



Recomendaciones técnicas para minimizar efectos sísmicos y del fuego en instalaciones de agua potable y gas

Noviembre 2016



Procobre Chile
Copper Alliance

IMPORTANTE:

Es responsabilidad del proyectista verificar que la solución de protección utilizada en sus proyectos, derivada directa o indirectamente de las recomendaciones presentadas en este material informativo, cumpla con las exigencias de la normativa nacional vigente. La reglamentación mencionada en este documento es la vigente a julio de 2016.

Este manual fue realizado por el Centro Chileno de Promoción del Cobre, Procobre Chile.
www.procobre.org

Profesionales a cargo:

Rodrigo Retamales Saavedra

PhD. Ingeniero Civil Universidad de Chile

Manuel Brunet Bofill

Ingeniero Civil Universidad de Chile

Felipe Toledo Jaureguiberry

Ingeniero Civil Universidad de Los Andes

ÍNDICE DE CONTENIDO

1. INTRODUCCIÓN	4
2. TUBERÍAS DE COBRE	6
2.1 Generalidades sobre las tuberías de cobre	7
2.2 Ventajas de las tuberías de cobre	7
2.3 Tuberías de cobre	7
2.4 Consideraciones de diseño	10
3. NORMATIVA Y REGLAMENTACIÓN VIGENTE	17
3.1 Instalaciones de sistemas de agua potable	18
3.2 Instalaciones de gas	18
4. SOLUCIONES SÍSMICAS	22
4.1 Diseño sísmico de sistemas de tuberías	23
4.2 Soluciones de colganteo, arriostre y anclaje de sistemas de tuberías	26
4.3 Sistemas para cruces de juntas en edificios aislados	34
5. PROTECCIÓN CONTRA INCENDIO DE PASADAS DE TUBERÍAS POR ELEMENTOS ESTRUCTURALES Y NO ESTRUCTURALES	37
5.1 Sellos elastoméricos resistentes al fuego	38
5.2 Fundas resistentes al fuego para tuberías	39
5.3 Comentario sobre la exigencia de trazados de tuberías de gas en espacios comunes	39

1

Introducción



El cobre es 100% reciclable y puede reutilizarse sin perder sus propiedades. Ahorra energía y reduce las emisiones de CO₂, siendo un pilar en el cuidado del medioambiente.

El presente Manual preparado por el Centro Chileno de Promoción del Cobre (Procobre Chile) tiene por objetivo entregar herramientas a los proyectistas de instalaciones de agua potable y gas de edificaciones para dar solución a detallamiento sísmico, soluciones en estructuras con aislación sísmica y soluciones para cruces de juntas de dilatación. También se entregan recomendaciones acerca de la protección al fuego requerida por las cañerías de cobre.

En el capítulo 2, se presentan algunas características de las cañerías de cobre. En el capítulo 3, se puede encontrar la normativa y reglamentación para instalaciones de agua potable domiciliarias, gas y sistemas de climatización. En el capítulo 4, se presentan las soluciones sísmicas para sistemas proyectados en tuberías de cobre. Por último, en el capítulo 5 se detallan soluciones para la protección al fuego de sistemas construidos con tuberías de cobre.

2

Tuberías de Cobre



El cobre es un excelente conductor de calor, altamente eficiente para mantener la temperatura y condiciones de transporte de agua y gas.

Además, las tuberías de cobre no requieren de gran espesor, una importante ventaja en el uso al interior de elementos de hormigón.

2.1 GENERALIDADES SOBRE LAS TUBERÍAS DE COBRE

En la reglamentación vigente para instalaciones de agua potable en edificaciones está permitido el uso de las tuberías de cobre junto a muchas otras materialidades. En el caso de instalaciones de gas, la reglamentación vigente obliga al uso de tuberías de cobre.

En el caso del agua potable la reglamentación establece el uso de soldadura blanda, mientras que, en el caso del gas, la reglamentación establece el uso de soldadura fuerte.

2.2 VENTAJAS DE LAS TUBERÍAS DE COBRE

Las principales razones que hacen atractivo el uso de tuberías de cobre son:

Versatilidad

El cobre presenta alta versatilidad para realizar instalaciones de conducción de líquidos y gases, especialmente en edificaciones.

Paredes delgadas

Las tuberías de cobre no requieren de gran espesor de pared en relación a su diámetro interno. Esto tiene una importante ventaja en el uso de tuberías al interior de elementos de hormigón, ya que desplaza un menor volumen de hormigón.

Maleable (Formable)

Debido a la facilidad de trabajo que ofrecen las tuberías de cobre, esta es capaz de doblarse en curvas suaves que permiten adaptarse a los trazados en interiores con facilidad.

Fácil de unir

Las tuberías se pueden unir con fittings de soldadura capilar o fittings con roscas.

Seguro

El cobre, a diferencia de otros materiales, no es inflamable ni tampoco se descompone en gases nocivos para la salud. Por lo tanto, no

facilita la propagación de incendios a través de muros o cielos. Tampoco se requiere el uso de compuestos volátiles durante su instalación.

Confiable

Las tuberías son fabricadas con una composición estándar y son marcadas con una identificación permanente de tal forma que siempre es posible saber quién las fabricó y la certificación que tienen.

Duradero

Las tuberías de cobre tienen una excelente resistencia a la corrosión y calcificación, alta resistencia mecánica, térmica y a la degradación UV. El uso de tuberías de cobre ofrece la seguridad de sistemas virtualmente libres de mantención.

Reciclable

El cobre es de los pocos materiales usados en la construcción que es 100% reciclable y puede ser reutilizado sin sufrir ninguna degradación en su contenido o propiedades. Lo anterior, combinado con la durabilidad del cobre, hace de este un material amigable con el medio ambiente ya que no genera desechos.

2.3 TUBERÍAS DE COBRE

2.3.1 Tipos de tuberías de cobre

La Tabla 2.1 identifica los seis tipos de tuberías y sus aplicaciones más comunes. La tabla también indica la norma ASTM correspondiente a cada una de las aplicaciones, incluyendo una lista de diámetros nominales disponibles.

Las tuberías se denominan por tipos dependiendo de su uso. Los tipos de tuberías son K, L, M, DWV y tuberías de gas hospitalarias. Todas estas variedades de tubería están definidas por diámetros nominales estándar ASTM, donde el diámetro exterior de la tubería es siempre 1/8" mayor que el diámetro nominal. Cada tipo de tubería representa a una serie de diámetros y espesores de pared de la tubería distintos. Las paredes de las tuberías tipo K son de mayor espesor que las del tipo L, mientras que las tuberías del tipo L poseen mayor espesor de pared que las tuberías tipo M, sin importar el diámetro. Los diámetros interiores dependen del tamaño de la tubería y del espesor de pared.

Las tuberías tipo ACR para aplicaciones de aire acondicionado y refrigeración, y las tuberías de gas natural se designan por su diámetro exterior efectivo.

Tabla 2.1
Tipos, estándares y usos de tuberías de cobre

Tipo	Color	Standard	Uso	Diámetros Nominales
Tipo K	Verde	ASTM B88	Servicio y distribución de agua doméstica - Protección contra incendios - Gas natural - Gas licuado (LP) - Solar - Combustible/Aceite - HVAC - Derretimiento de nieve - Aire comprimido - Vacío.	1/4" a 8", 10" y 12"
Tipo L	Azul	ASTM B88	Servicio y distribución de agua doméstica - Protección contra incendios - Gas natural - Gas licuado (LP) - Solar - Combustible/Aceite - HVAC - Derretimiento de nieve - Aire comprimido - Vacío.	1/4" a 8", 10" y 12"
Tipo M	Rojo	ASTM B88	Servicio y distribución de agua doméstica - Protección contra incendios - Solar - Combustible/Aceite HVAC - Derretimiento de nieve - Vacío.	1/4" a 12"
DWV	Amarillo	ASTM B306	Drenaje, desechos, ventilación - HVAC - Solar.	1-1/4" a 8"
ACR	Azul	ASTM B280	Aire acondicionado - Refrigeración - Gas natural - Gas licuado - Aire comprimido.	1/8" a 4-1/8"
OXV, MED OXY/ MED OXY/ACR ACR/MLD	K Verde - L Azul	ASTM B819	Gases medicinales - Aire comprimido medicinal.	1/4" a 8"

2.3.2 Propiedades de los tubos

Tanto las dimensiones como otras propiedades físicas características de las tuberías tipo K, L, M y DWV se encuentran en las Tablas 2.2 y 2.3. Todos los tipos mencionados anteriormente pueden ser usados para aplicaciones con y sin presión, dentro de los rangos de presiones de operación que se muestran en las Tablas 2.4 y 2.5.

Tabla 2.2
Dimensiones y otras propiedades de las tuberías rígidas de cobre

Medida nominal	Diám. exterior	Diámetro interno			Espesor de pared			Peso por tramo de 6.10 m			Presión máxima		
		M	L	K	M	L	K	M	L	K	M	L	K
1/4" 6.35 mm	0.375" 9.525 mm	0.324" 8.255 mm	0.314" 8.001 mm	0.276" 7.035 mm	0.025" 0.635 mm	0.030" 0.762 mm	0.049" 1.245 mm	2.132 lb 0.968 kg	2.524 lb 1.146 kg	5.385 lb 2.445 kg	6,133 lb/pulg ² 431.15 kg/cm ²	7,200 lb/pulg ² 506.16 kg/cm ²	8,820 lb/pulg ² 620.04 kg/cm ²
3/8" 9.50 mm	0.500" 12.700 mm	0.449" 11.43 mm	0.429" 10.922 mm	0.401" 10.21 mm	0.025" 0.635 mm	0.035" 0.889 mm	0.049" 1.245 mm	2.903 lb 1.318 kg	3.965 lb 1.800 kg	6.890 lb 3.128 kg	4,500 lb/pulg ² 316.35 kg/cm ²	6,300 lb/pulg ² 442.89 kg/cm ²	7,056 lb/pulg ² 496.03 kg/cm ²
1/2" 12.7 mm	0.625" 15.875 mm	0.572" 14.453 mm	0.544" 13.843 mm	0.494" 12.573 mm	0.028" 0.711 mm	0.040" 1.016 mm	0.065" 1.651 mm	4.083 lb 1.854 kg	5.705 lb 2.590 kg	12.813 lb 5.817 kg	4,032 lb/pulg ² 283.45 kg/cm ²	5,760 lb/pulg ² 404.92 kg/cm ²	6,685 lb/pulg ² 469.95 kg/cm ²
3/4" 19 mm	0.875" 22.225 mm	0.811" 20.601 mm	0.784" 19.939 mm	0.744" 18.923 mm	0.032" 0.812 mm	0.045" 1.143 mm	0.065" 1.651 mm	6.566 lb 2.981 kg	9.1101b 4.136 kg	16.799 lb 7.627 kg	3,291 lb/pulg ² 231.35 kg/cm ²	4,632 lb/pulg ² 325.62 kg/cm ²	5,200 lb/pulg ² 209.00 kg/cm ²
1" 25 mm	1.125" 28.575 mm	1.054" 26.797 mm	1.024" 26.035 mm	0.994" 25.273 mm	0.035" 0.889 mm	0.050" 1.270 mm	0.065" 1.651 mm	9.3101b 4.227 kg	13.1141b 5.954 kg	20.824 lb 9.454 kg	2,800 lb/pulg ² 196.84 kg/cm ²	4,000 lb/pulg ² 281.20 kg/cm ²	4,260 lb/pulg ² 299.47 kg/cm ²
1 1/4" 32 mm	1.375" 34.925 mm	1.290" 32.791 mm	1.264" 32.131 mm	1.230" 31.267 mm	0.042" 1.067 mm	0.055" 1.397 mm	0.072" 1.829 mm	13.656 lb 6.200 kg	17.7001b 8.036 kg	27.231 lb 12.363 kg	2,749 lb/pulg ² 193.25 kg/cm ²	3,600 lb/pulg ² 253.08 kg/cm ²	3,988 lb/pulg ² 280.35 kg/cm ²
1 1/2" 38 mm	1.625" 41.275 mm	1.526" 38.785 mm	1.504" 38.227 mm	1.459" 37.059 mm	0.049" 1.245 mm	0.060" 1.524 mm	0.083" 2.108 mm	18.821 lb 8.545 kg	22.826 lb 10.363 kg	41.249 lb 18.727 kg	2,713 lb/pulg ² 190.72 kg/cm ²	3,323 lb/pulg ² 233.60 kg/cm ²	3,515 lb/pulg ² 247.10 kg/cm ²
2" 51 mm	2.125" 53.975 mm	2.016" 51.029 mm	1.984" 50.419 mm		0.058" 1.473 mm	0.070" 1.778 mm		29.233 lb 13.272 kg	35.042 lb 15.909 kg		2,470 lb/pulg ² 173.65 kg/cm ²	2,965 lb/pulg ² 208.43 kg/cm ²	
2 1/2" 64 mm	2.625" 66.675 mm	2.494" 63.373 mm	2.464" 62.611 mm		0.065" 1.651 mm	0.080" 2.032 mm		40.647 lb 18.454 kg	49.658 lb 22.545 kg		2,228 lb/pulg ² 156.62 kg/cm ²	2,742 lb/pulg ² 192.76 kg/cm ²	
3" 76 mm	3.125" 79.375 mm	2.976" 75.597 mm	2.944" 74.803 mm		0.072" 1.889 mm	0.090" 2.286 mm		53.663 lb 24.363 kg	66.645 lb 30.257 kg		2,073 lb/pulg ² 145.73 kg/cm ²	2,592 lb/pulg ² 182.21 kg/cm ²	
4" 102 mm	4.125" 104.775 mm	3.934" 99.949 mm	3.904" 99.187 mm		0.095" 2.413 mm	0.110" 2.794 mm		93.310 lb 42.363 kg	107.129 lb 48.909 kg		2,072 lb/pulg ² 145.65 kg/cm ²	2,400 lb/pulg ² 168.72 kg/cm ²	

Tabla 2.3
Dimensiones y otras propiedades de tuberías tipo DWV

Diámetro Nominal (pulgadas)	Diámetro Exterior (pulgadas)	Diámetro Interior (pulgadas)	Espesor de Pared (pulgadas)	Valores Calculados (basados en las dimensiones nominales)		
				Área de Sección Transversal (pulgadas ²)	Peso de la tubería de cobre por pie lineal (lb/pie)	Peso de la tubería + agua, por pie lineal (lb/pie)
1 1/4	1.375	1.295	.040	1.32	.650	1.22
1 1/2	1.625	1.541	.042	1.87	.809	1.62
2	2.125	2.041	.042	3.27	1.07	2.48
3	3.125	3.030	.045	7.21	1.69	4.81
4	4.125	4.009	.058	11.6	2.87	7.88
5	5.125	4.981	.072	19.5	4.43	12.9
6	6.125	5.959	.083	27.9	6.10	18.2
8	8.125	7.907	.109	49.1	10.6	31.8

2.3.3 Identificación de tuberías

Las tuberías de cobre tipo K, L, M, DWV, ACR y de gas medicinal, cuentan con una marca permanente (grabadas) de acuerdo a la norma ASTM correspondiente, indicando el tipo, nombre del fabricante y país de origen. En conjunto con estas marcas, las tuberías de temple rígido poseen esta información grabada sobre un color que indica el tipo de tubería (según Tabla 2.1).

Tabla 2.4
Presiones de trabajo interna en kPa (psi) de tubos tipo ACR***

Diámetro Nominal en pulgadas	Temple Flexible Serpentina							Temple Rígido**						
	S= 41368,54 kPa (6000 psi) 37,8 C (100 F)	S= 35163 kPa (5100 psi) 65,6 C (150 F)	S= 33784,3 kPa (4900 psi) 93,3 C (200 F)	S= 33095 kPa (4800 psi) 121,1 C (250 F)	S= 32405,4 kPa (4700 psi) 149 C (300 F)	S= 27579 kPa (4000 psi) 176,7 C (350 F)	S= 20684,3 kPa (3000 psi) 204,5 C (400 F)	S= 71016 kPa (10.300 psi) 37,8 C (100 F)	S= 71016 kPa (10.300 psi) 65,6 C (150 F)	S= 71016 kPa (10.300 psi) 93,3 C (200 F)	S= 71016 kPa (10.300 psi) 121,1 C (250 F)	S= 68947,6 kPa (10.000 psi) 149 C (300 F)	S= 66879,2 kPa (9.700 psi) 176,7 C (350 F)	S= 64810,72 kPa (9.400 psi) 204,5 C (400 F)
1/8	21194.5(3074)	18016 (2613)	17305.8 (2510)	16954.2 (2459)	16603 (2408)	14127.4 (2049)	10597.2 (1537)	*	*	*	*	*	*	*
3/16	13341.4 (1935)	11341.9 (1645)	10900.6 (1581)	10673 (1548)	10452.5 (1516)	8894.2 (1290)	6674.1(968)	*	*	*	*	*	*	*
1/4	9694 (1406)	8239.2 (1195)	7915.2 (1148)	7756.6 (1125)	7598 (1102)	6467.3 (938)	4847 (703)	*	*	*	*	*	*	*
5/16	8253 (1197)	7012 (1017)	6736.2 (977)	6598.3 (957)	6460.4 (937)	5502 (798)	4123 (598)	*	*	*	*	*	*	*
3/8	6439.7 (934)	5764 (836)	5536.5 (803)	5426.2 (787)	5309 (770)	4523 (656)	3392.2 (492)	*	*	*	*	*	*	*
1/2	5012.5 (727)	4261 (618)	4095.5 (594)	4005.9 (581)	3923 (569)	3344 (485)	2502.8 (363)	*	*	*	*	*	*	*
5/8	4261 (618)	3619.7 (525)	3475 (504)	3406 (494)	3337 (484)	2840.6 (412)	2130.5 (309)	*	*	*	*	*	*	*
3/4	3523.2(511)	2999.2 (435)	2875.1 (417)	2820 (409)	2758 (400)	2351 (341)	1765 (256)	*	*	*	*	*	*	*
7/8	4350.6 (631)	3702.5 (537)	3557.7 (516)	3481.9 (505)	3413 (495)	2902.7 (421)	2178.7 (316)	*	*	*	*	*	*	*
1	4012.7 (582)	3412.9 (495)	3275 (475)	3213 (466)	3144 (456)	2675.2(388)	2006.4 (291)	*	*	*	*	*	*	*
1 1/8	3406 (494)	2895.8 (420)	2785.5 (404)	2723.4 (395)	2668.3 (387)	2275.3 (330)	1703 (247)	*	*	*	*	*	*	*
1 3/8	3026.8 (439)	2571.7 (373)	2468.3 (358)	2420 (351)	2372(344)	2020.2 (293)	1510 (219)	*	*	*	*	*	*	*
1 5/8	2813 (408)	2392.5 (347)	2302.8 (334)	2254.6 (327)	2206.3 (320)	1875.4 (272)	1406.5 (204)	*	*	*	*	*	*	*
Tuberías Rectas														
3/8	6301.8 (914)	5357.2 (777)	5150.4 (747)	5040 (731)	4936.6 (716)	4198.9 (609)	3150.9 (457)	10817.9 (1569)	10817.9 (1569)	10817.9 (1569)	10817.9 (1569)	10507.6 (1524)	10190.5 (1478)	9873.3 (1432)
1/2	5384.8 (781)	4578.1 (664)	4398.9 (638)	4309.2 (625)	4219.6 (612)	3592.2 (521)	2695.9 (391)	9245.9 (1341)	9245.9 (1341)	9245.9 (1341)	9245.9 (1341)	8977 (1302)	8708.1 (1263)	8439.2 (1224)
5/8	4984.9 (723)	4240.3 (615)	4074.8 (591)	3992.1 (579)	3909.3 (567)	3323.3 (482)	2495.9 (362)	8563.3 (1242)	8563.3 (1242)	8563.3 (1242)	8563.3 (1242)	8315.1 (1206)	8060 (1169)	7811.8 (1133)
3/4	4364.4 (633)	3709.4 (538)	3564.6 (517)	3488.7 (506)	3419.8 (496)	2909.6 (422)	2178.7 (316)	7487.7 (1086)	7487.7 (1086)	7487.7 (1086)	7487.7 (1086)	72734 (1055)	7053.3 (1023)	6832.7 (991)
7/8	4019.6 (583)	3419.8 (496)	3288.8 (477)	3219.9 (467)	3150.9 (457)	2682 (389)	2013.3 (292)	6908.5 (1002)	6908.5 (1002)	6908.5 (1002)	6908.5 (1002)	6701.7 (972)	6501.8 (943)	6301.8 (914)
1 1/8	3413 (495)	2902.7 (421)	2785.5 (404)	2730.3 (396)	2675.2 (388)	2275.3 (330)	1709.9 (248)	5860.5 (850)	5860.5 (850)	5860.5 (850)	5860.5 (850)	5688.2 (825)	5522.7 (801)	5350.3 (776)
1 3/8	3033.7 (440)	2578.6 (374)	2475.2 (359)	2427 (352)	2371.8 (344)	2020.2 (293)	1516.8 (220)	5205.5 (755)	5205.5 (755)	5205.5 (755)	5205.5 (755)	5053.9 (733)	4902.2 (711)	4750.5 (689)
1 5/8	2820 (409)	2399.4 (348)	2302.8 (334)	2254.6 (327)	2206.3 (320)	1882.3 (273)	1413.4 (205)	4840.1 (702)	4840.1 (702)	4840.1 (702)	4840.1 (702)	4702.2 (682)	4557.4 (661)	4419.5 (641)
2 1/8	2509.7 (364)	2130.5 (309)	2047.7 (297)	2006.4 (291)	1965 (285)	1675.4 (243)	1254.8 (182)	4309.2 (625)	4309.2 (625)	4309.2 (625)	4309.2 (625)	4185.1 (607)	4061 (589)	3930 (570)
2 5/8	2316.6 (336)	1972 (286)	1896 (275)	1854.7 (269)	1813.3(263)	1544.4 (224)	1158.3 (168)	3978.3 (577)	3978.3 (577)	3978.3 (577)	3978.3 (577)	3861.1(560)	3750.7 (544)	3633.5 (527)
3 1/8	2185.6 (317)	1861.6 (270)	1785.7 (259)	1751.3 (254)	1716.8 (249)	1461.7 (212)	1096.3 (159)	3757.6 (545)	3757.6 (545)	3757.6 (545)	3757.6 (545)	3647.3 (529)	3537 (513)	3426.7 (497)
3 5/8	2096 (304)	1778.8 (258)	1709.9 (248)	1675.4 (243)	1641 (238)	1399.6(203)	1048 (152)	3599 (522)	3599 (522)	3599 (522)	3599 (522)	3488.7 (508)	3385.3 (491)	3281.9 (476)
4 1/8	2020.2 (293)	1716.8 (249)	1654.7 (240)	1620.3 (235)	1585.8 (230)	1351.4 (196)	1013.5 (147)	3475 (504)	3475 (504)	3475 (504)	3475 (504)	3371.5 (489)	3268.1 (474)	3171.6 (460)

* Comercialmente no disponible

** Cuando se utilicen uniones soldadas y uniones soldadas con metal de relleno en tuberías de temple rígido, se debe usar la presión equivalente para una tubería de temple flexible del mismo diámetro

*** Tabla basada en la presión máxima permitida en kPa (psi) para las temperaturas indicadas C (F). Ver presiones nominales de trabajo y resistencia al reventado.

Tabla 2.5
Presiones de trabajo interna kPa (psi) de tubos tipo DWV

Diámetro Nominal en pulgadas	Temple Flexible***							Temple Rígido**						
	S= 41368.54 kPa (6000 psi) 37.8 C (100 F)	S= 35163 kPa (5100 psi) 65.6 C (150 F)	S= 33784.3 kPa (4900 psi) 93.3 C (200 F)	S= 33095 kPa (4800 psi) 121.1 C (250 F)	S= 32405.4 kPa (4700 psi) 149 C (300 F)	S= 27579 kPa (4000 psi) 176.7 C (350 F)	S= 20684.3 kPa (3000 psi) 204.5 C (400 F)	S= 71016 kPa (10,300 psi) 37.8 C (100 F)	S= 71016 kPa (10,300 psi) 65.6 C (150 F)	S= 71016 kPa (10,300 psi) 93.3 C (200 F)	S= 71016 kPa (10,300 psi) 121.1 C (250 F)	S= 68947.6 kPa (10,000 psi) 149 C (300 F)	S= 66879.2 kPa (9,700 psi) 176.7 C (350 F)	S= 64810.72 kPa (9,400 psi) 204.5 C (400 F)
1 1/4	2275,3 (330)	1930,5 (280)	1854,7 (269)	1820,2 (264)	1778,8 (258)	1516,8 (220)	1137,6 (165)	3902,4 (566)	3902,4 (566)	3902,4 (566)	3902,4 (566)	3785,2 (549)	3675 (533)	3557,7 (516)
1 1/2	2020,2 (293)	1716,8 (249)	1654,8 (240)	1620,3 (235)	1585,8 (230)	1351,4 (196)	1013,5 (147)	3468 (503)	3468 (503)	3468 (503)	3468 (503)	3371,5 (489)	3268 (474)	3164,7 (459)
2	1496,2 (217)	1275,5 (185)	1227,3 (178)	1199,7 (174)	1172,1 (170)	999,7 (145)	751,5 (109)	2571,7 (373)	2571,7 (373)	2571,7 (373)	2571,7 (373)	2496 (362)	2427 (352)	2351 (341)
3	1096,2 (159)	930,8 (135)	896,3 (130)	875,6 (127)	861,8 (125)	730,9 (106)	551,6 (80)	1882,3 (273)	1882,3 (273)	1882,3 (273)	1882,3 (273)	1827 (265)	1772 (257)	1716,8 (249)
4	1034,2 (150)	875,6 (127)	841,2 (122)	825,6 (120)	806,7 (117)	689,5 (100)	517,1 (75)	1772 (257)	1772 (257)	1772 (257)	1772 (257)	1723,7 (250)	1668,5 (242)	1620,3 (235)
5	1041,1 (151)	889,4 (129)	855 (124)	834,3 (121)	820,5 (119)	696,4 (101)	524 (76)	1792,6 (260)	1792,6 (260)	1792,6 (260)	1792,6 (260)	1737,5 (252)	1689 (245)	1634 (237)
6	1020,4 (148)	868,7 (126)	834,3 (121)	820,5 (119)	799,8 (116)	682,6 (99)	510,2 (74)	1758,2 (255)	1758,2 (255)	1758,2 (255)	1758,2 (255)	1703 (247)	1654,7 (240)	1599,6 (232)
8	1006,6 (146)	855 (124)	820,5 (119)	806,7 (117)	786 (114)	668,8 (97)	503,3 (73)	1730,6 (251)	1730,6 (251)	1730,6 (251)	1730,6 (251)	1682 (244)	1627 (236)	1579 (229)

* Tabla basada en la presión máxima permitida kPa (psi) para las temperaturas indicadas C (F). Ver presiones nominales de trabajo y resistencia al reventado.

** Cuando se utilicen uniones soldadas y uniones soldadas con metal de relleno en tuberías de temple rígido, se debe usar la presión equivalente para una tubería de temple flexible del mismo diámetro.

*** Los tipos M y DWV típicamente no están disponibles en temple flexible. Estos valores son de referencia para cuando la tubería de temple rígida es soldada.

Tabla 2.6
Presiones de trabajo interna (kg/cm²) de tubos tipo M, L y K

Diámetro nominal Pulg	Diámetro exterior mm	Temperatura de servicio																		
		10°C (50°F) S=682.14 kg/cm ²			38°C (100°F) S=421.94 kg/cm ²			65°C (150°F) S=358.65 kg/cm ²			93°C (200°F) S=337.55 kg/cm ²			149°C (300°F) S=330.52 kg/cm ²			205°C (400°F) S=210.97 kg/cm ²			
		Tipo de tubería																		
		M	L	K	M	L	K	M	L	K	M	L	K	M	L	K	M	L	K	
1/4	6 3/8	9.525	67.961	104.26	122.84	54.409	64.493	75.983	46.248	54.819	64.585	43.527	51.594	60.786	42.620	50.520	59.520	27.205	32.247	37.991
3/8	10 1/2	12.700	65.131	88.952	129.2	40.287	55.022	79.916	34.244	46.769	67.929	32.23	44.017	63.933	31.568	43.100	62.601	20.144	27.511	39.958
1/2	13 5/8	15.875	56.375	82.34	101.82	34.871	50.932	62.979	29.640	43.292	53.532	27.897	40.748	50.383	27.316	39.897	49.33	17.436	25.466	31.489
3/4	19 7/8	22.225	46.473	68.389	97.264	28.748	41.065	60.163	24.434	34.906	51.138	22.997	32.852	48.131	22.518	32.158	47.128	14.373	20.533	30.082
1	25 1 1/8	28.575	38.421	58.375	74.703	23.765	34.871	46.208	20.201	29.640	39.277	19.012	27.897	36.966	18.616	27.316	36.196	11.883	17.436	23.104
1 1/4	32 1-3/8	34.925	38.548	50.081	60.638	23.844	30.966	37.508	20.267	26.321	31.882	19.075	24.773	30.006	18.678	24.256	29.381	11.922	15.483	18.754
1 1/2	38 1-5/8	41.275	37.772	46.588	56.375	23.364	28.617	34.871	19.860	24.495	29.640	18.591	23.054	27.897	18.302	22.574	27.316	11.682	14.409	17.436
2	51 2-1/8	53.975	34.056	41.424	53.55	21.066	25.623	30.649	17.906	21.780	26.052	16.853	20.499	24.52	16.502	20.071	24.009	10.022	12.812	15.325
2-1/2	64 2-3/8	66.675	31.234	38.264	45.351	19.320	23.666	28.052	16.422	20.118	23.845	15.456	18.935	22.442	15.134	18.540	21.974	9.660	11.834	14.026
3	78 3-1/8	79.375	28.857	36.104	43.881	17.850	22.332	27.143	15.172	18.982	23.071	14.28	17.666	21.714	13.982	17.401	21.262	8.925	11.186	13.571
4	102 4-1/8	104.775	28.584	33.389	40.975	17.681	20.653	25.345	15.028	17.555	21.544	14.144	16.522	20.278	13.850	16.178	19.854	8.840	10.326	12.673

2.4 Consideraciones de diseño

2.4.1 Limitaciones de la velocidad del agua

De manera de eliminar ruidos y posibles efectos de corrosión u erosión producto del flujo, se recomienda que la velocidad del flujo no exceda los 2.4 m/s para agua fría y 1.5 m/s para agua caliente (hasta 60 °C). En sistemas donde la temperatura del agua exceda los 60 °C, se recomienda no exceder velocidades entre 0.9 y 0.6 m/s. Adicionalmente, para tuberías de diámetros menores a 1/2 pulgada se deben contemplar velocidades menores para considerar eventuales defectos en la instalación y cambios abruptos en la dirección del flujo, entre otros. Lo anterior combinado con altas velocidades del flujo pueden producir

efectos de erosión de la tubería cuando el agua sea muy dura.

Especial cuidado se debe tener en sistemas que transporten agua caliente. Tanto las líneas de alimentación como las de retorno deben ser dimensionadas de tal manera que las velocidades no excedan las recomendadas. No se debe sobredimensionar la bomba de circulación y se debe verificar que la tubería que la tubería de retorno sea de tamaño adecuado. Este es un error común en instalaciones de este tipo.

2.4.2 Resistencia al reventamiento y valores nominales de presión

Existen variados métodos analíticos y empíricos para establecer el índice de

presión-temperatura para tuberías de diferentes materiales. Estos incluyen índices calculados en base a propiedades de los materiales, tales como, resistencia a la tracción y fluencia, tamaño de la tubería y otros parámetros ingenieriles.

Generalmente, se prefieren estos métodos porque reducen la cantidad de ensayos requeridos para validar el sistema. Sin embargo, se pueden desarrollar y usar índices basados en el desempeño del material obtenido mediante ensayos. Esta metodología requiere de sucesivos ensayos para observar variaciones, dependiendo del tamaño de la tubería y de los esfuerzos y deformaciones observados, pero resulta en mayor precisión al momento de establecer los índices.

Presión nominal basada en cálculos

Para calcular la presión nominal para tuberías de cobre, se utiliza la ecuación 2.1, establecida en el código ASME B31:

$$P = \frac{2S(t_{min} - C)}{D_{max} - 0.8(t_{min} - C)} \quad (2.1)$$

donde:

- P: Presión admisible (psi)
- S: Máx. tensión admisible en tracción (psi)
- t_{min} : Espesor de pared (in)
- D_{max} : Diámetro exterior (in)
- C: Constante

Debido a que el cobre posee una mayor resistencia a la corrosión que otros materiales, el código B31 permite reducir el factor C a cero. Por lo tanto, la ecuación 2.1 queda reducida a la siguiente expresión:

$$P = \frac{2St_{min}}{D_{max} - 0.8t_{min}} \quad (2.2)$$

El valor S en la fórmula corresponde a la tensión máxima permitida por ASME B31

para materiales de tuberías de servicio de largo plazo. Este valor corresponde a una pequeña fracción de la resistencia última a la tracción del cobre o de la resistencia al reventamiento de la tubería de cobre, y ha sido confirmado ser seguro a través de años de experiencia y ensayos. La tensión admisible depende de la temperatura de servicio y del temple del tubo, rígido o flexible. La desventaja de utilizar esta fórmula para calcular la presión nominal, es que subestima el desempeño de tuberías de cobre de pared delgada (diámetro > 10 veces espesor). Adicionalmente, no tiene en cuenta los efectos de endurecimiento por deformación característicos de las tuberías de cobre, los cuales pueden producir un incremento de su resistencia de hasta 7 veces.

En las Tablas 2.5 y 2.6 se muestran valores de presión nominal basada en la fórmula de ASME para tuberías de temple rígido y flexible tipos K, L, M y DWV, para temperaturas de servicio entre 37 y 204 °C. Los valores para tuberías de temple rígido pueden ser usados para sistemas soldados y sistemas con uniones mecánicas. Los

fabricantes de fittings pueden proveer información acerca de la resistencia de sus productos según tipo y tamaño.

Cuando los tubos son unidos mediante soldadura, se deben usar los índices para tuberías recocidas o de temple flexible, debido a que las uniones se realizan a altas temperaturas y esto produce un recocido (ablandamiento) de la tubería de cobre. La Tabla 2.4 muestra valores de presión nominal para tuberías tipo ACR.

Al momento de diseñar un sistema, los índices de presión para las uniones también se deben tener en cuenta, debido a que el menor de los índices (tubo o unión) es el que predominará en la instalación. La mayoría de los tubos se unen mediante soldadura fuerte o débil. Valores de la presión interna para este tipo de uniones se muestran en la Tabla 2.7. Estos valores pueden ser utilizados para cualquier tipo de tubería con fittings soldados y fittings DWV. En sistemas de tuberías soldados, la presión nominal queda definida por el valor asociado a las uniones.

Tabla 2.7
Índices de presión uniones con soldadura débil y soldadura fuerte.

Material de unión ⁴	Temperatura °C	Presión manométrica máxima de trabajo para medidas estándar de tubería de agua KPa (psi) ¹ Medida estándar o nominal (pulgadas)					
		1/8 - 1	1 1/4 - 2	2 1/4 - 4	5 - 8	10 - 12	
Aleación Sn 50-50 soldadura estaño-plomo ⁵	38	Presión ² DWV ³	1379 (200) -	1206.6 (175) 655 (95)	1034.2 (150) 551.6 (80)	930.8 (135) 482.6 (70)	689.5 (100) -
	65,6	Presión ² DWV ³	1034.2 (150) -	861.8 (125) 482.6 (70)	689.5 (100) 379.2 (55)	620.5 (90) 310.3 (45)	482.6 (70) -
	93,3	Presión ² DWV ³	689.5 (100) -	620.5 (90) 344.7 (50)	517.1 (75) 275.8 (40)	482.6 (70) 241.3 (35)	344.7 (50) -
Aleación Sb 95-5 soldadura estaño-antimonio	121	Presión ² DWV ³	586 (85) -	517 (75) -	344.7 (50) -	310.3 (45) -	275.8 (40) -
	saturación de vapor	Presión ²	103.4 (15)	103.4 (15)	103.4 (15)	103.4 (15)	103.4 (15)
	38	Presión ² DWV ³	7515 (1090) -	5860.5 (850) 2689 (390)	4860.8 (705) 2240.8 (325)	4550.5 (660) 2275.3 (330)	3447.4 (500) -
	65,6	Presión ² DWV ³	4309 (625) -	3344 (485) 1551.3 (225)	2792.4 (405) 1275.5 (185)	2585.5 (375) 1310 (190)	1965 (285) -
	93,3	Presión ² DWV ³	3482 (505) -	2723.4 (395) 1241 (180)	2240.8 (325) 1034.2 (150)	2102.9 (305) 1068.7 (155)	1585.8 (230) -
	121	Presión ² DWV ³	1861.6 (270) -	1447.9 (210) 655 (95)	1206.6 (175) 551.6 (80)	1137.6 (165) 551.6 (80)	861.8 (125) -
	saturación de vapor	Presión ²	103.4 (15)	103.4 (15)	103.4 (15)	103.4 (15)	103.4 (15)
Aleación E	38	Presión ² DWV ³	4895.2 (710) -	3826.6 (555) 1758.2 (255)	3171.6 (460) 1447.9 (210)	2964.7 (430) 1482.4 (215)	2240.8 (325) -
	65,6	Presión ² DWV ³	3275 (475) -	2551 (370) 1172.1 (170)	2102.9 (305) 965.3 (140)	1965 (285) 965.3 (140)	1482.4 (215) -

Tabla 2.7
Índices de presión
uniones con
soldadura débil y
soldadura fuerte

Material de unión	Temperatura °C	Presión manométrica máxima de trabajo para medidas estándar de tubería de agua KPa (psi)					
		Medida estándar o nominal (pulgadas)					
			1/8 - 1	1-1/4 - 2	2-1/4 - 4	5 - 8	10 - 12
	93.3	Presión ² DWW ⁶	2585.5 (375) -	1999.5 (290) 930.8 (135)	1654.7 (240) 758.4 (110)	1551.3 (225) 792.9 (115)	1172.1 (170) -
	121	Presión ² DWW ⁶	2206.3 (320) -	1723.7 (250) 792.9 (115)	1413.4 (205) 655 (95)	1344.5 (195) 655 (95)	999.7 (145) -
	Saturación de vapor	Presión ²	103.4 (15)	103.4 (15)	103.4 (15)	103.4 (15)	103.4 (15)
Aleación HB	38	Presión ² DWW ⁶	7136 (1035) -	5550.3 (805) 2551 (370)	4619.5 (670) 2137.4 (310)	4309.2 (625) 2171.8 (315)	3275 (475) -
	65.6	Presión ² DWW ⁶	4895.3 (710) -	3826.6 (555) 1758.2 (255)	3171.6 (460) 1447.9 (210)	2964.7 (430) 1482.4 (215)	2240.8 (325) -
	93.3	Presión ² DWW ⁶	3033.7 (440) -	2378.7 (345) 1068.7 (155)	1965 (285) 896.3 (130)	1827.1 (265) 930.8 (135)	1379 (200) -
	121	Presión ² DWW ⁶	2964.7 (430) -	2309.7 (335) 1068.7 (155)	1896 (275) 861.8 (125)	1792.6(260) 896.3 (130)	1344.5 (195) -
	Saturación de vapor	Presión ²	103.4 (15)	103.4 (15)	103.4 (15)	103.4 (15)	103.4 (15)
Unión de materiales con punto de fusión igual o sobre los 593 °C6		Presión y temperatura consistentes con los materiales y procedimientos empleados					
	Saturación de vapor	Presión ²	827.4	827.4	827.4	827.4	827.4

Para cuando se trabaja con temperaturas en el rango de 32 a 93,3 °C es recomendado usar para la unión materiales cuyo punto de sea igual o mayor a 593 °C.

1. Tamaño estándar de un tubo de agua definido por ASTM B88.
2. Las calificaciones de hasta 8 pulgadas de tamaño son las establecidas por ASME B16.22 para forjado de cobre y aleación de cobre de soldadura tubería común de presión y de cobre ASMEB16.18 moldeada y aleación de cobre de soldadura tubería común. Opinión sobre 10 a 12 pulgadas de tamaños son los que figuran en ASME B16.18 moldeada de cobre y accesorios de presión de aleación de cobre junta de soldadura.
3. El uso de ASME B16.29 - DWW, y ASME B16.23 fundido la aleación de cobre junta de soldadura de drenaje accesorios - DWW.
4. Designaciones de aleación definidas por ASTM B32.
5. La Ley de Agua Potable Segura enmienda de 1986 prohíbe el uso en sistemas de agua potable de cualquier soldadura que tenga un contenido de plomo en exceso de 0,2 %.
6. Estos materiales de unión se definen como aleaciones de soldadura fuerte por parte de la Sociedad Americana de Soldadura.

Cuando se utilizan soldaduras fuertes para unir las tuberías, se recomienda el uso de valores para tuberías de temple flexible debido a que este proceso ablanda (mediante recocido) la tubería cerca de los puntos de unión, los cuales son expuestos a altas temperaturas.

La presión a la cual revienta la tubería de cobre equivale a varias veces la presión

nominal. Si se comparan los valores de la Tabla 2.8 (presión de reventamiento) con los valores de la Tabla 2.6 presión nominal, se puede apreciar que los factores de seguridad son bastante conservadores, lo que entrega seguridad respecto a que los sistemas que trabajan en presión podrán operar por largos periodos de tiempo. Adicionalmente, esto permite a la tubería soportar sin problemas aumentos de

presión inesperados que puedan ocurrir durante la vida útil del sistema. Los mismos principios conservadores son aplicados para uniones con soldadura fuerte y débil. Los niveles de tensión admisibles para las uniones soldadas aseguran la integridad de la conexión bajo condiciones de carga por periodos prolongados de tiempo. Además, se consideraron factores de seguridad al calcular la resistencia de las uniones.

Diámetro Nominal en Pulgadas	Diámetro Exterior en Pulgadas	K		L		M	
		Rígido	Flexible	Rígido	Flexible	Rígido	Flexible
1/2	5/8	9840	4535	7765	3885	6135	-
3/4	7/8	9300	4200	5900	2935	4715	-
1	1-1/8	7200	3415	5115	2650	3865	-
1-1/4	1-3/8	5525	2800	4550	2400	3875	-
1-1/2	1-5/8	5000	2600	4100	2200	3550	-
2	2-1/8	3915	2235	3365	1910	2935	-
2-1/2	2-5/8	3575	-	3215	-	2800	-
3	3-1/8	3450	-	2865	-	2665	-
4	4-1/8	3415	-	2865	-	2215	-
5	5-1/8	3585	-	2985	-	2490	-
6	6-1/8	3425	-	2690	-	2000	-
8	8-1/8	3635	*	2650	-	2285	-

Tabla 2.8
Presión de reventamiento (psi)

Presión Nominal basada en ensayos de desempeño

Teniendo en cuenta la naturaleza conservadora del cálculo de la presión interna mediante la metodología planteada por el estándar ASME B31, es que se pueden establecer valores de presión interna mediante ensayos de desempeño como resistencia a la fatiga y al reventamiento. De esta manera se puede aprovechar las ventajas que ofrece el uso de tuberías de cobre de pared delgada, permitiendo a quien diseña el sistema el uso de tuberías de mayor esbeltez (razón entre el diámetro de la tubería y su espesor) de tal manera de reducir tanto el uso de material como el costo.

Por lo general, los ensayos de desempeño están basados en regímenes de operación dentro de los márgenes que se espera que la tubería experimente durante su vida útil. Mediante la utilización de métodos acelerados de ensayo y considerando factores de seguridad, es posible establecer que las tuberías de cobre poseen capacidad para resistir presiones mayores a las experimentadas durante los ensayos.

Un ejemplo de lo anterior es el índice de desempeño requerido por el estándar UL 207 (Standard for Safety for Refrigerant-Containing Components and accessories, Nonelectrical). Al utilizar este estándar las tuberías de cobre pueden ser especificadas con presiones nominales mayores que las indicadas en las Tablas 2.4, 2.5 y 2.6, toda vez que el fabricante sea capaz de demostrar mediante ensayos que, para cada diámetro de tubería y espesor de pared, esta es capaz de resistir 3 veces la presión nominal especificada. Además, la tubería debe ser sometida a un ensayo de fatiga cíclica de no menos de 250,000 ciclos, sin experimentar fallas. Gran parte de los fabricantes de tuberías de cobre y fittings han ensayado sus productos obteniendo valores que permiten su uso en sistemas HVACR y equipos operando por sobre las presiones que se indican en las Tablas 2.4, 2.5 y 2.6.

En edificios de varios pisos de altura, la expansión y contracción de la línea vertical deben estar consideradas en el diseño. La línea puede experimentar cambios de longitud de 0.05 mm por cada °C de variación de temperatura por cada piso de 3 m de altura (ver Figura 2.1). Esta variación de longitud es ligeramente mayor que para las tuberías de hierro y acero (0.036 mm), y considerablemente menor que para las tuberías de plástico (0.156 mm).

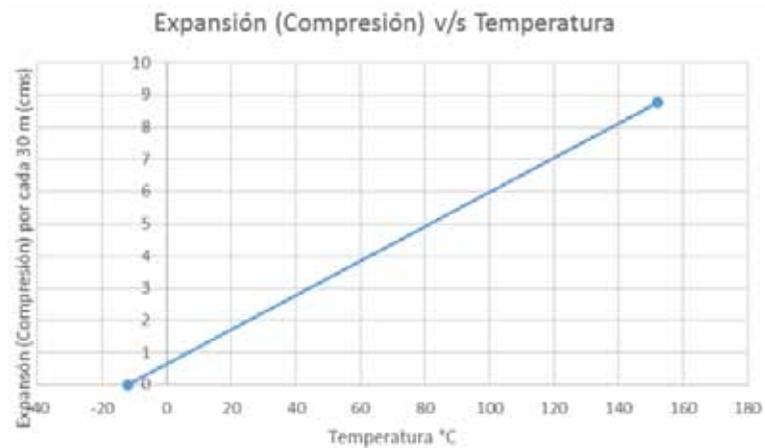


Figura 2.1
Expansión vs cambio de temperatura para tubería de cobre

Dado que la longitud, los cambios de temperatura y el diseño mismo del sistema están ligados a la expansión, es responsabilidad del diseñador establecer los mecanismos necesarios para compensar este efecto. Una medida simple para controlar los movimientos producto de las variaciones de temperatura consiste en anclar la línea. Se debe tener especial cuidado en el diseño de los anclajes, de manera de evitar tensiones excesivas producto de la expansión térmica de la línea.

El anclaje más efectivo, por lo general, se produce cuando la línea atraviesa de manera vertical la losa de hormigón y se disponen de abrazaderas y uniones soldadas, como se muestra en la Figura 2.2. Las abrazaderas se colocan bajo y sobre la losa, y luego se colocan apretando la conexión (fittings), la cual se suelda a la tubería en ambos extremos. En todos los pisos que atraviese la tubería se debe disponer un forro o encamisado que prevenga el movimiento lateral de la línea.

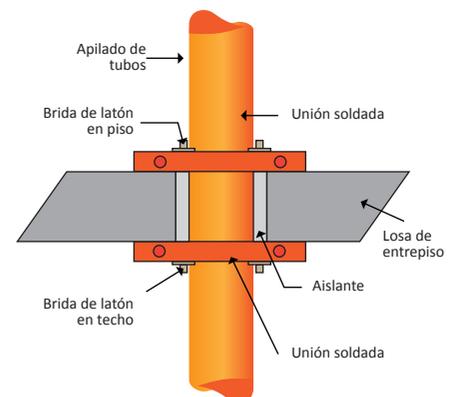


Figura 2.2
Sistema de anclaje para tuberías que atraviesan losas de hormigón

Si bien los sistemas de drenaje de cobre no funcionan en presión, estos deben ser capaces de resistir ensayos de presión hidrostática. Las presiones admisibles para tuberías de cobre tipo DWV y uniones soldadas se presentan en las Tablas 2.5 y 2.7, respectivamente.

Para determinar la altura a la cual la presión hidrostática debe ser ensayada (con agua) en un segmento, se debe considerar el menor valor indicado en las Tablas 2.5 y 2.7, y multiplicarlo por un factor igual a 2.3 (una columna de 2.3 pies de altura, o 0.7 m, genera 1 psi). Por ejemplo, en el caso de usar soldadura 50-50 estaño-plomo y una tubería de 4" de diámetro a una temperatura de servicio de 38 °C, se debe multiplicar 80 pies (el menor valor de las dos tablas) por 2.3; resultando en 184 pies (56 m). Esto quiere decir que una línea vertical de 56 m puede ser ensayada de una sola vez.

2.4.3 Consideraciones Generales

No es posible en un manual de esta naturaleza cubrir todos los aspectos y consideraciones a tener en cuenta por parte del diseñador. Sin embargo, los puntos que se describen a continuación pueden ser de gran ayuda al momento de preparar especificaciones técnicas.

Liras de dilatación

Las tuberías de cobre, como todos los materiales empleados para tuberías, se expanden y contraen acorde a los cambios de temperatura. Por lo tanto, un sistema de tuberías de cobre expuesto a constantes variaciones de temperatura tiende a doblarse o colapsarse cuando se expande, a menos que sea diseñada con sistemas de compensación. Las uniones también se ven afectadas por un aumento de tensiones. Este aumento de tensiones, puede ser prevenido mediante juntas de expansión o instalando compensaciones, tuberías dobladas en "U", serpentines o configuraciones similares de tuberías.

El coeficiente de dilatación térmica del cobre es de $16.5 \times 10^{-6} 1/^\circ\text{C}$ de 20 a 100 °C, lo que significa que un tubo se alarga 1.65

mm/m, cuando su temperatura aumenta en 100 °C, y por lo tanto, esto debe ser considerado cuando se instalan las tuberías para sistemas de agua caliente.

Mediante la fórmula indicada a continuación es posible calcular la variación de longitud (DL), en mm, en función de la longitud inicial y la variación de temperatura.

$$DL = 16.5 \times 10^{-6} * L * t \quad (2.3)$$

donde:

- L: Longitud del tubo (mm)
- t: Diferencia de temperatura (°C)

Se entiende por diferencia de temperatura, el delta entre la temperatura ambiente al momento de la instalación de tubería y la temperatura máxima a la cual operará el sistema.

Como regla general, se puede suponer que por cada metro de tubería se debe considerar 1 mm de dilatación. Lo anterior se basa en el supuesto que un sistema de agua rara vez operará fuera del rango 20 a 80 °C. Debido a que las tuberías estarán expuestas a variaciones de temperatura, deben de anclarse de manera que permitan su dilatación o contracción. Es recomendable el uso de fijaciones con abrazaderas y evitar empotramientos rígidos.

La Tabla 2.9 indica los radios requeridos para las liras de dilatación, ilustrados en la Figura 2.4. Las longitudes compensadas de dilatación pueden ser estimadas usando la Tabla 2.9. Por otra parte, la longitud requerida en un codo de dilatación o compensación puede ser calculada usando la siguiente fórmula:

$$L = \frac{1}{12} \left(\frac{3E}{P} \right)^{1/2} (d_o e)^{1/2} \quad (2.4)$$

donde:

- L: Longitud de desarrollo del loop (ft)
- E: Módulo de elasticidad del cobre ($E = 17.000.000$ psi)
- P: Tensión admisible por flexión (psi)
- d_o : Diámetro exterior de la tubería (in)
- e: Expansión a ser absorbida (in)

Si se considera $E = 17.000.000$ psi y $P = 6.000$ psi, la longitud requerida se puede calcular mediante la siguiente expresión:

$$L = 7.68 (d_o e)^{1/2} \quad (2.5)$$

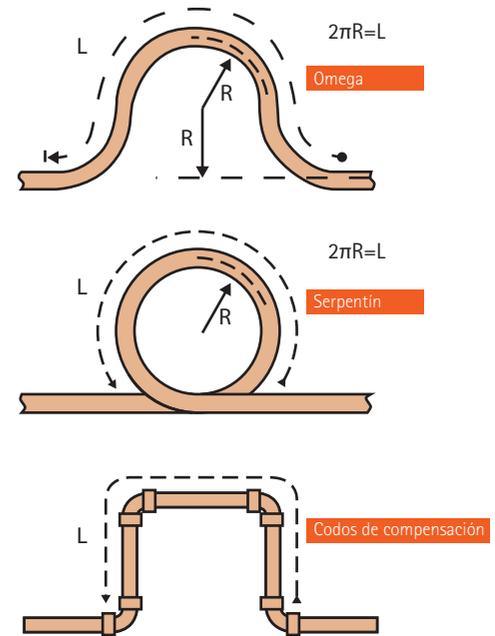


Figura 2.4 Liras de dilatación térmica

Pulgadas de expansión esperada	Tipo	Radio "R", en pulgadas, diámetro nominal o estándar de tubo Longitud "L", en pulgadas, diámetro nominal o estándar de tubo											
		1/4	3/8	1/2	3/4	1	1-1/4	1-1/2	2	2 1/2	3	3-1/2	4
1/2	R	6	1	8	9	11	12	13	15	16	18	19	20
	L	38	44	50	59	67	74	80	91	102	111	120	128
1	R	9	10	11	13	15	17	18	21	23	25	27	29
	L	54	63	70	83	94	104	113	129	144	157	169	180
1-1/2	R	11	12	14	16	18	20	22	25	28	30	33	35
	L	66	77	86	101	115	127	138	158	176	191	206	220
2	R	12	14	16	19	21	23	25	29	32	35	38	41
	L	77	89	99	117	133	147	160	183	203	222	239	255
2-1/2	R	14	16	18	21	24	26	29	33	36	40	43	45
	L	86	99	111	131	149	165	179	205	227	248	267	285
3	R	15	17	19	23	26	29	31	36	40	43	47	50
	L	94	109	122	143	163	180	196	224	249	272	293	312
3-1/2	R	16	19	21	25	28	31	34	39	43	47	50	54
	L	102	117	131	155	176	195	212	242	269	293	316	337
4	R	17	20	22	26	30	33	36	41	46	50	54	57
	L	109	126	140	166	188	208	226	259	288	314	338	361

Tabla 2.9
Radios recomendados para liras de dilatación con tubería de cobre

Soportes para tubos

Cuando se requiera el uso de tuberías expuestas, se recomienda el uso de tuberías de temple rígido. A menos que se especifique de otra manera, una tubería de cobre rígida requiere un soporte cada 2.4 m para líneas horizontales de diámetros menores a 1", y cada 3 m para diámetros mayores. Para las líneas verticales se requiere un soporte en cada piso o cada 3 m. En el caso de líneas largas, donde se han instalado dispositivos para compensar las deformaciones, el espaciamiento de los soportes puede ser mayor a 3 m, siempre y cuando existan forros o similares dispuestos piso por medio de manera de restringir el desplazamiento lateral de la línea (ver Figura 2.2).

En el caso que se prefiera el uso de tuberías de temple flexible, debido a menor uso de conexiones, los anclajes se deben disponer cada 3 m para líneas verticales y cada 2.4 m para líneas horizontales.

Resistencia al aplastamiento

Es posible demostrar mediante un ensayo de compresión de una barra de 1" de cobre, utilizando una barra de acero de 3/4", aplicando la fuerza de forma puntual y perpendicular al eje de la tubería, que se requieren de aproximadamente 318 kg para aplastar la tubería hasta un 75% de su diámetro original. Tuberías de 2", debido que poseen mayor espesor, resisten mayores esfuerzos antes de presentar aplastamiento. Lo anterior es una demostración de la excelente resistencia al

aplastamiento de las tuberías de cobre.

Una buena práctica es rellenar las excavaciones lo antes posible una vez realizada la inspección de las líneas. Se recomienda rellenar los primeros 15 cm con una arena limpia libre de piedras, cenizas u otros materiales que puedan dañar la tubería de cobre. Se pueden usar equipos como niveladoras para terminar de rellenar. Cuando se instalen tuberías en suelos húmedos se debe tener en cuenta medidas adicionales que aseguren su estabilidad permanente.

Requerimientos similares a los anteriores se encuentran en los Decretos Supremos DS 66 modificado por el DS 20 para la instalación de tuberías de gas.

Golpe de ariete

Se entiende por golpe de ariete cualquier tipo de fuerzas destructivas, ruidos de martillo y vibraciones que son propias de los sistemas hidráulicos cuando el fluido que transita por éste es detenido de manera abrupta por una válvula de cierre.

Cuando ocurre el golpe de ariete, una onda de choque de alta presión provoca la vibración de la tubería hasta que toda la energía se disipa en pérdidas friccionales. El ruido producido por el exceso de presión puede ser disipado mediante una cámara de aire u otros dispositivos diseñados para el control de variaciones bruscas por presión. Estos dispositivos son diseñados de tal manera que el agua en el sistema nunca entre en contacto con el colchón de aire

supresor, y una vez instalados no requieren de mayor mantención.

En ramas que solo poseen un elemento de consumo conectada, el supresor debe instalarse inmediatamente después de la válvula del elemento. En ramas de múltiples elementos, el supresor debe instalarse en la línea que alimenta al grupo de elementos de consumo, entre las últimas dos líneas de alimentación.

Presión de colapso de las tuberías de cobre

El constante aumento de uso de cobre y aleaciones de cobre en tuberías de condensadores, calentadores de agua y otros dispositivos de transferencia de calor para agua, gas y fluidos, y aplicaciones donde exista una diferencia de presión entre los extremos opuestos de la pared de la tubería, crea la necesidad de contar con datos que permitan diseñar teniendo en cuenta estos efectos (ver Tabla 2.7).

Congelamiento de las tuberías de cobre

Las tuberías de cobre de temple flexible son capaces de resistir varios ciclos de expansión de agua helada antes de reventar. Ensayos han demostrado que se requieren 6 ciclos de congelamiento para reventar una tubería de cobre de temple flexible de 1/2" y 11 ciclos para reventar una de 2". Estos factores de seguridad permiten que la tubería de cobre flexible sea atractiva para uso en redes subterráneas, pero por ningún motivo significa que la línea pueda quedar expuesta al congelamiento.

Corrosión

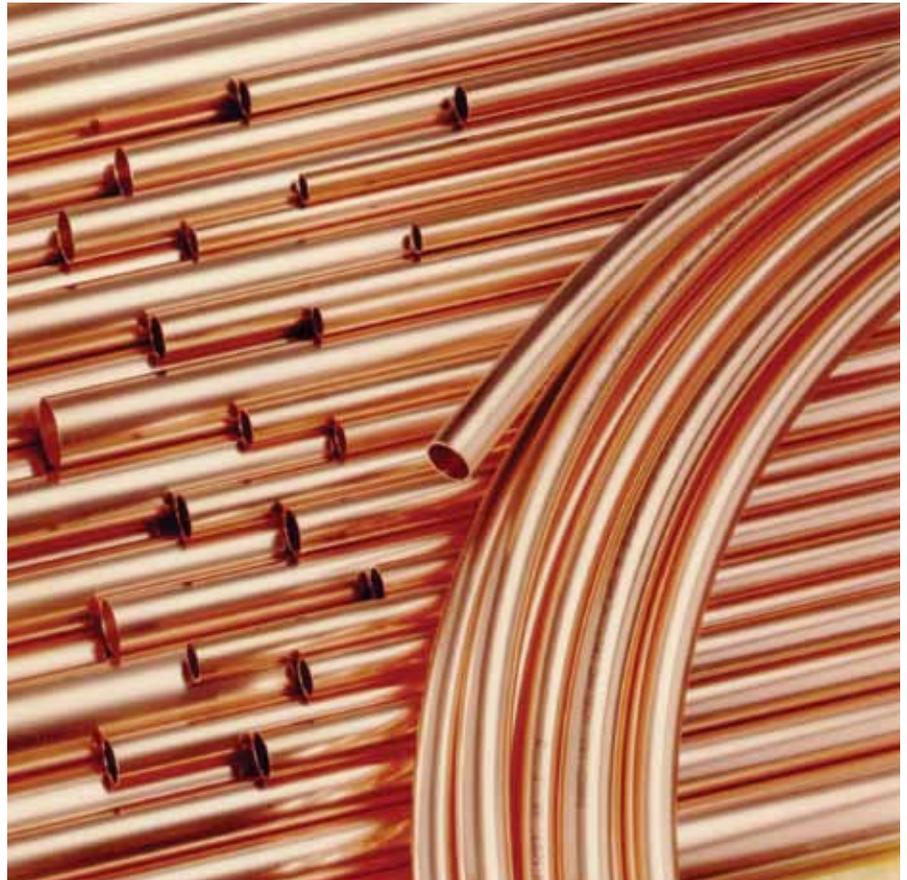
Las tuberías de cobre son resistentes a la corrosión. Es muy raro que el agua u otros fluidos corroan una tubería de cobre, pero cuando esto ocurre, se debe identificar y tratar la línea para mitigar los efectos.

Vibraciones

Las tuberías de cobre pueden resistir sin problemas la vibración cuando el sistema ha sido diseñado correctamente. Especial cuidado se debe tener durante la instalación, asegurando que las líneas en sistemas sujetos a vibraciones queden libres de esfuerzos producidos por el doblado o desalineado. Los esfuerzos residuales acompañados de la vibración, pueden causar fatiga en los doblados y conexiones, en los cuales esfuerzos residuales fueron introducidos.

Durabilidad

Bajo condiciones normales la tubería de cobre tiene una duración mayor a la vida útil para la cual se diseñan las estructuras.



3

Normativa y Reglamentación Vigente

Las tuberías de cobre son fabricadas con una composición estándar y marcadas con una identificación permanente, por lo que siempre es posible saber quién las fabricó y la certificación que tienen.

En el presente capítulo se indica la normativa y reglamentación vigente para las instalaciones de agua potable domiciliaria e instalaciones interiores de gas. Además, se explicita los artículos de los reglamentos relacionados con el tema de este Manual dado que, en el caso de Normas Chilenas, está prohibida su reproducción parcial o total.

3.1 INSTALACIONES DE SISTEMAS DE AGUA POTABLE

Estas instalaciones están normadas y reglamentadas por:

- El Decreto Supremo N° 50 del Ministerio de Obras Públicas "Reglamento de instalaciones sanitarias de agua potable y alcantarillado" publicado el 28 de enero del 2003 y cuya última modificación es del 10 de febrero del año 2009.
- Los materiales autorizados por la Superintendencia de Servicios Sanitarios (SISS) para instalaciones sanitarias se encuentran en el listado de "Productos y materiales utilizables en el sector sanitario" publicado en la web de la SISS y actualizado permanentemente.

En el caso de las cañerías de cobre para estas instalaciones, se debe cumplir con las normas chilenas siguientes:

- NCh951.Of2005 – Tuberías de cobre para agua potable – Requisitos
- NCh259.Of1974 – Cobre – Cobre aleados y aleaciones de cobre – Tubos sin costuras – Terminología – especificaciones generales y métodos de ensayo.

Relacionadas con el tema de este Manual, en estos documentos no existen exigencias para las instalaciones de agua potable, sin embargo, producto de sismos han existido problemas con este tipo de instalaciones, por lo que es necesario considerar en los proyectos las normas estructurales existentes en el país, como la norma NCh3357:2015 Diseño sísmico de componentes y sistemas no estructurales, y las recomendaciones de este Manual.

3.2 INSTALACIONES DE GAS

Estas instalaciones están normadas y reglamentadas por:

- El Decreto Supremo N° 66 del Ministerio de Economía, Fomento y Reconstrucción "Reglamento de instalaciones interiores y medidores de gas" publicado el 19 de julio de 2007 modificado por el Decreto Supremo N° 20 de fecha 11 de febrero de 2008.

En el caso de las cañerías de cobre, se debe cumplir con la siguiente norma chilena:

- NCh951/2.Of2005 – Cobre y aleaciones de cobre – Tubos de cobre sin costura para gas – Requisitos

El decreto N° 66 modificado por el DS N° 20 establece exigencias relacionadas con el tema de este Manual y son las siguientes (Nota: La numeración corresponde a la del DS N20):

Artículo 41 Generalidades de los proyectos

41.2 Requerimientos generales

41.2.5 Cuando las instalaciones se encuentren en zonas geográficas, cuyas características, puedan, eventualmente, afectar adversamente su normal funcionamiento, entre otras, efectos climáticos, riesgos sísmicos, terrenos inestables o susceptibles de inundación, temperaturas, salinidad, se deberá considerar lo establecido en el Anexo A – "Recomendaciones sobre protecciones y calefacción" de la "NCh1079.Of1977", o disposición que la reemplace, para protecciones de la tubería y demás componentes de la instalación. Asimismo, se deberán considerar los requerimientos operacionales específicos de los fabricantes de artefactos a gas o lo establecido en normas extranjeras reconocidas internacionalmente, tales como las referidas en el artículo 7° del presente reglamento, considerando, entre otros, el incremento necesario y suficiente de la resistencia y flexibilidad de los soportes y juntas de las tuberías, a fin de garantizar su operación segura en dichas zonas y que éstas no constituyan peligro para las

personas o las cosas.

41.2.6 El diseño del circuito de gas deberá asegurar que las tuberías de gas no transmitan esfuerzos indebidos a las conexiones, cuyo trazado deberá otorgarle a la instalación de gas la flexibilidad necesaria para atenuar los efectos producidos por la expansión o contracción térmica, entre otros, tensiones excesivas en sus materiales, evitando que se curven, y que se generen cargas excesivas en las juntas, además de fuerzas o momentos indeseables en los puntos de conexión al equipo o artefacto a gas y en el anclaje o punto de guía, como asimismo absorber los cambios térmicos por medio del empleo de juntas esféricas o articuladas, proyectando, donde sea necesario, curvas, bucles y uniones de tipo deslizante; pero sin contemplar juntas de expansión de tipo deslizante al interior de los edificios, cuyo uso está prohibido. En caso de considerarse juntas de expansión, distintas a la del tipo deslizante, se deberán contemplar anclajes y fijaciones con la resistencia y rigidez necesaria y suficiente para evitar tensiones en los extremos de la tubería debido a la presión del gas entregado y demás causas posibles. Conjuntamente con las juntas de expansión se deberán proyectar guías de alineación de tuberías de acuerdo a la práctica recomendada por el fabricante de tales juntas.

41.4.2 Estudio específico o técnico

Para la aplicación o uso de dicho estudio requiere que éste sea presentado conjuntamente con la inscripción de la Declaración a la Superintendencia, de la instalación que se trate.

El estudio deberá contener una memoria explicativa que detalle los criterios aplicados al proyecto de la instalación, basada en principios y buenas prácticas de ingeniería, entre otras materias: Mecánica de Fluidos, Transferencia de Calor, Termodinámica, estudio que deberá detallar, al menos, la siguiente información:

a) Introducción. Breve resumen de la instalación y fundamento teórico-técnico aplicado a ésta.

b) Desarrollo. Enumeración de los principios o buenas prácticas de ingeniería en las que se basa el estudio o proyecto, método de cálculo empleado y resultados obtenidos, croquis o plano simple de la instalación de gas, como asimismo el Manual del Artefacto, provisto por su fabricante o recomendaciones de éste.

c) Conclusión. Justificación técnica que avale la seguridad de la instalación proyectada.

Artículo 46 Instalaciones de tuberías de gas

46.2 Tuberías subterráneas

46.2.5 Tuberías subterráneas que atraviesan paredes de los cimientos

Las tuberías subterráneas instaladas bajo el nivel del piso, que atraviesen las paredes de los cimientos exteriores o de algún sótano de un edificio, se deberán encamisar en un tubo de protección o vaina. El espacio anular entre la tubería de gas y la camisa o vaina deberá estar sellado en la pared del cimiento o del sótano, con un material adecuado para tal aplicación, que impida la entrada de gas o agua, así como su corrosión

46.2.6 Tuberías subterráneas bajo Edificios

a) Sólo en forma excepcional y por causas justificadas se podrán instalar tuberías subterráneas bajo edificios, deberán serlo encamisadas en un conducto diseñado para soportar las cargas superpuestas, el cual se deberá extender hasta una zona de uso habitual y accesible del edificio y, en el punto en que el conducto termina en el edificio, se deberá sellar el espacio anular, comprendido entre el conducto y la tubería de gas, para impedir el ingreso de una eventual fuga de gas, así como su corrosión. Si el sello del extremo del tubo fuera del tipo que contuviera la presión total del tubo, el conducto deberá estar diseñado para la misma presión que el tubo. El conducto se deberá extender, al menos, 10 (cm) por fuera del edificio, contar con un venteo hacia el exterior por encima del nivel del piso y estar instalado de modo que evite el ingreso de agua e insectos.

b) Para instalar tuberías de GLP, en media y baja presión, dispuestas sobre losas de subterráneos, sobre cota cero, se deberán cumplir los siguientes requisitos:

b.1 La losa del subterráneo deberá ser, previamente, recubierta con un producto impermeable e insoluble al GLP.

b.2 En ningún caso, la tubería podrá ser solidaria con la losa.

b.3 La tubería deberá ser de cobre, flexible y no deberá tener uniones soldadas en todo el tendido de la tubería sobre la losa del subterráneo, excepto para aquellas tuberías rígidas de diámetro de al menos una pulgada (1"). Además, las conexiones efectuadas al exterior y bajo tierra, entre esta tubería, metálica, y otra plástica, deberán realizarse únicamente con accesorios de transición, debidamente certificados para tal efecto.

b.4 Se deberán evitar los cruces de juntas de dilatación, lo que, de no ser posible, se deberán contemplar liras de expansión.

b.5 Si la tubería queda expuesta a daño mecánico, se deberán contemplar alguna forma de protección apropiada contra éste.

46.5 Tuberías en Edificios

46.5.1 Generalidades

La instalación de tuberías de gas al interior de edificios se deberá realizar a la vista o en conductos registrables, o empotradas en losas o radier. Además, se deberá considerar lo siguiente:

a) La instalación de tuberías de gas no deberá provocar tensiones estructurales en los componentes del edificio que excedan los límites de diseño permitidos.

b) Las tuberías de gas a la vista deberán ser aseguradas al muro o pared.

c) Todo corte, ranura u otra intervención en elementos estructurales del edificio para realizar un conducto, deberá ser previamente autorizado, en un informe escrito, por un Ingeniero Calculista.

d) Las tuberías empotradas en losa o radier deberán contar con protección mediante un recubrimiento plástico, y su trazado se deberá efectuar en zonas exclusivas y con elementos aptos para permitir la identificación de su recorrido. Estas zonas se extenderán a no más de 200 mm de los muros paralelos a las respectivas tuberías. Para el caso en que el tendido de tuberías se realice en espacios comunes, esta zona podrá extenderse hasta 350 mm. Sus uniones deberán ser protegidas con un aislante de poliestireno expandido u otro de características similares.

46.5.3 Uso de Tuberías Metálicas Flexibles en Muros o Divisiones.

Las tuberías, al interior de edificios, que atraviesen paredes, pisos, muros o divisiones macizas, ocultas en el interior de paredes o divisiones huecas (paneles, tabiques), vertical u horizontalmente, deberán cumplir con lo siguiente:

a) Las tuberías de gas, deberán ser continuas, flexibles, de una sola pieza o tramo único, o bien, estar unidas mediante soldadura fuerte, sin estar aseguradas en forma rígida y no deberán disponer de elementos de operación, accesorios de tuberías, roscas de rotación libre, coplas con rosca derecha e izquierda, bujes, uniones emboquilladas, coplas por compresión realizadas por combinación de accesorios, ni otro tipo diferente a los ya mencionadas.

b) Sistema de Protección.

La tubería de gas deberá estar mecánicamente protegida a lo largo de toda su longitud al interior de la pared total, para lo cual deberá estar alojada al interior de una funda, denominada vaina, o de un conducto, los cuales deberán cumplir los siguientes requisitos, según corresponda:

b.1 Vainas

i. Deberán ser de acero con un espesor de, al menos, 1,5 (mm) u otro material de similar resistencia mecánica y compatible con el material de la tubería de gas.

ii. Deberá ser de una sola pieza o tramo único, continua y estanca en todo su recorrido, convenientemente fijada mediante elementos de sujeción.

iii. Dispuesta de manera que no esté en contacto con las estructuras metálicas del edificio, ni con otras tuberías, a manera de evitar la corrosión galvánica.

iv. Sus extremos deberán comunicar con el exterior de la pared o división hueca del recinto en que se encuentra instalada, extendiéndose al menos 10 (cm) más allá de las penetraciones ocultas de bridas, cortafuegos, montantes de pared, etc., o bien, con un extremo en tales condiciones y el otro sellado a la tubería, de manera tal que impida cualquiera eventual fuga de gas al exterior.

v. Para el caso de tuberías que atraviesen perpendicularmente paredes, pisos, muros o divisiones macizas, se podrá utilizar vainas de acero o de material plástico no propagador de llama y con un diámetro interior superior a lo menos en 10 mm al diámetro exterior de la tubería de gas

Artículo 47 Colgadores, Soportes y Anclajes

47.1 Las tuberías de gas no deberán sujetar otras tuberías de gas.

47.2 Las tuberías de gas deberán ser ancladas para evitar que se produzcan tensiones indebidas en los artefactos conectados.

47.3 Las tuberías se deberán fijar con soportes para tubos, flejes y bandas de metal para tubos, colgadores o porta tubos de dimensiones acorde al tamaño de los mismos, de adecuada resistencia y calidad, ubicados a intervalos tales que eviten o amortigüen la excesiva vibración.

47.4 La distancia entre los soportes de las tuberías de las instalaciones de gas no deberá ser mayor que la indicada en la Tabla XII. Soporte de las tuberías.

Tubo Rígido Diámetro nominal	Distancia entre Soportes (m)	Tubo Semirrígido Diámetro nominal	Distancia entre Soportes (m)
1/2	1,8	1/2	1,2
3/4 o 1	2,4	5/8 o 3/4	1,8
1 1/4 o mayor (horizontal)	3	7/8 o 1	2,4
1-1/4 o mayor (vertical)	cada nivel de piso		

Tabla XII.
Soporte de las Tuberías.

47.5 Los soportes, colgadores y anclajes se deberán instalar de modo de no interferir con la libre expansión y contracción de las tuberías ubicadas entre los anclajes. Todas las partes de los equipos de sostén deberán estar diseñadas e instaladas de modo de no soltarse debido al movimiento de las tuberías sustentadas.

Artículo 48 Cambios de dirección de la Tubería de Gas

Los cambios de dirección en el tendido de la tubería de gas se deberán realizar mediante el concurso de accesorios, curvas realizadas en fábrica o in situ, cambios que deberán cumplir con los requisitos que se disponen a continuación.

b) Redes a la vista.

b.1 Tuberías en exterior.

Las tuberías al exterior, no deberán estar expuestas a eventuales daños mecánicos, entre otros, golpes de vehículos, maquinarias o equipos en movimiento, en caso contrario, el tendido de las tuberías de gas deberá considerar protecciones, entre otras, defensas, barandas o barreras, que impidan un golpe directo sobre éstas.

Las tuberías de cobre, que se monten sobre la superficie y a una altura de hasta 1,80 (m), medidos desde el nivel del terreno o piso, deberán serlo al interior de vainas u otro sistema de similares características, que proteja la tubería de golpes.

b.2 Fijación de Tuberías a la vista.

i. Las tuberías de gas no deberán estar sujetas, colgadas, amarradas o fijadas a otras tuberías existentes, ya sean de conducción de agua, vapor u otros, ni a instalaciones eléctricas.

ii. Las tuberías deberán ser ancladas para evitar que produzcan tensiones indebidas en los equipos conectados.

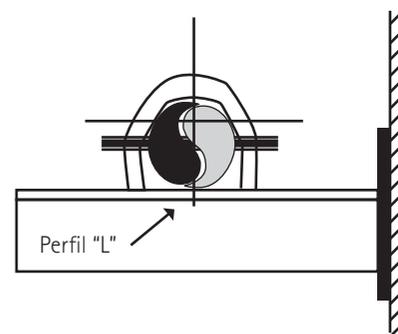
iii. Las tuberías de gas se deberán fijar con soportes para tubos, flejes y bandas de metal para tubos, colgadores o portatubos de dimensiones acorde al tamaño de las mismas, de resistencia, calidad y ubicados a intervalos tales que eviten o amortigüen la excesiva vibración o deflexión de las tuberías.

iv. Los soportes, colgadores y anclajes se deberán instalar de modo de no interferir con la libre expansión y contracción de las tuberías ubicadas entre los anclajes. Todas las partes de los elementos de fijación deberán ser instalados de manera de no soltarse debido al movimiento de las tuberías sostenidas por éstos.

v. Las tuberías de acero ASTM A-53 clase 40 y cobre tipo "L", deberán tener entre sus soportes una distancia que sea superior a la establecida en la Tabla XXIX. Soporte de las Tuberías.

vi. El tipo de perfil y abrazadera, según diámetro de tubería, se muestra en la Figura 27. Soporte de Tubería y está indicado en la Tabla XXX. Soporte de Tubería.

Fijación al muro soldada o apernada



Nota.
Los dibujos tienen sólo un carácter ilustrativo.

Figura 27.
Soporte de Tubería

vii. Las tuberías de gas aéreas se deberán aislar de sus soportes y/o estructuras de acero, por medio de un elemento plástico o similar, con el propósito de evitar el contacto directo entre la tubería y dichos elementos, especialmente en el caso de las tuberías de cobre.

viii. Cuando una tubería de gas atraviese, perpendicularmente el plano de una pared sólida, entre otras, de ladrillos, concreto o similar, el diámetro del orificio en ésta deberá ser mayor que el diámetro externo de la tubería, en aproximadamente 20 (mm), con el propósito de permitir su libre movimiento en caso de sismos.

Diámetro de la tubería	Distancia entre Soportes	
	Acero	Cobre
1/2	2,5	2
3/4	2,5	2
1	3	2,5
1 1/4	3	2,5
1 1/2	3,5	3
2	4	3,5
3	5,5	4
4	6	6
6	7	-
8	8,5	-

Tabla XXX
Soporte de Tubería.



4

Soluciones Sísmicas

A close-up photograph showing a person's hands using a silver adjustable wrench to tighten a brass fitting on a copper pipe. The pipe is part of a larger installation, with a white cabinet visible in the background. The scene is set against a dark, semi-transparent background that allows the text to be clearly visible.

Las opciones de tuberías de cobre y conectores entregan una amplia gama de variables que garantizan la seguridad y eficiencia constructiva en las instalaciones de agua y gas ante eventos sísmicos.

Esta sección presenta una serie de recomendaciones para la protección sísmica de tuberías de cobre, a efectos de prevenir los daños más comúnmente observados durante sismos, a saber:

- Deformación y/o daños de la tubería por deformaciones excesivas.
- Daños en uniones, codos, pasadas por muros o losas, y conexiones a equipos en línea.
- Daños de la tubería producto del impacto con elementos estructurales o no estructurales adyacentes, cuando no se encuentra debidamente anclada o arriostrada.
- Rotura de tubería y fugas del fluido transportado, produciendo interrupciones del servicio, y/o generando peligro para la vida de las personas y daño a la propiedad.

4.1 DISEÑO SÍSMICO DE SISTEMAS DE TUBERÍAS

El diseño sísmico de sistemas de tuberías debe cumplir los requisitos de la Norma Chilena NCh3357, vigente desde abril de 2015, que establece las fuerzas y desplazamientos sísmicos de diseño, y restantes requisitos que deben cumplir los componentes y sistemas no estructurales que se encuentran fijados de manera permanente en una estructura. La norma NCh3357 se basa en los contenidos de la Norma Técnica MINVU NTM-001, pero establece una serie de requisitos adicionales, como por ejemplo la amplificación dinámica del sismo vertical y la obligatoriedad de dar revisión por parte de un especialista inscrito en el registro de revisores de proyectos de cálculo estructural del MINVU, a los aspectos sísmicos de todos los proyectos de especialidades. La norma requiere definir un factor de importancia del sistema de tuberías I_p , que depende, fundamentalmente, del destino de ocupación de la estructura. El factor de importancia I_p tiene un valor igual a 1.5 en los siguientes casos:

- Se requiere que la tubería continúe en operación después de un sismo, para asegurar la protección de vidas humanas
- La tubería transporta gases nocivos para la salud.
- La tubería se encuentra en un recinto

que contiene materiales peligrosos, tóxicos o sustancias explosivas, que puedan constituir una amenaza para las personas.

- El sistema de tuberías pertenece a una estructura con categoría de ocupación III o IV según se define en la norma NCh433.Of96.Mod2009.

A todos los demás sistemas de fijación tuberías se les asigna un factor de importancia I_p igual a 1.

Los sistemas de fijación de sistemas de tuberías deben satisfacer los siguientes requisitos:

- Todas las tuberías, incluidos sus anclajes y arriostres deben ser diseñados para las fuerzas sísmicas que se definen en la sección 4.1.1 de este documento.
- Las pasadas a través de un piso deben permitir acomodar o resistir la deformación de entrepiso (D_p) determinada según se indica en la sección 4.1.3.
- Los anclajes deben contar con suficiente capacidad y ductilidad para evitar se produzcan daños en el material base.
- Todos los conectores del sistema de conexión tales como pernos, insertos, soldaduras y el cuerpo de la conexión deben ser diseñados para la fuerza F_p determinada de acuerdo a lo indicado en la sección 4.1.1 del presente documento, con valores de a_p y R_p tomados de la Tabla 4.1 del presente documento, aplicada en el centro de masa del componente o sistema no estructural.

Tabla 4.1
Valores de a_p y R_p para el cálculo de esfuerzos sísmicos en tuberías

SISTEMAS DE DISTRIBUCIÓN	a_p	R_p
Cañerías proyectadas de acuerdo a ASME B31, incluidos los fittings con uniones soldadas	2.5	8.0
Cañerías proyectadas de acuerdo a ASME B31, incluyendo fittings fabricados con materiales de alta o limitada deformabilidad con uniones con hilo, con adhesivo, coplas de compresión o acanaladas	2.5	4.0
Cañerías y tuberías que no estén de acuerdo a ASME B31, incluyendo fittings fabricados con materiales de alta deformabilidad con uniones soldadas	2.5	6.0
Cañerías y tuberías que no estén de acuerdo con ASME B31, incluyendo fittings, fabricados con materiales de deformabilidad alta o limitada con uniones con hilo con pegamento con coplas de compresión o acanaladas	2.5	3.0

4.1.1 fuerzas sísmicas de diseño

Una vez que se ha determinado el factor de importancia de un componente, la fuerza sísmica horizontal de diseño F_p , que debe ser capaz de soportar el sistema de tuberías diseñado en conformidad con la norma NCh3357, queda determinada por la ecuación 4.1:

$$\frac{0.3\alpha_{AA}I_pW_p}{g} \leq F_p = \frac{0.4\alpha_p\alpha_{AA}W_p}{g \left(\frac{R_p}{I_p}\right)} \left(1+2\frac{z}{h}\right) \leq \frac{1.6\alpha_{AA}I_pW_p}{g} \quad (4.1)$$

donde:

α_{AA} : Parámetro del espectro de pseudo-aceleración de diseño, definido en la norma NCh3357, para suelos clasificados en conformidad con DS 61 de 2011.

α_p : Factor de amplificación dinámica, valores en la Tabla 4.1.

W_p : Peso del componente, en condiciones de operación (tubería con agua, gas, u otro).

R_p : Factor de modificación de la respuesta, definido en NCh3357, valores en la Tabla 4.1.

z : Altura del punto de fijación del componente en la estructura con respecto a la base. Para componentes fijados en o bajo la base, se debe considerar $z=0$. No es necesario considerar valores de z/h mayores que 1.

h : Altura promedio del nivel del techo de la estructura con respecto a la base.

g : Aceleración de gravedad en cm/s^2 .

El valor de α_{AA} se determina en función del tipo de suelo, como se presenta en la Tabla 4.2:

Tipo de Suelo	α_{AA} (cm/s^2)
A	977 Z
B	1101 Z
C	1144 Z
D	1455 Z
E	1576 Z

Tabla 4.2: Parámetro α_{AA} del Espectro de Pseudo-Aceleración.

El valor de Z depende de la zona sísmica en que se encuentra la estructura en la cual se implementa el componente o sistema, y queda definido en la Tabla 4.3:

Zona sísmica	Z
1	0.50
2	0.75
3	1.00

Tabla 4.3: Factor Z de modificación del Espectro de Pseudo-Aceleración.

La fuerza sísmica horizontal de diseño, F_p , debe ser aplicada de manera independiente en, al menos, dos direcciones ortogonales, en combinación con las cargas de servicio del componente. Adicionalmente, se debe diseñar el componente considerando una fuerza vertical, F_{pv} , concurrente con las fuerzas sísmicas horizontales, y que se define en la ecuación 4.2:

$$F_{pv} = \pm \frac{0.24\alpha_{AA}W_p}{g} \quad (4.2)$$

La fuerza vertical de diseño F_{pv} definida por la ecuación 4.2 debe ser multiplicada por un factor de amplificación dinámica igual a 2.5, a menos que se demuestre mediante análisis que se puede considerar una amplificación de la demanda sísmica vertical distinta.

En forma alternativa, se permite que la aceleración en cualquier nivel sea determinada utilizando los procedimientos de análisis modal espectral indicados en las normas NCh433.Of96.Mod2009 o NCh2745, según corresponda. Para este caso, la fuerza sísmica horizontal de diseño queda determinada por la ecuación 4.3:

$$F_p = \frac{\alpha_p\alpha_{me}W_p}{\left(\frac{R_p}{I_p}\right)} A_x \quad (4.3)$$

donde:

α_{me} : Aceleración en el nivel de fijación de la tubería (en unidades de g), obtenida mediante análisis modal espectral considerando que el factor de modificación de la respuesta estructural tiene un valor igual a 1.

A_x : Factor de amplificación torsional, calculado con la ecuación 4.4:

$$1 \leq A_x = \left(\frac{\delta_{m\acute{a}x}}{1.2\delta_{avg}}\right) \leq 3 \quad (4.4)$$

donde:

$\delta_{m\acute{a}x}$: Máximo desplazamiento sísmico lateral en el nivel de fijación del componente, obtenido mediante análisis modal espectral.

δ_{avg} : Valor promedio de los desplazamientos sísmicos laterales en los puntos extremos del nivel de fijación del componente, obtenido mediante análisis modal espectral.

Una segunda alternativa es calcular F_p mediante la ecuación 4.5:

$$F_p = \frac{\alpha_p\alpha_{th}W_p}{\left(\frac{R_p}{I_p}\right)} \quad (4.5)$$

donde:

α_{th} : Aceleración en el nivel de fijación del componente (en unidades de g), determinada mediante análisis de respuesta en el tiempo realizado de acuerdo a lo indicado en el Anexo A de NCh3357.

Para cualquiera de los tres casos anteriores, los límites superior e inferior de la fuerza F_p quedan determinados por los límites indicados en la ecuación 4.1.

4.1.2 Desplazamientos sísmicos de diseño

Los desplazamientos sísmicos relativos a considerar para el diseño sísmico de tuberías quedan determinados por la ecuación 4.6:

$$D_{pl} = D_p I \quad (4.6)$$

donde:

D_{pl} : Desplazamiento sísmico relativo.

I : Coeficiente de importancia dependiente de la categoría sísmica del edificio, según Tabla 6.1 de norma NCh433.Of1996.Mod2009.

El desplazamiento D_p de diseño, para una tubería con dos puntos de conexión en una misma estructura o en el mismo sistema estructural, uno a altura h_x y otro a altura h_y , se determina usando la ecuación 4.7:

$$D_p = \delta_{xA} - \delta_{yA} \leq 0.0085(h_x - h_y) \quad (4.7)$$

El desplazamiento D_p de diseño, para una tubería con puntos de conexión en dos estructuras A o B o en sistemas estructurales distintos, uno de ellos a una altura h_x y el otro a una altura h_y , se determina usando la ecuación 4.8:

$$D_p = \left| \delta_{xA} \right| + \left| \delta_{yB} \right| \quad (4.8)$$

El valor de D_p no requiere ser mayor que:

$$D_p = 0.0085(h_x + h_y) \quad (4.9)$$

En las ecuaciones anteriores:

h_x : Altura del nivel x al cual está unido el punto de conexión superior.

h_y : Altura del nivel y al cual está unido el punto de conexión inferior.

δ_{xA} : Desplazamiento horizontal de la estructura A en el nivel x.

δ_{yA} : Desplazamiento horizontal de la estructura A en el nivel y.

δ_{yB} : Desplazamiento horizontal de la estructura B en el nivel y.

Los desplazamientos horizontales deben ser determinados de acuerdo a lo indicado en las normas NCh433.Of96.Mod2009 o

NCh2745, según corresponda, considerando que el factor de modificación de la respuesta es igual a 1. De forma alternativa, se pueden calcular los desplazamientos realizando análisis de respuesta en el tiempo como se indica en el Anexo A de la norma NCh3357.

Los efectos de los desplazamientos sísmicos relativos deben ser considerados en combinación con los desplazamientos originados por otras cargas actuando sobre la tubería.

4.1.3 Colganteo, arriostre y anclaje de componentes no estructurales

Los sistemas de tuberías deben estar fijos a la estructura resistente de acuerdo a los requisitos establecidos en la sección 7 de la norma NCh3357. La unión debe satisfacer los requisitos de la normativa correspondiente al material utilizado.

Se debe generar una línea de transferencia de carga con suficiente resistencia y rigidez entre sistema portante del sistema de tuberías y la estructura de soporte. Las fuerzas transmitidas por el componente son aquellas determinadas en conformidad con la sección 6.1 de la norma NCh3357, descrita en la sección 4.1.1 de este documento.

Los documentos de diseño (memorias de cálculo, planos, especificaciones técnicas, checklist de instalación, entre otros) deben incluir información suficiente relacionada con las uniones, conexiones y anclajes, a efectos de verificar el cumplimiento de los requisitos de la norma.

La fuerza en la unión debe ser determinada en base a las fuerzas prescritas para los componentes no estructurales, tal como se describe en la sección 4.1.1, pero no se debe considerar un factor de modificación de la respuesta R_p mayor a 4.

Los anclajes en hormigón deben ser diseñados de acuerdo al Apéndice D del código ACI 318. Los anclajes deben ser diseñados, para que su resistencia quede controlada por la capacidad resistente de un elemento dúctil de acero.

Los anclajes en albañilería deben ser diseñados de acuerdo a TMS 402/ACI 530/ASCE 5. Los anclajes deben ser diseñados para que su resistencia quede controlada por la capacidad resistente de un elemento dúctil de acero.

Se permite diseñar los anclajes de manera que el elemento conectado por el anclaje a la estructura fluya dúctilmente para un nivel de carga correspondiente a fuerzas en los anclajes no mayores que la resistencia de diseño de los anclajes. Alternativamente, la resistencia de diseño de los anclajes debe ser, a lo menos, igual a 2.5 veces las fuerzas mayoradas transmitidas por el componente.

Los anclajes post instalados para hormigón y albañilería deben estar precalificados para aplicaciones sísmicas de acuerdo a ACI 355.2 u otros procedimientos de calificación estandarizados, reconocidos a nivel nacional o internacional.

No se deben utilizar fijaciones de impacto para componentes sometidos a cargas de tracción permanentes o para arriostramientos sísmicos, a menos que ellas estén aprobadas para cargas sísmicas por medio de procedimientos estandarizados reconocidos a nivel nacional e internacional.

En el caso de emplear liras de dilatación u omegas para cruzar juntas de dilatación, estas deben ser verificadas para los desplazamientos indicados en la NCh3357.

4.2 SOLUCIONES DE COLGANTEO, ARRIOSTRE Y ANLAJE DE SISTEMAS DE TUBERÍAS

Los sistemas de colgadores, arriostre y anclaje de sistemas de tuberías deben ser diseñados por un Ingeniero Estructural para resistir los esfuerzos sísmicos detallados la sección 4.1 de este documento. En caso de tuberías conectadas a equipos en línea, estas deben ser diseñadas de manera de proveer la flexibilidad necesaria para acomodar desplazamientos sísmicos relativos. En la Figura 4.1 se muestra un esquema de los distintos tipos de soluciones para fijación y cruces por juntas de dilatación.

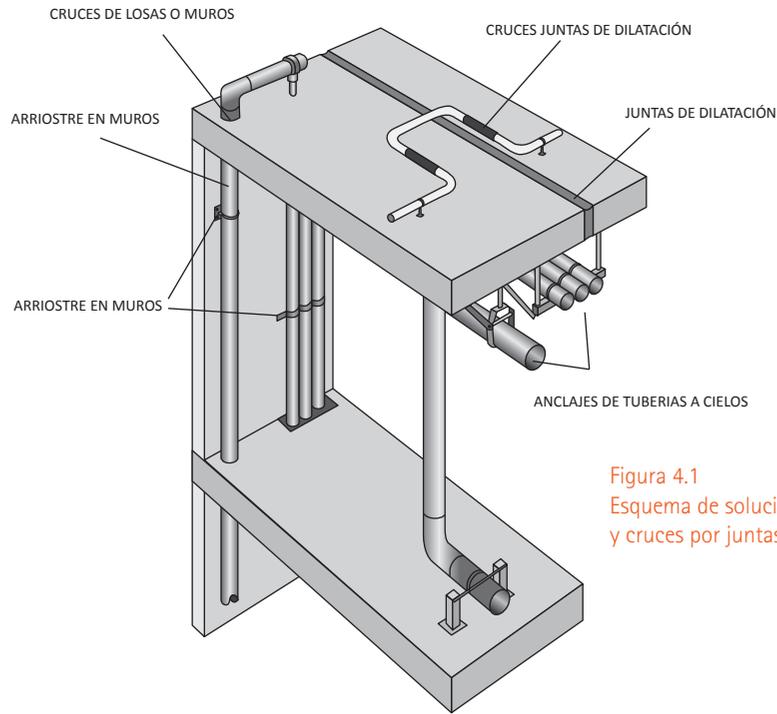


Figura 4.1
 Esquema de soluciones de fijación y cruces por juntas de dilatación.

4.2.1 Colganteo, arriostre y anclaje de tuberías a cielos

Se recomienda que el cuelgue, arriostre y anclaje de tuberías a cielo se realice utilizando sistemas como los especificados en la sección 9.3.7 del estándar NFPA 13. Si

bien dichas recomendaciones aplican a sistemas de protección contra incendio, son recomendadas para sistemas de tuberías que transporten agua o gas. En las Figuras 4.2 y 4.3 se muestran soluciones de sistemas de colganteo, arriostre y anclaje para tuberías. La Figura 4.2 muestra un

sistema de arriostre rígido, mientras que la Figura 4.3 muestra un sistema de arriostre con cables. En conformidad con las buenas prácticas, se debe utilizar sistemas de arriostre estandarizados y certificados. Se ilustran los distintos tipos de colgadores disponibles para ambos sistemas.

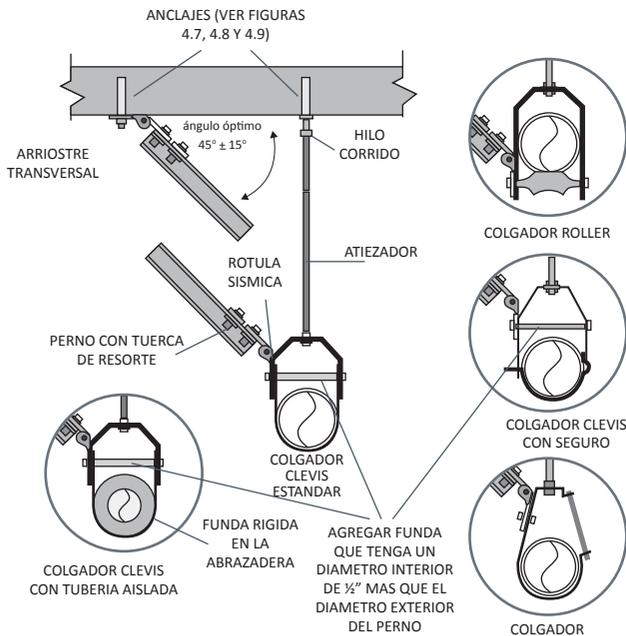


Figura 4.2
 Sistema de arriostre de tubería rígido.

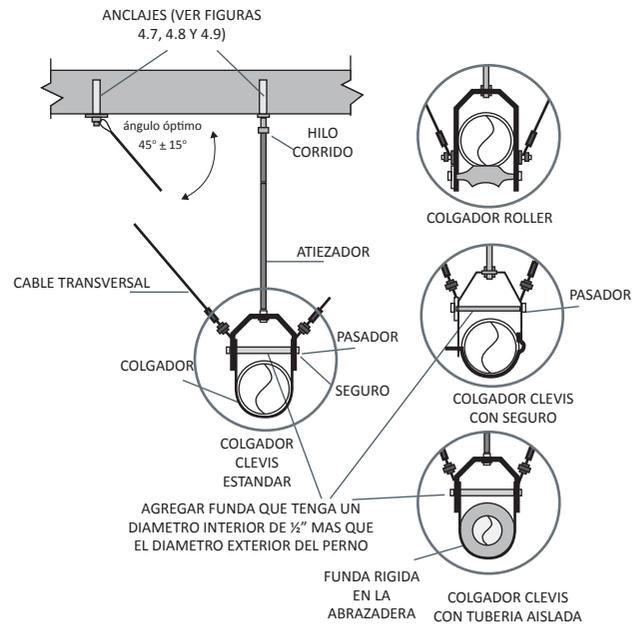


Figura 4.3
 Sistema de arriostre de tubería con cables.

En general, un sistema de arriostre de una tubería o de un grupo de tuberías (ver Figuras 4.4 y 4.5) se compone de arriostres usados para restringir los movimientos longitudinal y transversal, que pueden ser rígidos (ver Figuras 4.2 y 4.5) o flexibles (ver Figuras 4.3 y 4.6), y una barra de acero con hilo incorporado (varilla roscada) a la cual se conecta el canastillo o trapecio (ver

Figuras 4.2, 4.3, 4.5 y 4.6). Todos los elementos deben ser debidamente anclados a la losa de hormigón, como se muestra en las Figuras 4.7, 4.8 y 4.9, utilizando sistemas de anclaje que cuenten con certificación sísmica. Los anclajes deben ser diseñados para resistir los esfuerzos calculados mediante la metodología establecida en la sección 4.1 de este documento. Las varillas

roscadas deben contar, en los casos que sea necesario, con elementos rigidizadores que permitan prevenir el pandeo por compresión de la varilla. Además, se debe tener en consideración espaciamientos adecuados para evitar el impacto de las tuberías con otros elementos estructurales o no estructurales durante el sismo.

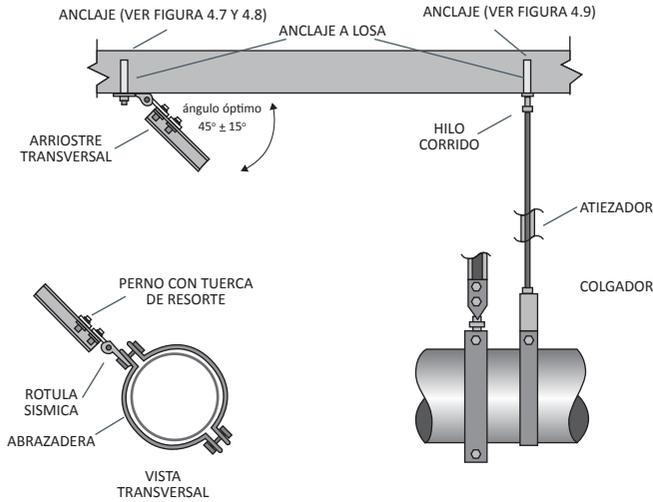


Figura 4.4
Sistema de anclaje y arriostre rígido de tubería individual.

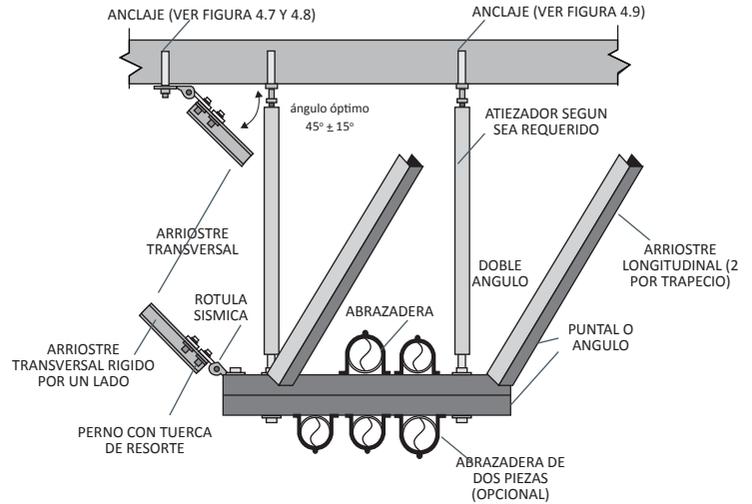


Figura 4.5
Sistema de anclaje y arriostre rígido de un conjunto de tuberías.

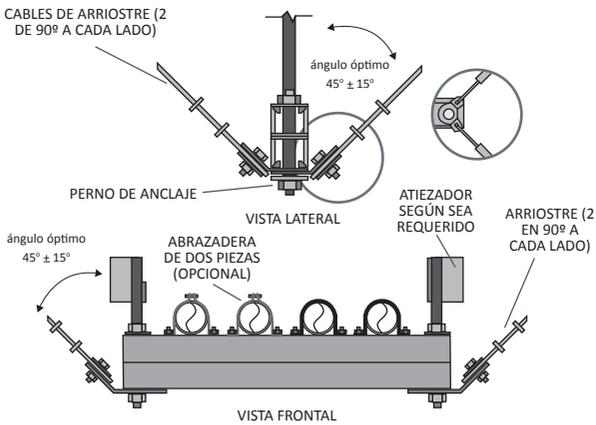


Figura 4.6
Sistema de arriostre con cables para un conjunto de tuberías.

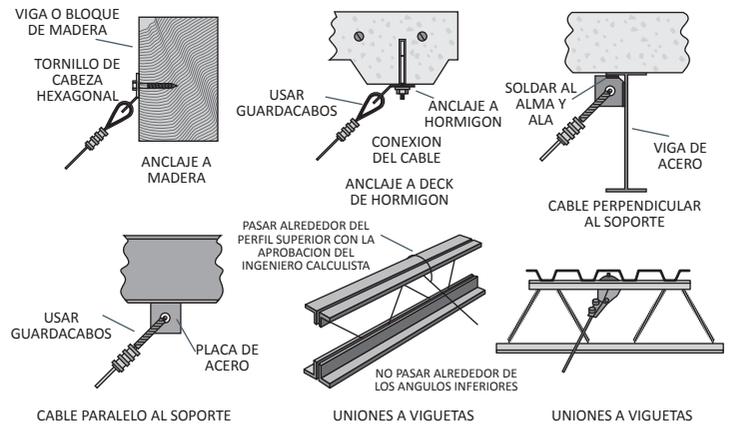


Figura 4.7
Ejemplos de fijación de arriostres con cables según estructura portante.

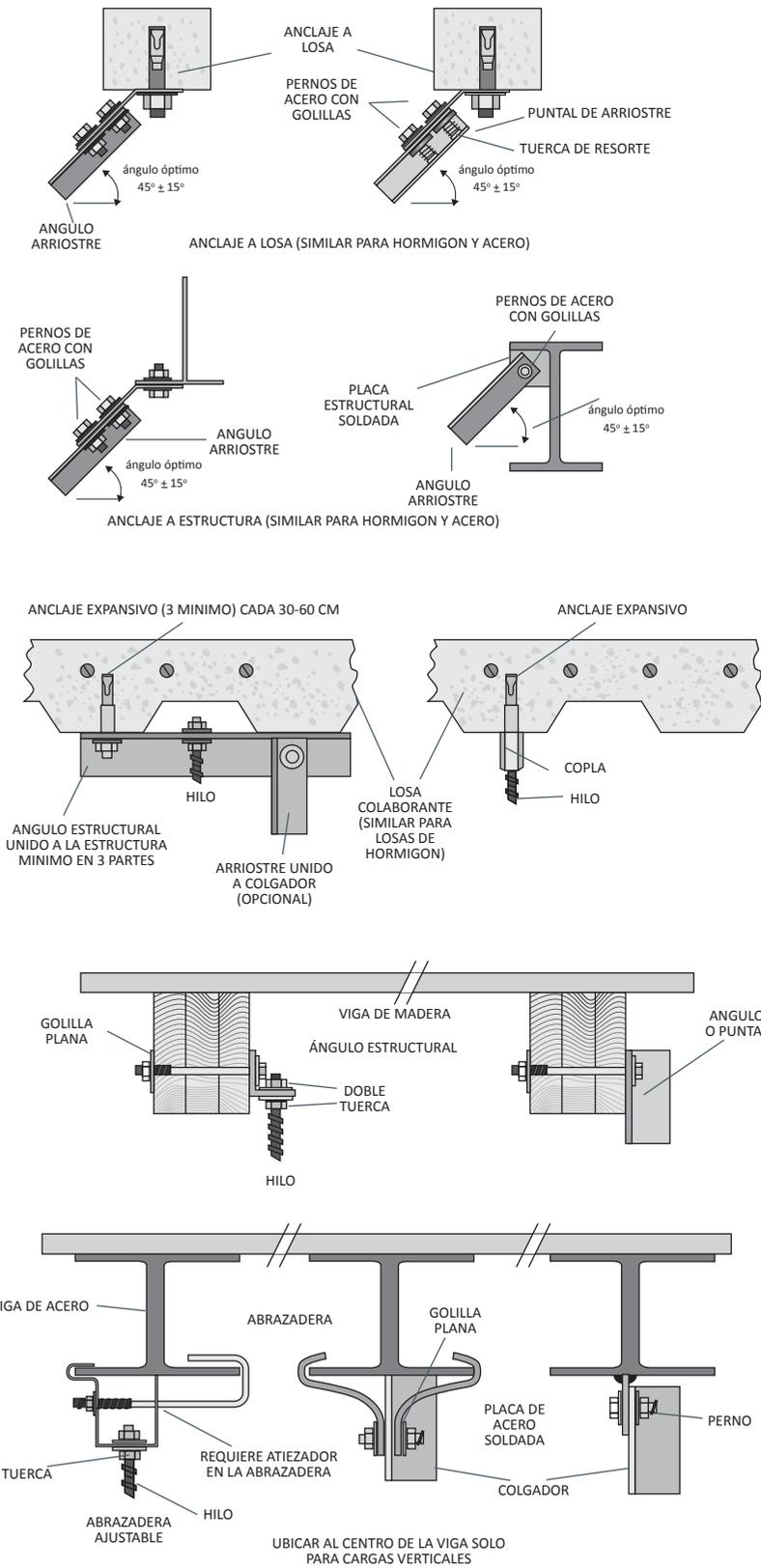


Figura 4.8
Ejemplos de anclaje para sistemas de arriostre rígido según estructura portante.

Figura 4.9
Anclaje del colgador.

4.2.2 Anclaje en pasadas de losas

En cuanto a los cruces de tuberías de gas a través de losas de hormigón, el Decreto Supremo DS 66 "Reglamento de instalaciones e instalaciones interiores y medidores de gas", establece en el artículo 46.5.1 que todo corte, ranura u otra interrupción de la losa (elemento estructural) para realizar un conducto, deberá ser autorizado mediante un informe preparado por un ingeniero estructural. También señala en el artículo 46.5.23 V que para realizar el cruce de debe utilizar una vaina de acero o material plástico no propagador de llama, la cual, debe tener un diámetro interior al menos 10 mm mayor que el diámetro exterior de la tubería que atraviesa (ver Figura 4.10). Si bien estas recomendaciones son para tuberías de gas es posible hacerlas extensivas a tuberías de agua.

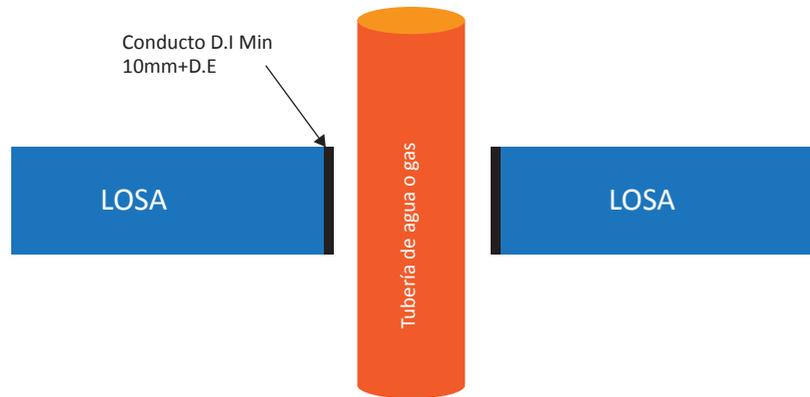


Figura 4.10
Conducto de pasada para tubería de gas (DS 66)

Este tipo de solución es bastante simple de ejecutar en obra y de costo relativamente bajo, pero no exento de desventajas. Entre las desventajas de este tipo de solución, están el ruido que se puede generar por el golpeteo de la tubería y la vaina, ya que la tubería no se encuentra necesariamente arriostrada, producto del movimiento natural de la tubería frente a cambios de presión y temperatura. El otro problema de esta solución, desde el punto de vista sísmico, es que no provee un arrioste efectivo a la tubería, lo que durante un sismo puede producir deformaciones más allá de las contempladas en el diseño de la tubería y producir daños en ésta.

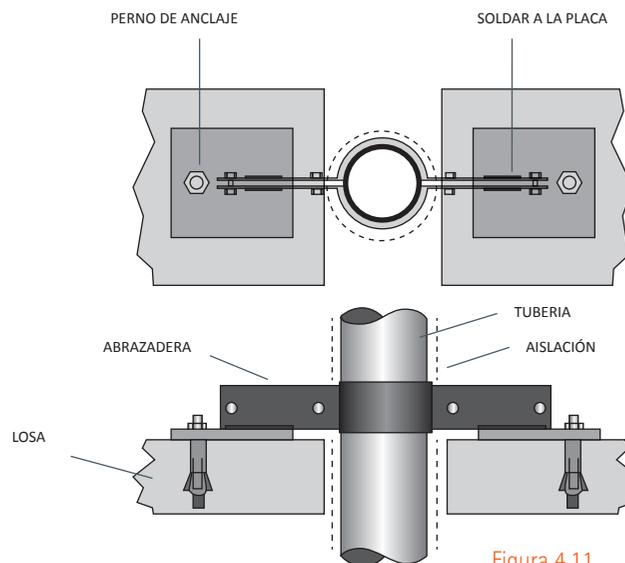


Figura 4.11
Solución de pasada de losa diseñada para mitigar daños producto de sismos.

Debido a lo anterior, resulta buena práctica restringir el movimiento de la tubería en las pasadas de losas, a fin que durante un sismo esta no se golpee contra la losa. En la Figura 4.11 se ilustra esta solución, la cual se compone de una abrazadera unida a una placa por medio de soldadura, fija a la losa mediante anclajes. En el caso de las tuberías de cobre se considera adicionalmente un encamizado de la tubería para su protección (ver Figura 4.12). Los esfuerzos de diseño para los anclajes se pueden obtener usando la metodología descrita en el punto 4.1 de este documento.

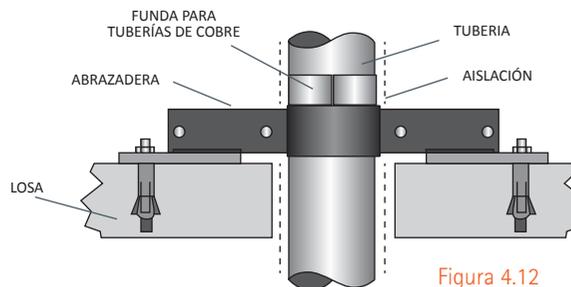
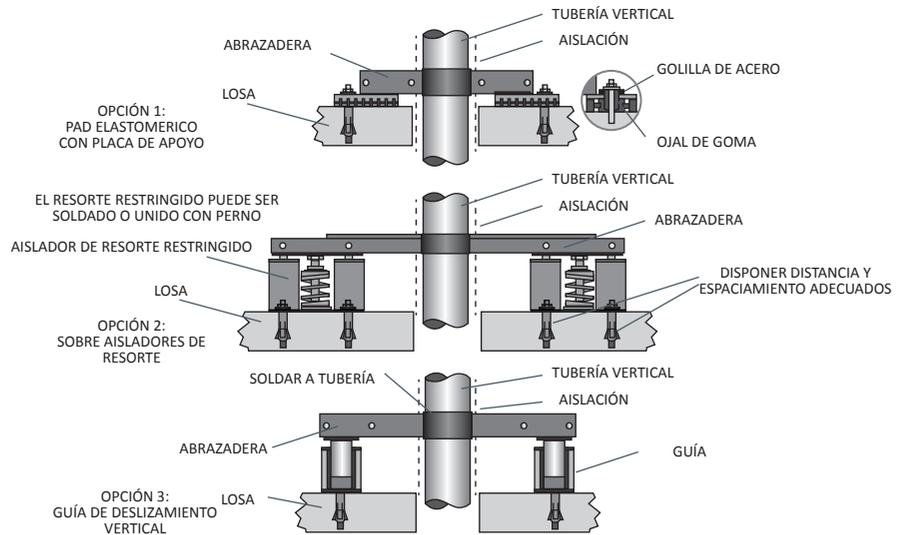


Figura 4.12
Solución de pasada de losa para tuberías de cobre.

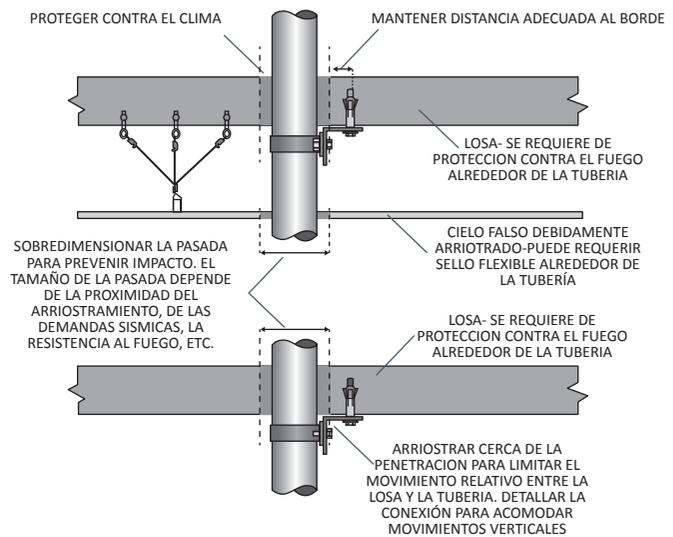
Adicionalmente, existen otras configuraciones de este sistema de anclaje que, al igual al descrito, permiten acomodar esfuerzos sísmicos y disminuir eventuales daños de las tuberías durante un sismo. En la Figura 4.13 se muestran tres tipos de configuraciones: una con pads elastoméricos, otra soportada sobre resortes que se encuentran restringidos frente a movimientos horizontales, y uno con guías de deslizamiento vertical.

Figura 4.13
Configuraciones alternativas de la solución de pasada de tubería por losa.



Además de la solución descrita en las figuras anteriores, hay otros casos en los cuales la pasada debe ser aislada frente al ruido, incendio o clima. En estos casos la tubería debe ser arriostrada en la cara inferior de la losa, como se muestra en la Figura 4.14. Adicionalmente, el espacio libre entre la losa y la tubería debe ser relleno con un sello que provea aislamiento contra el clima, fuego o ruido, según sea necesario.

Figura 4.14
Solución de cruce de losa con aislante contra clima, incendio o ruido.

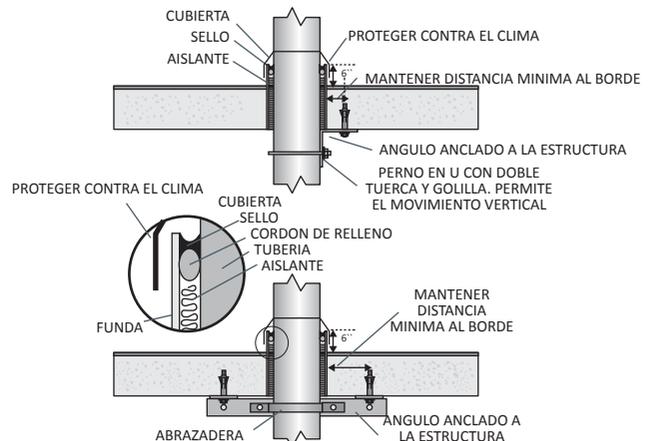


Se debe restringir el movimiento de la tubería en su penetración en la losa, para limitar el movimiento relativo entre la tubería y ésta. El cruce debe ser diseñado para acomodar los movimientos relativos verticales en caso de ser requerido.

En esta solución también se pueden usar pernos-U que permitan el movimiento vertical de la tubería.

Otra variación de esta solución, para el caso de cruces de losas de techo, es la que se muestra en la Figura 4.15. Esta versión de la solución de pasada de losa, incluye un sello climático alrededor de la tubería. Este sello se compone de aislamiento de fibra de vidrio, una cuerda de sello, un sello climático y finalmente un cortagotas, que evita que el agua caiga directamente en la interfaz de sellado. La tubería debe ser anclada a la cara inferior de la losa.

Figura 4.15
Solución de cruce de losa con sello climático.



4.2.3 Anclaje en pasadas de muros y tabiques

Existen dos formas de solucionar los cruces en elementos verticales tales como muros y tabiques, y prevenir el daño de la tubería en los cruces. La primera es realizar una pasada de diámetro suficientemente grande, tal que evite el contacto de la tubería con el muro. La segunda alternativa es arriostrar la tubería cerca de la pasada de tal manera que el muro y la tubería se muevan en conjunto. Las pasadas, en la medida de lo posible, deben ser sobredimensionadas. Muchas veces, por motivos arquitectónicos, esto no es posible. También se deben disponer de arriostres laterales en la tubería cerca del cruce, de manera de mantener la tubería alineada con el orificio de la pasada.

Cuando se requiera cruzar juntas de dilatación entre edificios o entre cuerpos de un mismo edificio, se deben utilizar soluciones como las que se detallan en el punto 4.3.

Cuando se realicen cruces en tabiques no estructurales, se debe coordinar con el arquitecto de manera de cumplir con los requisitos de sellado de la pasada contra incendio, ruido, clima o cualquier otra prestación que sea requerida.

En la Figura 4.16 se ilustra el cruce por un tabique, donde se puede apreciar que la tubería se encuentra arriostrada vertical y horizontalmente. La pasada a través del muro (estructural o no estructural) debe ser mayor en diámetro que la tubería, permitiendo el desplazamiento sísmico de la tubería sin impactar el muro. Se recomienda no realizar uniones dentro de las pasadas de muro para prevenir eventuales daños en caso de impacto entre la tubería y el muro.

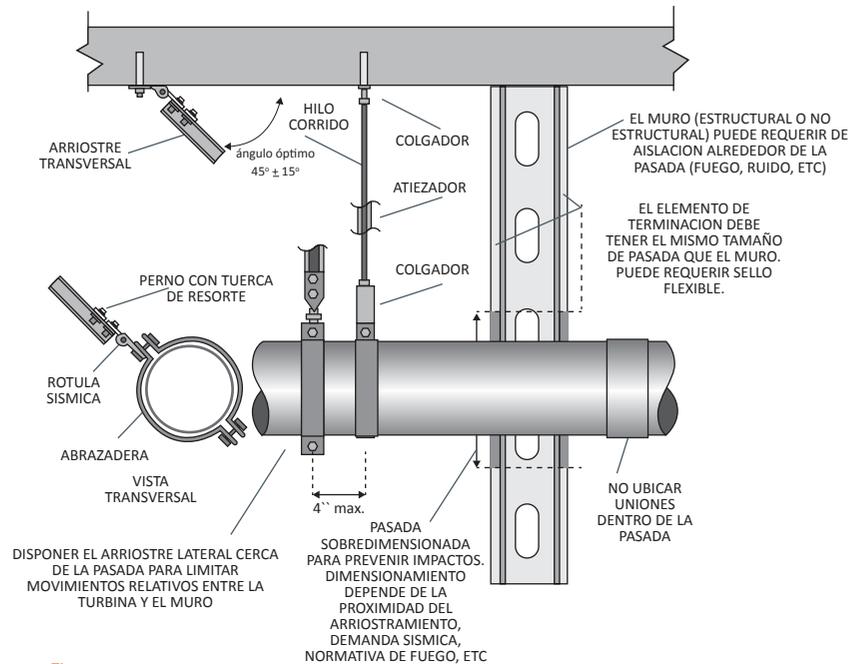


Figura 4.16
Solución de pasada por muro.

Al igual que en el caso de los cruces de tuberías de gas a través de losas de hormigón, en el caso de muros, el DS 66 establece en su artículo 46.5.1, que todo corte, ranura u otra interrupción de la losa (elemento estructural) para realizar un conducto, debe ser autorizado mediante un informe preparado por el ingeniero estructural.

4.2.4 Arriostres verticales y horizontales de la tubería

Las tuberías deben ser arriostradas en su longitud de manera de prevenir daños que se pudieran producir por movimientos propios de la tubería por efecto de cambios de temperatura o presión, así como también por movimientos sísmicos. El DS N° 66 establece en el artículo 47.4 que la distancia entre soportes de las tuberías de gas no debe ser mayor a la indicada en la Tabla 4.4. Estos requisitos podrían ser extendidos a tuberías de agua.

Además de los requisitos de soporte de las tuberías, como se ha mencionado anteriormente, es necesario arriostar las tuberías tanto de manera vertical como horizontal anclándolas a los muros ya sea de hormigón o tabiquería. Los esfuerzos sísmicos para los cuales se deben diseñar los anclajes de estos soportes, son los establecidos en el punto 4.1 de este documento. En caso de usarse anclajes o arriostres a tabiquerías, estas deben ser diseñadas para las cargas transmitidas por la tubería. A continuación, se muestran los detalles de soporte de tuberías tanto en vertical como en horizontal en las Figuras 4.17 a 4.20.

Diámetro Nominal [Pulg]	Tipo de tubería	Distancia entre soportes [m]
1/2	Rígido	1.8
1/2	Semi rígido	1.2
3/4 a 1	Rígido	2.4
5/8 a 3/4	Semi rígido	1.8
7/8 a 1	Semi rígido	2.4
1 1/4 o Mayor (Horizontal)	Rígido	3
1 1/4 o Mayor (Vertical)	Rígido	Cada Nivel de Piso

Tabla 4.4
Espaciamento de soportes de tubería Verticales / Horizontales

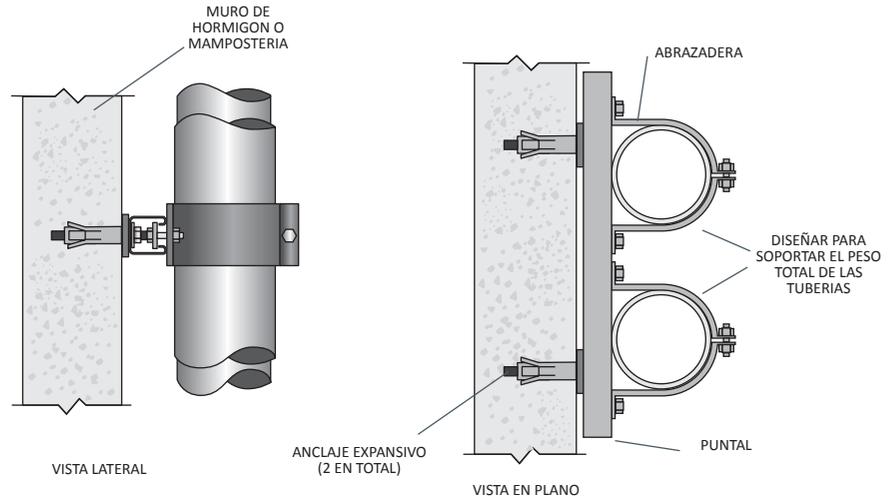


Figura 4.17
Arrioste de tubería en vertical con anclaje a muro

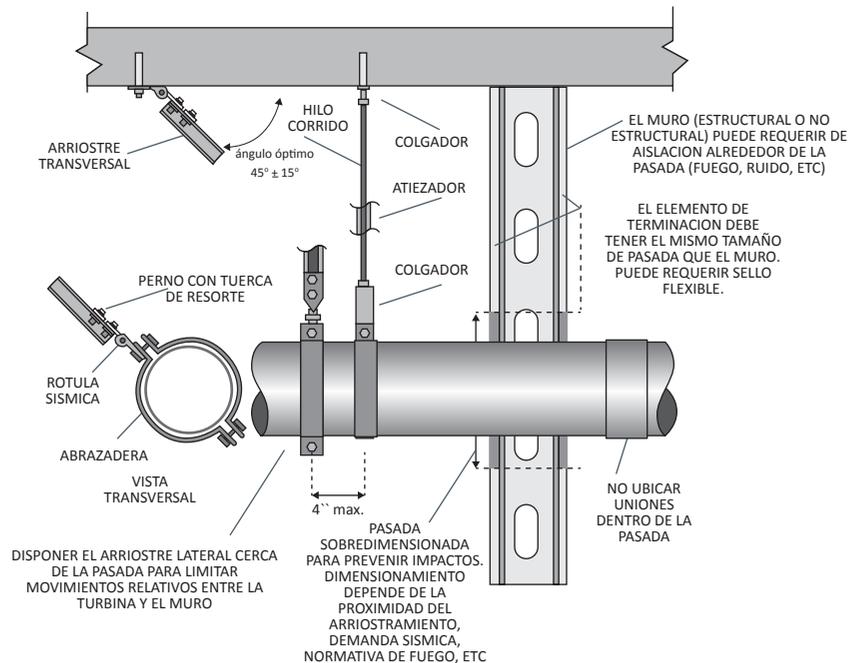


Figura 4.18
Arrioste de tubería en horizontal con anclajes a muro.

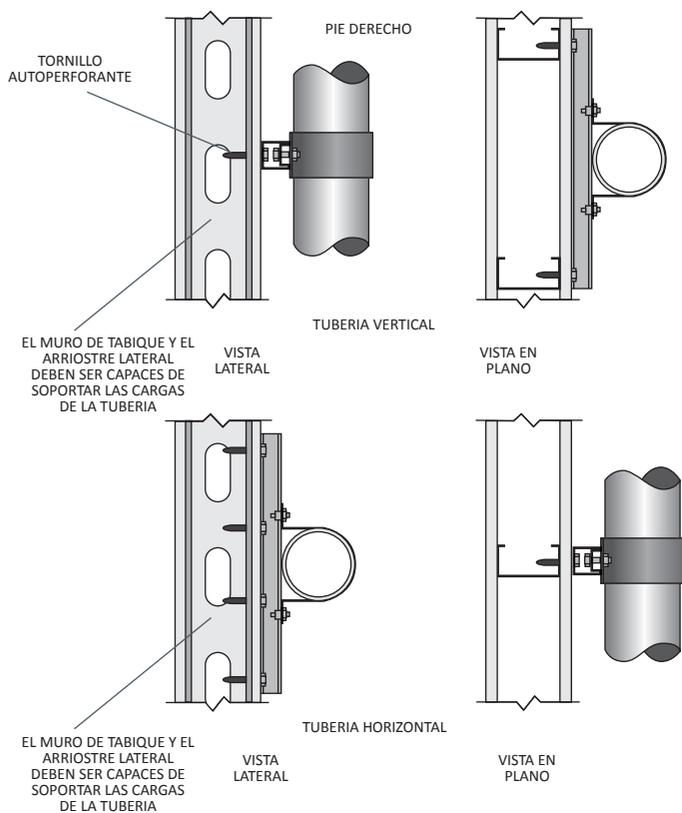


Figura 4.19
Arriostre tubería en vertical con anclaje a perfiles de tabiquería.

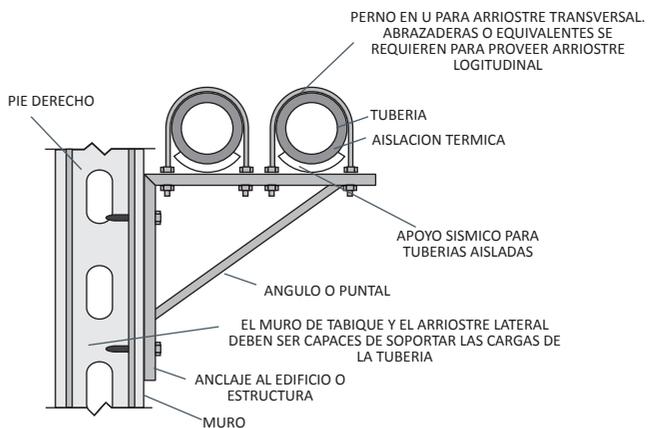


Figura 4.20
Arriostre tubería en horizontal con anclaje a perfiles de tabiquería.

4.3 SISTEMAS PARA CRUCES DE JUNTAS EN EDIFICIOS AISLADOS

Los edificios que cuentan con sistemas de aislación sísmica en la base se diseñan de manera que las demandas de desplazamientos sísmicos sean acomodadas por los aisladores sísmicos. De esta forma, los desplazamientos relativos de entrepiso de la súperestructura son relativamente bajos. Los tipos de cruces que se pueden dar en estas estructuras pueden ser de dos tipos: cruce entre edificios aislados y cruce entre un edificio aislado y uno de base fija.

El desplazamiento de diseño para los elementos utilizados para realizar los cruces de tuberías entre edificios no debe ser menor que la raíz de la suma de los cuadrados de las deformaciones (SRSS) esperadas en cada estructura. En el caso de edificios aislados se debe considerar el desplazamiento total máximo (DTM) determinado en conformidad con los requisitos de la norma NCh2745:2013 "Análisis y diseño de edificios con aislación sísmica". Para determinar el desplazamiento de un edificio de base fija, se recomienda considerar el mayor desplazamiento obtenido al utilizar las metodologías establecidas en las normas NCh3357 y NCh433.Of96.Mod2009, en conjunto con el D.S. 61 de 2011. Es importante señalar que todos estos análisis deben ser realizados por un ingeniero estructural y transmitidos al especialista encargado del diseño de las instalaciones de agua y gas, para determinar así la solución correspondiente. A continuación, se describen algunas soluciones que permiten acomodar las deformaciones esperadas en edificios aislados.

4.3.1 Sistemas V-Loop

Este sistema de configuración en V (ver Figura 4.21) se compone de dos conectores en sus extremos y dos flexibles de acero unidos por un codo en ángulo. Este sistema permite acomodar deformaciones absolutas entre $\pm 2"$ (5 cm) y $\pm 4"$ (10 cm) resistentes para diámetros de tuberías entre 2" y 12", según el tipo de conector que se utilice. Para conectores unidos con soldadura simple, este tipo de solución está disponible para tuberías de $\frac{1}{2}"$ hasta 4". En el caso de

conectores unidos por soldadura fuerte, este tipo de solución está disponible para tuberías de $\frac{1}{2}"$ hasta 12". También están disponibles con conectores mecánicos como los de hilo incorporado, entre otros.



Figura 4.21
Sistema V-Loop.

4.3.2 Sistemas U-Loop

El sistema de configuración en U (ver Figura 4.22) se compone de dos conectores en sus extremos y dos flexibles de acero unidos por un conector en U, y permite acomodar deformaciones absolutas entre $\pm 1.5"$ (3.8 cm) y $\pm 4"$ (10 cm) para diámetros de tuberías desde $\frac{1}{2}"$ a 4", según el tipo de conector que se utilice. Para conectores unidos con soldadura simple, este tipo de solución está disponible para tuberías de $\frac{1}{2}"$ hasta 4". Para aplicaciones de tuberías de gas, existe una solución de conectores unidos por soldadura fuerte, que se encuentra disponible para tuberías de $\frac{1}{2}"$ hasta 4". En general, estas soluciones son prefabricadas, pero si se requiere acomodar mayores desplazamientos las soluciones se diseñan y fabrican para acomodar las necesidades del proyecto.



Figura 4.22
Sistema U-Loop.

Este tipo de solución permite absorber movimientos laterales y angulares. No obstante, esta solución no está diseñada para resistir cargas de compresión axial o torque. Bajo compresión axial, los flexibles se relajan y la presión de trabajo disminuye, mientras que el torque introduce esfuerzos que pueden producir daños de los flexibles. Es por lo anterior que el sistema siempre se debe implementar en la orientación que minimice la compresión axial.

4.3.3 Sistema con triple flexible en U

Este sistema en configuración U se compone de tres flexibles unidos por codos y en cada uno de sus extremos un conector (ver Figura 4.23). El conector es compatible con sistemas de hilo incorporado o con sistemas de abrazaderas, lo que permite que su instalación o reemplazo post evento sísmico, en caso de ser requerido, sea muy simple

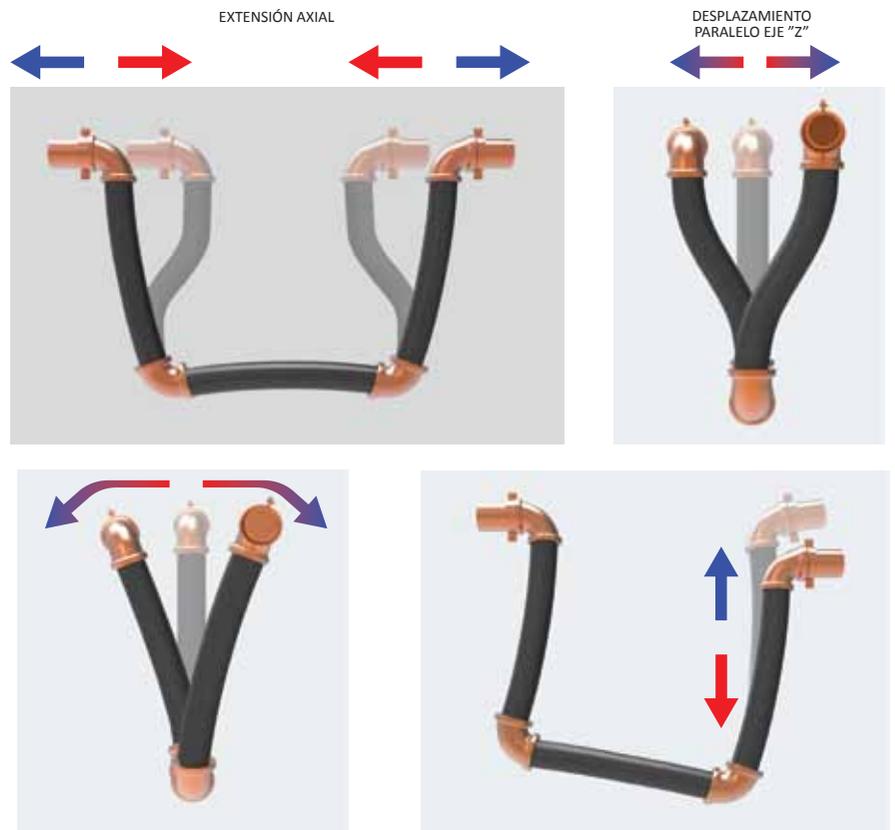


Figura 4.23
Sistema con triple flexible

DESPLAZAMIENTO
CON
ROTACIÓN EN EJE "X"

DESPLAZAMIENTO NO
PARALELO EN EJE "Y"

DESPLAZAMIENTO
ALEATORIO

Este sistema permite acomodar deformaciones de entre 2" (5 cm) y 8" (20 cm), dependiendo del diámetro y tipo de conector del triple, aunque también se pueden acomodar desplazamientos mayores. De esta manera se pueden mantener presiones de hasta 300 psi con un factor de seguridad 4 para diámetros entre 1" a 3", y de hasta 175 psi con un factor de seguridad 4 para diámetros de 4" a 12". Este sistema entrega 6 grados de libertad, pudiendo acomodar los movimientos tridimensionales causados por los sismos.

En la Figura 4.24 se muestra un esquema del funcionamiento de este tipo de solución y los movimientos que es capaz de controlar sin producir daños en el sistema al cual está conectado.

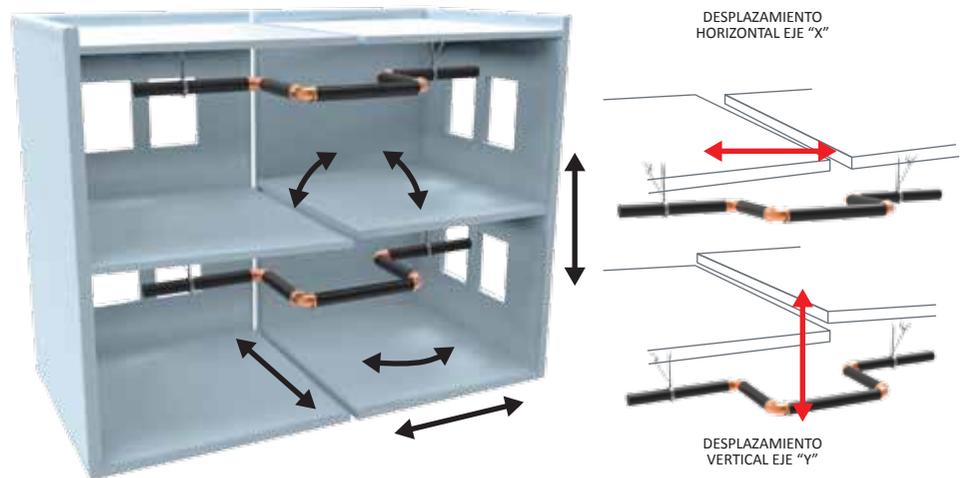


Figura 4.24
Esquema de movimientos que es posible
compensar con sistema de triple flexible.

4.3.4 Sistema Seismic Gator Joint

Este sistema se compone de un compensador axial unido en sus dos extremos por flexibles unidos a conectores rígidos. Este tipo de configuración permite al dispositivo desplazarse con 6 grados de libertad. En la Figura 4.25 se puede observar el sistema con conectores soldables, que también se encuentra disponible con conector de hilo incorporado y con conector con pernos. Este tipo de solución está disponible para diámetros de tuberías de 2" a 8" y es capaz de acomodar $\pm 4"$ (10 cm). Es capaz de soportar presiones de trabajo de hasta 150 psi (1034 kPa) y temperaturas de hasta 370 °C. En la Figura 4.25 se muestra el sistema en su estado de servicio y en la condición de funcionamiento durante un evento sísmico.



Figura 4.25
Sistema Gator Joint con
conectores soldables.

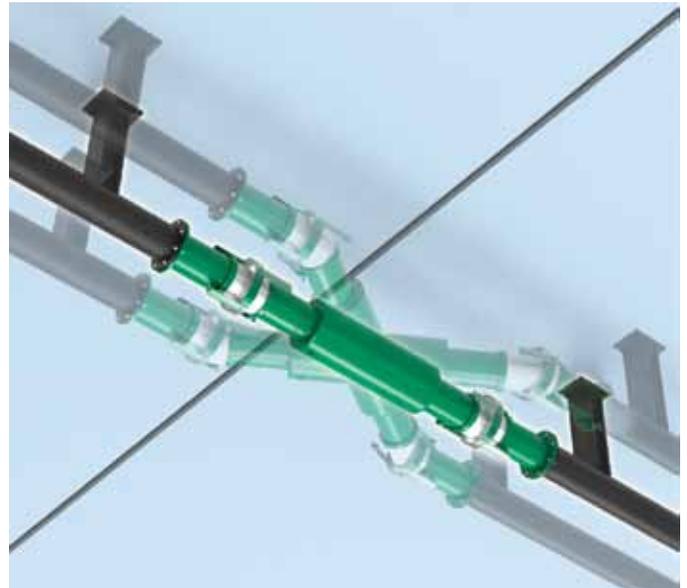
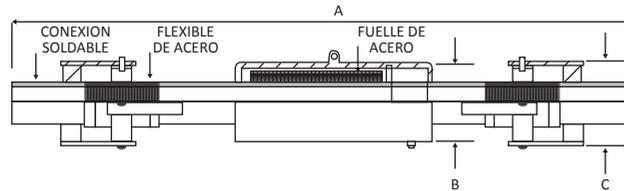


Figura 4.26
Sistema en condición normal de servicio (izquierda), sistema
en funcionamiento durante un evento sísmico (derecha).

5

Protección contra Incendio de pasadas de tuberías por elementos estructurales y no estructurales

El cobre es extremadamente resistente a la corrosión atmosférica, no es inflamable y no se descompone en gases nocivos para la salud. También posee alta resistencia mecánica, térmica y a la degradación UV.

Cuando se realizan pasadas a través de elementos estructurales o no estructurales, se debe considerar protección local para prevenir la propagación de incendios. Generalmente los sellos contra incendio proveen una barrera para la propagación de ruidos, así como también una aislación térmica entre las distintas zonas.

Las dos soluciones más comunes disponibles en el mercado son los sellos elastoméricos y las fundas. Los sellos elastoméricos son altamente flexibles por lo que son recomendables para aplicaciones sísmicas. Estas soluciones deben satisfacer los requisitos de los estándares UL/FM relativos a estanqueidad vertical y horizontal en caso de un incendio.

5.1 SELLOS ELASTOMÉRICOS RESISTENTES AL FUEGO

Los sellos elastoméricos deben admitir deformaciones de hasta un 33%, de acuerdo con UL2079, y deben ser resistentes al agua y a los rayos UV; y herméticos contra el humo, el gas y el agua. Además, deben encontrarse libres de disolventes y compuestos halógenos, a efectos de cumplir con requerimientos LEED para ambientes interiores. A continuación, se detallan dos ejemplos de pasadas por un elemento no estructural y por un elemento estructural tipo muro o losa.

Cruce de tubería de cobre por tabiquería

En un tabique como el mostrado en la Figura 5.1, con una tubería pasante de cobre de hasta 6" (152 mm), y con un espacio anular desde 0 hasta 7/8" (22 mm), se debe aplicar un cordón de al menos 1-1/4" (32 mm) de sellante, por ambas caras del muro. Este tipo de sello entrega una protección de 2 horas de exposición al fuego, manteniendo durante ese tiempo la integridad del sello.

Figura 5.1
Detalle pasada de tubería metálica en tabique de yeso-cartón.

Tubería de cobre en muro o losa de hormigón armado

En un muro o losa de hormigón armado, como el mostrado en la Figura 5.2, de un espesor mínimo de 4-1/2" (114 mm), con una abertura máxima de 12" (305 mm), y con una tubería pasante de cobre de hasta 4" (102 mm), con un espacio anular desde 0 hasta 1-1/4" (32 mm), se debe rellenar usando no menos de 4" de lana mineral de densidad 64 kg/m³ o superior, para luego aplicar un cordón de mínimo 1/2" (12 mm) de sellante por ambas caras del muro, o bien por la cara superior de la losa. Este tipo de sello entrega una protección de 2 horas de exposición al fuego, manteniendo durante ese tiempo la integridad del sello.

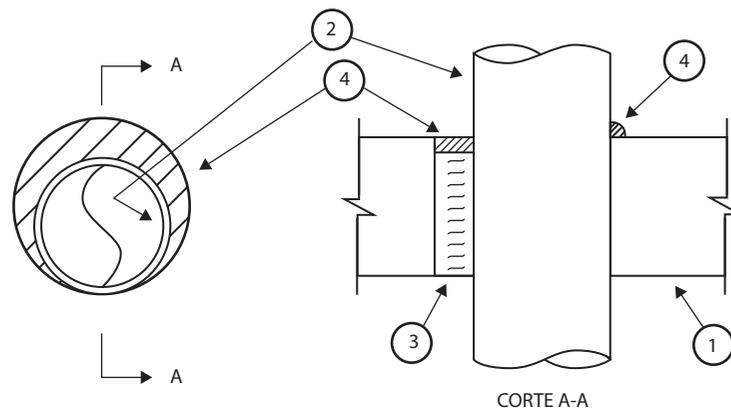
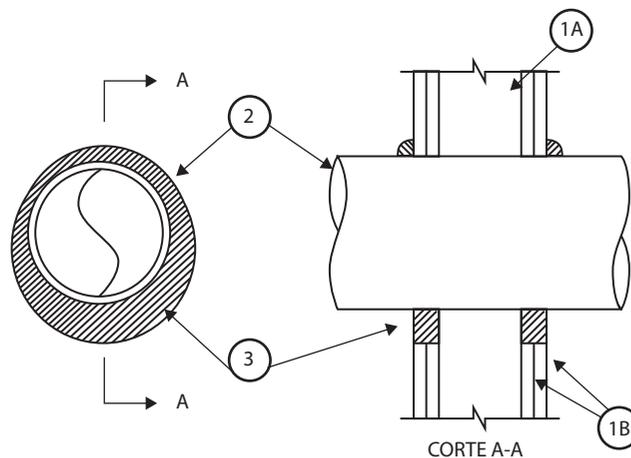


Figura 5.2
Detalle sellado de tubería a losa o muro de hormigón.



5.2 FUNDAS RESISTENTES AL FUEGO PARA TUBERÍAS

Las fundas resistentes al fuego, como la mostrada en la Figura 4.3, están diseñadas para restituir la resistencia al fuego del elemento que es atravesado por la tubería. Estas también proveen una barrera de protección acústica (Rw 49db) y térmica. Durante un incendio el material de la funda se expande radialmente, proveyendo protección contra la propagación del incendio a través de la pasada.



Figura 5.3
Funda para Tuberías Resistente al Fuego.

Estas fundas están disponibles, típicamente, en longitudes de 30 cm, y se pueden cortar a nivel de la cara exterior de muro o losa. En caso que la tubería considere otro tipo de aislación fuera de la pasada, se recomienda dejar 25 mm a cada lado para generar continuidad. Este tipo de fundas están disponibles en espesores de 25 a 100 mm y se fabrican para diámetros de tubería de 15 a 160 mm. Las fundas son capaces de acomodar irregularidades en la pasada de hasta 15 mm. La longitud mínima de instalación es de 60 mm. Este tipo de solución entrega una resistencia al fuego de 2 horas.

Este tipo de solución puede ser utilizado para temperaturas de operación de la tubería entre 0 y 180 °C. El material del cual están fabricadas las fundas mantiene su integridad en el tiempo y no es susceptible a podredumbre.

5.3 COMENTARIO SOBRE LA EXIGENCIA DE TRAZADOS DE TUBERÍAS DE GAS EN ESPACIOS COMUNES

La reglamentación vigente obliga a que las tuberías de gas se instalen a la vista o registrables, en espacios comunes de edificios, así como, en el interior de las viviendas en sectores que esta tubería se encuentra en paramentos contruidos con paneles huecos.

Esto si bien es por seguridad ante fugas de gas, para evitar explosiones, las hace muy vulnerables en caso de incendios, por este motivo es recomendable dejar establecido en un instructivo que, en caso de siniestro, se corte el suministro de gas en forma inmediata.

