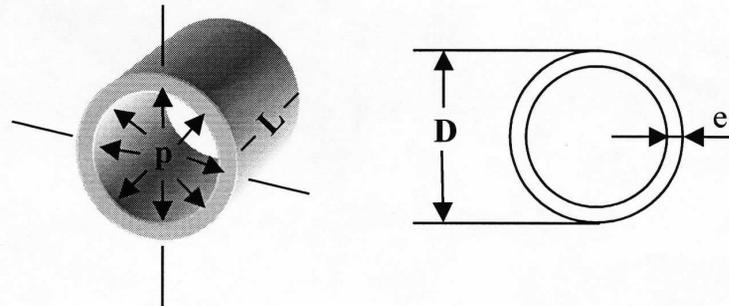
En los puntos bajos se deben disponer válvulas de desagües
($D_{min} > 100 \text{ mm}$, velocidad máxima = 15 m/s)

DISEÑO DE TUBERIAS DE ACERO

CALCULO DE ESFUERZOS EN TUBERIAS

De acuerdo a las figuras adjuntas, el esfuerzo (σ) que actúa sobre una tubería estará dado por:

$$\sigma = \frac{p \cdot D}{2 \cdot e}$$



Donde:

- σ : Esfuerzo que actúa sobre la tubería (kg/cm²)
- p : Presión de trabajo de la tubería (kg/cm²)
- D : Diámetro exterior de la tubería (cm)
- e : Espesor de la tubería (cm)

ESPESOR MINIMO REQUERIDO POR UNA TUBERIA

El espesor mínimo requerido por una tubería (e_{\min}) se calculará según la siguiente expresión:

$$e_{\min} = \frac{p \cdot D}{2 \cdot S} \quad \text{con } S = E \cdot f \cdot \sigma_f$$

Donde:

e_{\min} : Espesor mínimo para soportar la presión máxima de trabajo de la tubería

p : Presión máxima de trabajo de la tubería (kg/cm²).

D : Diámetro exterior de la tubería (cm).

S : Esfuerzo máximo admisible que puede soportar la tubería (kg/cm²).

σ_f : Límite de fluencia (yield) del acero a utilizar (kg/cm²).

Corresponde al máximo esfuerzo que puede soportar la tubería antes de deformarse plásticamente.

f : Factor de diseño que absorbe las tolerancias e imperfecciones estipulada en las especificaciones aprobadas por cada Norma.

E : Factor de soldadura que depende del material de la cañería y del tipo de soldadura.

Valores para el factor de diseño (f)

Operación	Norma	AWWA (agua)
NORMAL		50%
EVENTUAL		75%

Valores para el factor de soldadura (E)

Norma ANSI B3 1.4 : [0,6 - 1,0]
Norma ANSI B31.11 : [0,6 - 1,0]
Norma AWWA M11 : 1,0

Ejemplos de distintos tipos de acero según norma de fabricación

σ_f

Table 4-1 Grades of Steel Used in AWWA C200 as Basis for Working Pressures in Table 4-2

Specifications for Fabricated Pipe	Design Stress 50% of Yield Point <i>psi</i>	Minimum Yield Point <i>psi</i>	Minimum Ultimate Tensile Strength <i>psi</i>
ASTM A36	18 000	36 000	58 000
ASTM A283 GR C	15 000	30 000	55 000
GR D	16 500	33 000	60 000
ASTM A570 GR 30	15 000	30 000	49 000
GR 33	16 500	33 000	52 000
GR 36	18 000	36 000	53 000
GR 40	20 000	40 000	55 000
GR 45	22 500	45 000	60 000
GR 50	25 000	50 000	65 000
ASTM A572 GR 42	21 000	42 000	60 000
GR 50	25 000	50 000	65 000
GR 60	30 000	60 000	75 000

Specifications for Manufactured Pipe	Design Stress 50% of Yield Point <i>psi</i>	Minimum Yield Point <i>psi</i>	Minimum Ultimate Tensile Strength <i>psi</i>
ASTM A53, A135, and A139 GR A	15 000	30 000	48 000
GR B	17 500	35 000	60 000
ASTM A139 GR C	21 000	42 000	60 000
GR D	23 000	46 000	60 000
GR E	26 000	52 000	66 000

Steel Pipe- a Guide for Design and Installation

AWWA Manual M11. 3° edition,

PRESIÓN DE ENSAYO (para aceros ASTM A36)

Diámetro Nominal (pulg.)	Diámetro Externo (mm)	espesor de pared (mm)								
		1.5	2	3	4	5	6	8	10	12
(kgf/cm ²)										
4	114,3	-	66,40	99,60	-	-	-	-	-	-
6	168,3	-	45,10	67,64	90,19	112,74	135,29	-	-	-
8	219,1	-	34,64	51,96	69,28	86,60	103,92	-	-	-
10	273,0	-	27,80	41,70	55,60	69,50	83,40	-	-	-
12	323,9	-	23,43	35,15	46,86	58,58	70,29	-	-	-
14	368,0	-	-	30,93	41,25	51,56	61,87	-	-	-
16	419,0	-	-	27,17	36,22	45,28	54,34	-	-	-
18	470,0	-	-	-	32,29	40,37	48,44	-	-	-
20	521,0	-	-	-	29,13	36,42	43,70	58,27	72,84	-
22	572,0	-	-	-	26,53	33,17	39,80	53,07	66,34	-
24	622,0	-	-	-	24,40	30,50	36,60	48,81	61,01	73,21
26	660,4	-	-	-	-	28,73	34,47	45,97	57,46	68,95
28	711,2	-	-	-	-	26,68	32,01	42,68	53,36	64,03
30	762,0	-	-	-	-	24,90	29,88	39,84	49,80	59,76
32	812,8	-	-	-	-	23,36	28,04	37,38	46,73	56,08
34	863,6	-	-	-	-	21,97	26,36	35,15	43,94	52,73
36	914,4	-	-	-	-	-	24,90	33,20	41,50	49,80
38	965,2	-	-	-	-	-	23,59	31,45	39,31	47,18
40	1016,0	-	-	-	-	-	22,41	29,88	37,35	44,82
42	1066,8	-	-	-	-	-	21,34	28,45	35,57	42,68
44	1117,6	-	-	-	-	-	-	27,16	33,95	40,74
48	1219,2	-	-	-	-	-	-	24,90	31,12	37,35
52	1320,8	-	-	-	-	-	-	22,98	28,73	34,47
56	1422,4	-	-	-	-	-	-	21,34	26,68	32,01
60	1524,0	-	-	-	-	-	-	19,92	24,90	29,88
64	1625,6	-	-	-	-	-	-	18,67	23,34	28,01

PESO LINEAL DE LOS TUBOS

Diámetro Nominal (pulg.)	Diámetro Externo (mm)	espesor de pared (mm)								
		1.5	2	3	4	5	6	8	10	12
		(kg/m)								
4	114,3	-	5,54	8,23	-	-	-	-	-	-
6	168,3	-	8,20	12,23	16,21	20,13	24,01	-	-	-
8	219,1	-	10,71	15,99	21,22	26,40	31,53	-	-	-
10	273,0	-	13,37	19,97	26,53	33,04	39,51	-	-	-
12	323,9	-	15,88	23,74	31,55	39,32	47,04	-	-	-
14	368,0	-	-	27,00	35,90	44,76	53,56	-	-	-
16	419,0	-	-	30,78	40,94	51,05	61,11	-	-	-
18	470,0	-	-	-	45,97	57,33	68,65	-	-	-
20	521,0	-	-	-	51,00	63,62	76,20	101,20	126,01	-
22	572,0	-	-	-	56,03	69,91	83,75	111,27	138,59	-
24	622,0	-	-	-	60,96	76,08	91,14	121,13	150,92	180,51
26	660,4	-	-	-	-	80,81	96,83	128,71	160,39	191,87
28	711,2	-	-	-	-	87,07	104,34	138,73	172,92	206,91
30	762,0	-	-	-	-	93,34	111,86	148,75	185,44	221,94
32	812,8	-	-	-	-	99,50	119,26	158,61	197,77	236,74
34	863,6	-	-	-	-	105,87	126,89	168,79	210,50	252,01
36	914,4	-	-	-	-	-	134,41	178,81	223,03	267,04
38	965,2	-	-	-	-	-	141,92	188,84	235,55	282,07
40	1016,0	-	-	-	-	-	149,44	198,86	248,08	297,10
42	1066,8	-	-	-	-	-	-	208,88	260,61	312,14
44	1117,6	-	-	-	-	-	-	218,90	273,13	327,17
48	1219,2	-	-	-	-	-	-	238,95	298,19	357,23
52	1320,8	-	-	-	-	-	-	258,99	323,24	387,30
56	1422,4	-	-	-	-	-	-	279,03	348,30	417,37
60	1524,0	-	-	-	-	-	-	299,08	373,35	447,43
64	1625,6	-	-	-	-	-	-	319,12	398,41	477,50

Espesor mínimo por transporte Tuberías de acero

$$e_{\min} \text{ (mm)} = \frac{D \text{ (cm)} + 50}{40}$$

e_{\min} : espesor mínimo por transporte (mm)

D: Diámetro en cm

Se debe verificar que el espesor mínimo calculado por presión interna no sea inferior al mínimo requerido por transporte.

Normalmente el proveedor indica las restricciones asociadas al transporte (largo tiras, condiciones de apilamiento, etc.) y colocación de la tubería

ELEMENTOS PARA EL DISEÑO DE TUBERIAS DE HDPE

El espesor mínimo de las tuberías de HDPE se calcula de acuerdo a la siguiente expresión:

Donde:

$$e = \frac{P \times (D - e)}{2 \cdot \sigma}$$

P : Presión de trabajo (kg/cm²)

D : Diámetro exterior de la tubería (cm)

e : Espesor de la tubería (cm)

σ : Tensión admisible del material (kg/cm²)

La tensión admisible de las tuberías de HDPE depende del "PE, tipo de resina" y "PN, presión nominal" de la tubería, por ejemplo:

Una tubería HDPE, D = 450 mm, PE 100, PN 10 tiene una tensión de fluencia igual a 80 kg/cm² (PE) y un espesor e = 26.7 mm (PN), luego resiste una presión de:

$$P = \frac{2 \cdot e \cdot \sigma}{(D - e)} = 10.09 \text{ kg/cm}^2 = 100 \text{ mca}$$

↑
(PN)

EJEMPLO: DIAMETRO Y ESPESORES DE TUBERIAS DE HDPE

: Dimensiones para tuberías PECC 100, Norma ISO 4427 (Tensión admisible 80 Kg/cm²)

DN mm	2) DN (equiv) Pulg	3) Relación estándar de dimensión (SDR)											
		27,6		21		17		13,6		11		9	
		1) Presión Nominal PN											
		6		8		10		12,5		16		20	
		e mínimo mm	Peso promedio kg/m	e mínimo mm	Peso promedio kg/m	e mínimo mm	Peso promedio kg/m	e mínimo mm	Peso promedio kg/m	e mínimo mm	Peso promedio kg/m	e mínimo mm	Peso promedio kg/m
20	1/2	2,3	0,14	2,3	0,14	2,3	0,14	2,3	0,14	2,3	0,14	2,3	0,14
25	3/4	2,3	0,17	2,3	0,17	2,3	0,17	2,3	0,17	2,3	0,17	2,3	0,17
32	1	2,3	0,23	2,3	0,23	2,3	0,23	2,4	0,24	3,0	0,28	3,6	0,33
40	1 1/4	2,3	0,29	2,3	0,29	2,4	0,30	3,0	0,36	3,7	0,44	4,5	0,52
50	1 1/2	2,3	0,37	2,4	0,38	3,0	0,46	3,7	0,56	4,6	0,68	5,6	0,81
63	2	2,3	0,47	3,0	0,59	3,8	0,73	4,7	0,90	5,8	1,08	7,1	1,28
75	2 1/2	2,8	0,67	3,6	0,84	4,5	1,03	5,6	1,26	6,8	1,51	8,4	1,81
90	3	3,3	0,94	4,3	1,20	5,4	1,49	6,7	1,82	8,2	2,18	10,1	2,62
110	4	4,0	1,38	5,3	1,80	6,6	2,21	8,1	2,69	10,0	3,23	12,3	3,89
125	5	4,6	1,80	6,0	2,32	7,4	2,84	9,2	3,45	11,4	4,20	14,0	5,02
140	5 1/2	5,1	2,24	6,7	2,92	8,3	3,55	10,3	4,34	12,7	5,25	15,7	6,31
160	6	5,8	2,91	7,7	3,82	9,5	4,65	11,8	5,67	14,6	6,87	17,9	8,36
180	7	6,6	3,72	8,6	4,79	10,7	5,90	13,3	7,18	16,4	8,84	20,1	10,58
200	8	7,3	4,57	9,6	5,95	11,9	7,26	14,7	8,85	18,2	10,91	22,4	13,08
225	9	8,2	5,80	10,8	7,53	13,4	9,22	16,6	11,44	20,5	13,81	25,2	16,57
250	10	9,1	7,13	11,9	9,20	14,8	11,31	18,4	14,072	22,7	17,02	27,9	20,38
280	11	10,2	8,97	13,4	11,63	16,6	14,48	20,6	17,67	25,4	21,32	31,3	25,62
315	12	11,4	11,28	15,0	14,63	18,7	18,34	23,2	22,38	28,6	27,03	35,2	32,42
355	14	12,9	14,37	16,9	18,91	21,1	23,33	26,1	28,38	32,2	34,29	39,7	41,20
400	16	14,5	18,17	19,1	24,12	23,7	29,52	29,4	35,99	36,3	43,55	44,7	52,27
450	18	16,3	23,44	21,5	30,50	26,7	37,42	33,1	45,63	40,9	55,19	50,3	66,17
500	20	18,1	28,95	23,9	37,68	29,7	46,24	36,8	56,34	45,4	68,08	55,8	81,64
560	22	20,3	36,33	26,7	47,19	33,2	57,90	41,2	70,66	50,8	85,34	•	•
630	24	22,8	45,92	30,0	59,61	37,4	73,35	46,2	89,18	57,2	108,12	•	•
710	28	25,7	58,36	33,9	75,94	42,1	93,12	52,2	113,53	•	•	•	•
800	32	29,0	74,13	38,1	96,25	47,4	118,08	58,8	144,08	•	•	•	•
900	36	32,6	93,087	42,9	121,85	53,3	149,54	•	•	•	•	•	•
1000	40	36,2	115,80	47,7	150,60	59,3	184,70	•	•	•	•	•	•
1200	48	43,4	166,49	57,2	216,66	•	•	•	•	•	•	•	•
1400	54	50,6	226,47	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•
1600	64	57,9	296,11	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•

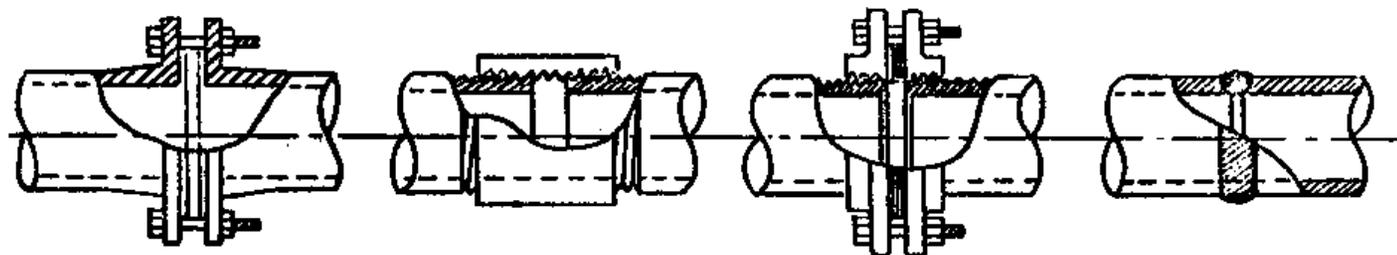
1) La presión nominal PN corresponde a la máxima presión de operación admisible p_{PMS}, en bar, a 20° C.
 2) Valores en pulgadas utilizados como referencia con la norma ASTM / ANSI B 36.10
 3) La relación SDR corresponde al cociente entre el diámetro externo y el espesor de la tubería.
 Nota: La tabla se basa en la norma ISO 4427 "Table 3—Polyethylene pipes with a design stress σ_d of 8 MPa.

UNIONES EN TUBERÍAS (JUNTURAS)

Para unir una tira de tubería con otra o con las piezas especiales se distintas clases de juntas o uniones que pueden dividirse en 4 grupos: rígidos, semi rígidos, flexibles y de tipo especial.

Las uniones rígidas son aquella que no permiten desplazamiento longitudinal ni desalineación de las cañerías, como las uniones de bridas, uniones con hilo y soldadas.

Juntas Rígidas



Unión
Breda: B

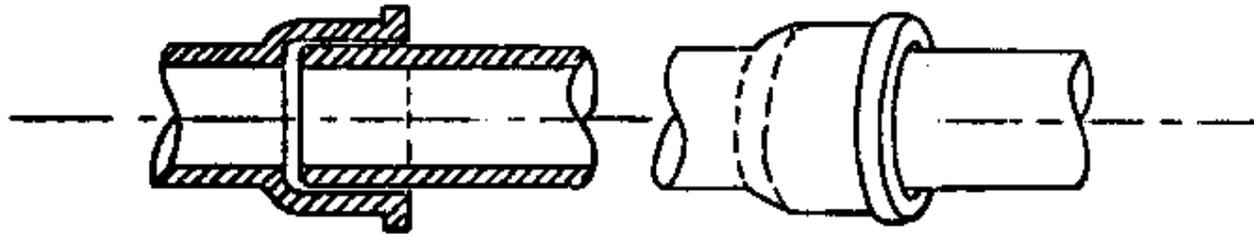
Unión
Hilo: H

Unión Breda
Atornillada

Unión
Soldada: S

Las juntas semi rígidas oponen cierta resistencia a los desplazamientos longitudinales y a las desalineaciones. La unión típica de esta clase es la enchufe cordón.

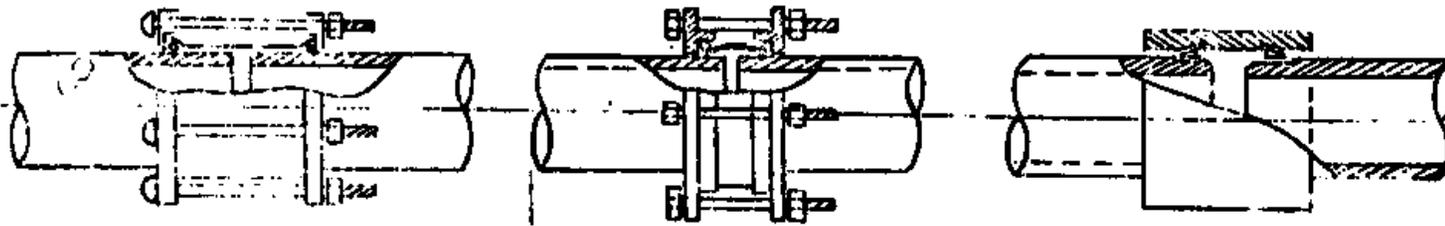
Juntas Semi-rígidas



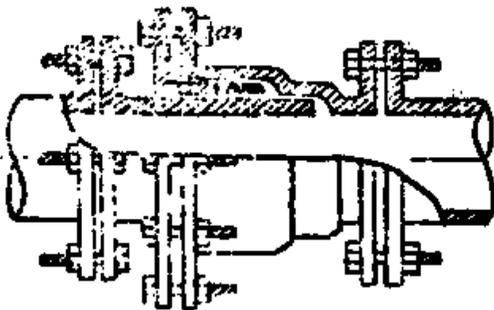
Unión Enchufe Cordón: E C

Las juntas flexibles permiten cierto juego sin perder su hermeticidad. Son formadas por un manguito con anillos de goma de distintas formas y disposiciones. Las más conocidas son Gibauld, Dresser, Simplex, Super simplex y Vitaulic.

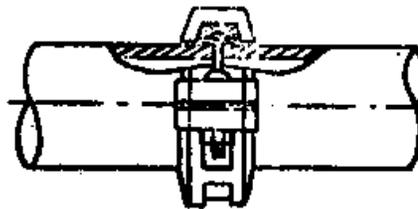
JUNTURAS FLEXIBLES



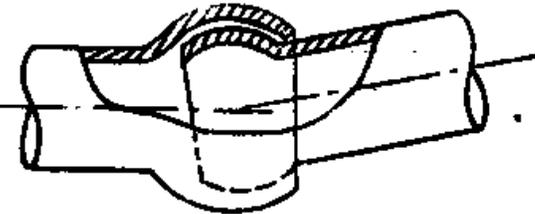
JUNTURAS DE TIPO ESPECIAL



Juntas de Dilatación



Unión Tipo Victaulic



Juntura de Rótula

Accesorios para cañerías.

Para aislar, desaguar, inspeccionar, proteger, etc., se necesitan en los conductos ciertos accesorios que pasamos a tratar brevemente, excepto las ventosas a las que ya nos hemos referido.

válvulas. (Ver Capítulo 2)

Para aislar una cañería de aducción en sectores se usan válvulas. Se trata en lo posible de poner las válvulas de corta cerca de los puntos altos con el objeto de tener menores presiones y porque se facilita el desague de los distintos sectores. Es importante estudiar las consecuencias que puede tener el golpe de ariete motivado por la rápida operación de las válvulas y también considerar la presión estática máxima que se obtiene al cerrar la válvula.

GOLPE DE ARIETE PARTIDAS Y DETENCIONES DEL SISTEMA

Los transientes más habituales que se producen en un sistema de tuberías en presión, ocurren en las partidas y detenciones del sistema.

Los transientes en este caso se manifiestan como fluctuaciones bruscas de presión que se trasladan de un extremo a otro de la tubería. Habitualmente estas fluctuaciones de presión se identifican como "golpe de ariete", en inglés "water hammer"

El análisis preliminar de este fenómeno, puede simplificarse el utilizando la fórmula de Joukowski, la cual es para una operación instantánea de cambio de velocidad.

$$\Delta H = [a \cdot \Delta v/g]_T,$$

$$T < 2 \cdot L/a \text{ (cierre rápido)}$$

Siendo:

- ΔH : magnitud del golpe de ariete en metros columna de fluido
- a : velocidad de transmisión de la onda en el medio fluido tubería.
- Δv : variación de la velocidad en el período T
- g : aceleración de gravedad
- L : longitud de la tubería
- T : tiempo de traslación de ida y vuelta de la onda en la tubería

Para fines prácticos, en **estimaciones preliminares**, se puede aceptar que el golpe de ariete es del orden de 30% - 40 % del ΔH de Joukowski.

En etapas mas avanzadas de ingeniería debe efectuarse el cálculo detallado del golpe de ariete mediante el uso de métodos numéricos (software).

Las fluctuaciones de presión, como se desprende de las expresiones anteriores, son directamente proporcionales a las variaciones de velocidad.

VELOCIDAD DE PROPAGACIÓN (a) CELERIDAD DE LA ONDA (a)

La velocidad de propagación en el fluido (a), utilizada en la fórmula de Joukowsky para el cálculo del golpe de ariete, se puede obtener a partir de la siguiente expresión:

$$a = \frac{1420,4}{\sqrt{1 + \frac{K \cdot D_{\text{int}}}{E \cdot e}}}$$

Donde:

- K : módulo de elasticidad del agua [Kg/cm²]
- D_{int} : diámetro interior de la tubería [mm]
- E : módulo de elasticidad del material de la tubería [Kg/cm²]
- e : espesor de la tubería [mm]

Módulo de elasticidad del agua (K):	2,07 · 10 ⁴ [Kg/cm ²]
Módulo de elasticidad del acero (E):	2,1 · 10 ⁶ [Kg/cm ²]
Módulo de elasticidad del HDPE (E):	8,0 · 10 ³ [Kg/cm ²]

Tanto en las operaciones de partidas como detenciones los cambios de velocidad en un sistema en presión son grandes, el flujo pasa de velocidad cero a régimen normal o viceversa en un tiempo relativamente corto.

Dadas estas características, las operaciones de partidas y detenciones deben ser estudiadas y planificadas para evitar o al menos minimizar la magnitud del golpe de ariete.

=> Se debe prolongar los tiempos en que se pasa de un estado de operación a otro (cierres o aberturas lentos).

En el caso de tramos que fluyen gravitacionalmente, el proceso de partidas o paradas, está regulado habitualmente por válvulas. Mientras más lentas sean las operaciones de apertura y cierre de las válvulas, más graduales serán los cambios de la velocidad y por lo tanto menores serán las fluctuaciones de presión.

Ejemplo de aplicación

Una tubería de HDPE PE 100 PN 10 de 16" que conduce un caudal de 300 l/s, tiene una válvula de cierre rápido con una descarga. Si la presión normal de trabajo de la línea es de 30 psi, y la válvula cierra rápido, ¿colapsa la tubería?

Respuesta

$$\begin{aligned} Q &= 300 \text{ l/s} = 0.3 \text{ m}^3/\text{s} \\ D_e &= 400 \text{ mm}, \quad e = 36.3 \text{ mm}, \quad D_i = 327.4 \text{ mm} \\ A &= 0.084 \text{ m}^2 \\ V &= 2.97 \text{ m/s} \end{aligned}$$

$$\Delta P = \frac{300 \cdot 2.97}{9.8} = 90.9 \text{ mca}$$

Presión de trabajo = 30 psi = 21.1 mca

Presión Total = Sobrepresión + P. Op = 112 mca > 100 mca (10 kgf/cm²: PN10)

=> Posible Colapso de la tubería.

Diseño Hidráulico

Tubería en presión

Para fines del diseño de un tubería en presión, se deben calcular los siguientes perfiles hidráulicos:

- **Perfil normal de operación de la línea:** $Z_{\text{tub}} + p/\gamma + v^2/2g$

(Cálculo del nivel piezométrico)

- **Perfil eventual de operación de la línea:** $(Z_{\text{tub}} + p/g + v^2/2g)_{\text{normal}}$
+ Golpe de ariete (preliminar: 30-40% DH Joukowski)

(Bernoulli + sobrepresión)

- **Perfil máximo admisible:** $Z_{\text{tubería}}$ + Presión de trabajo (depende del tipo de material + espesor)

Se debe tener presente que el espesor de la tubería puede cambiar por tramos y por tanto la presión de trabajo también)

Si en algún tramo el perfil normal o el eventual superan el perfil máximo admisible debe aumentarse el espesor de la tubería.

EJEMPLO 1: ADUCCIÓN CON VÁLVULA DE CONTROL AGUAS ABAJO

