

01	1 Proceso de producción _____	3
02	2 Laminado del tubo _____	4
03	3 Ventajas del producto _____	4
	Características y ventajas	4
04	4 Aplicaciones _____	5
05	5 Homologaciones _____	6
	5.1 ASTM	6
	5.2 AWWA	6
	5.3 Normas ISO y EN	6
	5.4 Control de materias primas	6
	5.5 Revisión de productos terminados	7
	5.6 Ensayos de conformidad	7
06	6 Diseño de sistemas de tubería enterrada _____	10
	6.1 Resumen	10
	6.2 Empuje hidrostático	12
	6.3 Ensayo hidrostático	12
	6.4 Sobrecarga de presión y golpe de ariete	12
	6.5 Valores de capacidad de carga	13
	6.6 Caudal	13
	6.7 Resistencia a los rayos UV	13
	6.8 Coeficiente de Poisson	13
	6.9 Temperatura	13
	6.10 Coeficiente térmico	13
	6.11 Coeficientes de flujo	14
	6.12 Resistencia a la abrasión	14
	6.13 Presión externa de colapsamiento	14
	6.14 Características hidráulicas	14
	6.15 Flujo del líquido	14
07	7 Gama de productos _____	16
	7.1 Clases de rigidez	16
	7.2 Presión	17
	7.3 Longitud	17
08	8 Montaje de tubos _____	17
	Otros sistemas de unión	18
09	9 Selección de tubos _____	20
10	10 Instalación general _____	22
11	11 Apéndice A / Guía ambiental para tubos _____	30

1 Proceso de producción

01

02

03

04

05

06

07

08

09

10

11

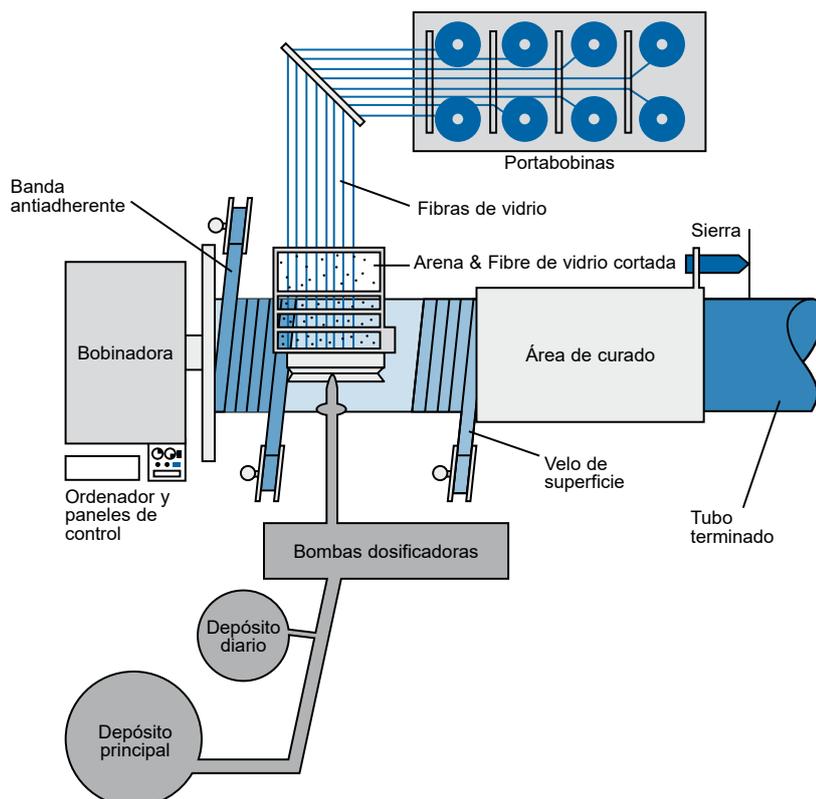
Los tubos Flowtite se fabrican mediante el proceso de mandril de avance en continuo, la tecnología más moderna y avanzada de producción de tubos de políéster reforzado con fibra de vidrio. Este procedimiento permite la incorporación de refuerzos continuos de fibra de vidrio en el sentido circunferencial del tubo. En líneas que funcionan a alta presión o en tuberías enterradas, la tensión se concentra en la circunferencia del tubo, por lo que la incorporación de refuerzos continuos en dicha dirección favorece la creación de un producto de mayor rendimiento a menor coste. Haciendo uso de tecnología desarrollada por expertos en materiales, se crea un laminado muy compacto que maximiza el aporte de las tres materias primas básicas. El proceso utiliza dos tipos de refuerzo de fibra de vidrio –hilos continuos e hilos cortados– para optimizar la resistencia tangencial y axial del tubo, al tiempo que incorpora un refuerzo de arena para aumentar la rigidez cerca del eje neutro del núcleo mediante un incremento de espesor de pared. El sistema Flowtite permite la aplicación de dos tipos de resina distintos, proporcionando un revestimiento especial en la superficie interior de los tubos destinados a aplicaciones altamente corrosivas mientras utiliza una resina menos costosa en la parte estructural y exterior del laminado.

El proceso de enrollamiento también se puede utilizar para incorporar otros materiales, como el velo de fibra de vidrio o de políéster, ambos empleados para optimizar la resistencia a la abrasión y al ataque de productos químicos así como el acabado de los tubos. El control oportuno del método de fabricación garantiza la elaboración de productos cuyo nivel de calidad es consistentemente alto.

La maquina enrolladora Flowtite representa la tecnología más avanzada en la industria hoy día y el primer método de fabricación de tubos de fibra de vidrio en todo el mundo. En términos simples, la máquina consta de un mandril cilíndrico de banda de acero en continuo soportado con viguetas.

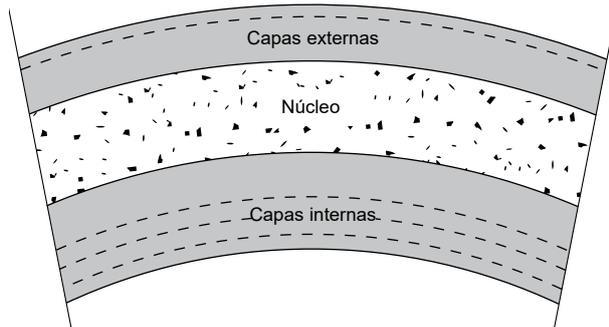
Al girar los soportes, la fricción producida arrastra la banda metálica. Un rodamiento de bolas permite que la banda se desplace longitudinalmente, de manera que todo el mandril se mueva de forma continua en trayectoria espiral hacia la salida del conjunto. A medida que gira el mandril, el equipo distribuye los materiales compuestos en cantidades precisas. Los sensores eléctricos proporcionan información continua sobre los parámetros de producción con objeto de permitir a los distintos sistemas de alimentación aportar la cantidad correcta de material. Así se asegura la aplicación de la cantidad de material necesaria para la construcción de las distintas capas durante la etapa de fabricación. En primer lugar, la banda antiadherente, seguida de los distintos tipos de hilo de fibra de vidrio dispuestos en diversas configuraciones y colocados en una matriz de resina de políéster. Las capas estructurales están compuestas de vidrio y resina exclusivamente, mientras que la capa núcleo incluye arena de sílice pura. Así pues, el tubo se forma gracias a la aplicación continua de estos materiales en el mandril.

Una vez formado el tubo en el mandril, éste se deja endurecer y se corta a la medida necesaria. A continuación se calibran los extremos de la sección de tubo cortada con objeto de adaptarlos al manguito de unión.



2 Laminado del tubo

Las materias primas básicas empleadas en el proceso de producción de los tubos Flowtite son la resina, la fibra de vidrio y la arena de sílice. Bajo circunstancias normales, las resinas de poliéster más utilizadas son las ortoftálicas debido a su excelente rendimiento en la mayoría de las aplicaciones. Sólo se pueden usar materias primas aprobadas por Flowtite en la producción de estos tubos.



La figura que aparece sobre estas líneas muestra el corte transversal de un laminado típico. Este corte, al igual que la forma de aplicar y disponer las distintas materias primas, puede diferir en función de la aplicación a la que se destinen los tubos.

El principio de producción continua permite fabricar tubos en diámetros que van de DN 300 a DN 4000 mm. También se dispone de tubería de DN 100 a DN 250 en tubos de 6 m de longitud.



3 Ventajas del producto

Flowtite Technology ha creado una gama de productos capaz de dar una solución económica y duradera a las necesidades de sus clientes en los cinco continentes. La larga lista de características y ventajas de estos sistemas los convierte en un producto idóneo, en términos de coste y duración, para la instalación de sistemas de conducción.

Características y ventajas

Resistencia a la corrosión

- Los materiales tienen una larga vida útil de servicio
- Los productos no requieren revestimientos, recubrimientos, protección catódica, envolturas u otros medios de protección contra la corrosión
- Los costes de mantenimiento son bajos
- Las propiedades hidráulicas se mantienen constantes con el tiempo

Peso ligero

(1/4 del peso de la fundición y 1/10 del peso del hormigón)

- Reduce el coste de transporte (tubos anidables)
- Elimina la necesidad de costosos equipos de manipulación

Largas longitudes estándar

(6, 12 y 18 metros)

- Un menor número de uniones reduce el tiempo de instalación
- Un mayor número de tubos por vehículo de carga reduce los costes de entrega

Características hidráulicas superiores

- Superficie interior sumamente lisa
- Coeficiente de flujo Hazen Williams de aproximadamente $C = 150$
- Las bajas pérdidas por fricción suponen una menor energía de impulsión y reducen los costes de funcionamiento
- Coeficiente de flujo de Manning $n = 0,009$
- La menor acumulación de lodos ayuda a reducir los costes de limpieza
- Excelente resistencia a la abrasión

Uniones de precisión Flowtite con juntas elastoméricas REKA

- Las uniones estancas han sido diseñadas para eliminar infiltraciones y exfiltraciones
- La facilidad de acoplamiento acorta el tiempo de instalación
- El diseño permite pequeños cambios de dirección en la línea sin necesidad de accesorios o ajustes diferenciales

Proceso de fabricación flexible

- Se puede fabricar diámetros especiales para optimizar el caudal, facilitando su instalación en proyectos de rehabilitación de revestimientos interiores
- Se puede producir tubos de longitudes especiales para optimizar la flexibilidad, facilitando su instalación en proyectos de instalación o de rehabilitación

4 Aplicaciones

01

02

03

04

05

06

07

08

09

10

11

Diseño de tubos de alta tecnología

- Existe una gama completa de clases de rigidez y de presión para cumplir los criterios de la ingeniería de diseño
- Una celeridad de onda menor de la que se obtiene con tubos de otros materiales redonda en una reducción de costes en diseños especiales para presiones altas y sobrecargas de presión por golpe de ariete
- La consistencia y el alto nivel de calidad del producto permite crear sistemas de tubería que cumplen las más estrictas normas internacionales (AWWA, ASTM, DIN, EN, etc.)

Los tubos de PRFV Flowtite se pueden utilizar en diversas aplicaciones, incluyendo:

- Redes de transporte y distribución de agua (agua potable y agua bruta)
- Sistemas de saneamiento y emisarios submarinos
- Alcantarillados para aguas pluviales
- Tuberías de carga en centrales hidroeléctricas
- Tomas y desgargas de agua de mar
- Conducciones de agua para refrigeración y condensación en centrales generadoras de electricidad
- Aplicaciones industriales
- Rehabilitaciones por el método del slip-lining



5 Homologaciones

Los sistemas de tubería de PRFV Flowtite han sido homologados por diversas organizaciones e institutos de ensayo, tanto nacionales como internacionales. Las normas desarrolladas por ASTM, AWWA, ISO y EN son aplicables a muchos de los usos finales a los que se destinan los tubos de fibra de vidrio, incluidos los sistemas de transporte de agua, saneamiento y vertidos industriales. Un factor común a todas estas normas es que son 'modelos de funcionamiento', en tanto que documentan los tipos de comportamiento que se deben observar y los ensayos que se han de realizar con los tubos.

La inspección y los ensayos realizados con muestras de redes de saneamiento que llevan en funcionamiento más de 24 años muestran que estas tuberías están en condiciones impecables. Este dato, unido a un análisis de los puntos de información de tiempo al fallo desde que han transcurrido unas cuantas horas hasta 28 años y su relación con el método estándar y el análisis de regresión, revelan que los márgenes de seguridad son más altos de lo previsto y que se puede lograr una extrapolación a 150 años.

5.1 ASTM

En la actualidad existen varias normas de producto ASTM aplicables a una amplia gama de usos de tubos de fibra de vidrio. Todas estas normas son para tubos de diámetros comprendidos entre 200 mm y 3600 mm, y requieren que las juntas flexibles sean sometidas a ensayos hidrostáticos (según la norma ASTM D4161) que simulan condiciones de uso superiores a las normales. Los tubos Flowtite han sido diseñados para cumplir todas las normas ASTM, incluidas las que precisan la realización de los más exigentes ensayos de control de calidad y homologación. Estas normas son:

- ASTM D3262 Distribución de agua con presión
- ASTM D3517 Saneamiento sin presión
- ASTM D3754 Saneamiento con presión

5.2 AWWA

La norma AWWA C950 es una de las más completas en lo que se refiere a tubos de PRFV. Esta norma, diseñada para aplicaciones de agua con presión, establece requisitos muy exigentes para los tubos y los acoplamientos, centrándose en los ensayos de control de calidad y de comprobación y homologación de prototipos. Al igual que las normas ASTM, AWWA C950 se basa en el funcionamiento del producto. Recientemente, AWWA ha editado un nuevo manual de normas, el M45, que incluye varios capítulos sobre el diseño de tuberías de PRFV para instalaciones subterráneas y aéreas. Los documentos publicados por AWWA son:

- AWWA C950 Tubería de fibra de vidrio con presión
- AWWA M45 Manual de diseño de tuberías de fibra de vidrio

5.3 Normas ISO y EN

En la actualidad también existen normas de aplicación en el ámbito de la Unión Europea, como las desarrolladas por las organizaciones de normalización BSI (BS 5480) y DIN (DIN 16868). Todas estas normas se verán substituidas por el trabajo realizado por la organización europea: en breve, las normas EN 1796 y EN 14632 para aplicaciones de agua y saneamiento tomarán el lugar de las pautas actualmente existentes en Europa.

La International Standards Organization (ISO) ha establecido dos normas: ISO 10467 para sistemas de alcantarillado y saneamiento e ISO 10639 para sistemas de transporte de agua.

A través de representantes de su organización internacional, Amiantit participa activamente en la preparación de estas normas con objeto de garantizar que se cumplan los más estrictos requisitos de funcionamiento y se fabriquen los productos más fiables del mercado.

5.4 Control de materias primas

Todas las materias primas llegan a fábrica con un certificado del proveedor que garantiza el cumplimiento de los requisitos de calidad de Flowtite. Además, en fábrica se somete a prueba una muestra de todas las materias primas antes de que sean utilizadas en el proceso de fabricación. Estas pruebas garantizan que las materias empleadas en la fabricación de los tubos y accesorios cumplen las especificaciones de la casa. Los requisitos de calidad de Flowtite estipulan que todas las materias primas estén precalificadas de forma que quede demostrada su idoneidad de uso en el proceso de fabricación y en el producto final.

Las materias primas utilizadas en la fabricación de los tubos son:

- Fibra de Vidrio
- Resina
- Catalizador
- Arena silíceo
- Aditivos

Sólo se pueden utilizar materias primas aprobadas por Flowtite en la producción de estos productos.

Fibra de Vidrio

La fibra de vidrio se especifica en unidades tex, que equivalen al peso en gramos de 1000 metros de hilo. Refuerzo de hilos en continuo: hilos continuos de fibra de vidrio utilizados en distintos tex para la producción de los tubos Flowtite.

Refuerzo de hilos cortados: hilos cortados directamente en la máquina para proporcionar rigidez en distintas direcciones.

Resina

Sólo se utilizan resinas indicadas para el proceso de enrollamiento. Éstas se suelen suministrar en bidones o a granel. Las resinas se preparan en los depósitos diarios de la enrolladora. La temperatura normal de aplicación es de 25° C. Las resinas suministradas por el proveedor pueden ser diluidas con estireno antes de ser utilizadas en la enrolladora para lograr la viscosidad requerida, de acuerdo con las directrices de Flowtite Technology.

Catalizador

Se añade la cantidad adecuada de catalizador a la resina para endurecer la mezcla justo antes de que ésta se aplique en el mandril. En el proceso de fabricación de tubos sólo se utilizan catalizadores aprobados por Flowtite.

Arena

Se añade un refuerzo de arena al núcleo del tubo y a la capa interior de los acoplamientos. La arena con alto contenido de sílice forma parte de las especificaciones de materias primas aprobadas por Flowtite.

Aditivos

Los aditivos utilizados para acelerar el proceso de curado de la resina se mezclan con ésta en los depósitos diarios. Los aditivos se comercializan en distintas concentraciones y se pueden diluir en estireno para llegar a la concentración requerida para la producción de los tubos Flowtite.

Propiedades físicas

La capacidad de carga axial y tangencial de los tubos es verificada mediante ensayo. También se recurre a pruebas para determinar la deflexión y rigidez de los tubos. Todos estos ensayos se llevan a cabo de forma rutinaria siguiendo las instrucciones del manual de calidad de Flowtite. La composición y el método de construcción del producto también son verificados.

5.5 Revisión de productos terminados

El programa de control de calidad de Flowtite contiene diversos ensayos. Las tuberías se pueden controlar mediante ensayos como el siguiente:

- Inspección visual
- Prueba de dureza Barcol
- Espesor de pared
- Longitud de sección
- Diámetro
- Ensayo hidrostático de estanqueidad
- Rigidez del tubo
- Deflexión carente de daños o fallos estructurales
- Capacidad de tensión axial y circunferencial
- Composición laminar global

5.6 Ensayos de conformidad

Todas las normas requieren que el fabricante de tubos demuestre que sus productos cumplen los requisitos mínimos de funcionamiento del producto. En el caso de los tubos de PRFV, las normas estipulan el rendimiento mínimo tanto a corto como a largo plazo.

Los requisitos más importantes, para los que todas las normas especifican el mismo nivel, se refieren a los acoplamientos, la deflexión vertical inicial, la deflexión vertical a largo plazo, la resistencia a la flexión a largo plazo y la resistencia a la corrosión bajo flexión a largo plazo. Los tubos Flowtite han sido sometidos a rigurosos ensayos que muestran su conformidad con estas normas.

Ensayo a largo plazo

Las normas aplicables a los tubos de fibra de vidrio parten del supuesto que el material sufrirá cambios en sus propiedades mecánicas cuando el tubo sea sometido a una carga de flexión. El diseño del producto suele tener en cuenta los valores de resistencia del material proyectados a 50 años. Para determinar las propiedades de un tubo a largo plazo, el método de ensayo requiere el uso de al menos 18 muestras, distribuidas en el tiempo, con al menos una muestra sometida a ensayo durante 10 000 horas. La regresión lineal de los datos obtenidos permite una extrapolación a 50 años. Con los años se ha sometido cientos de muestras de tubos de PRFV a una gama completa de pruebas basadas en el método de ensayo de la ASTM, de forma que hoy día se dispone de una enorme base de datos. Recientemente se han analizado más de 600 puntos de información, con tiempos al fallo desde unas horas hasta 28 años. El análisis de los datos muestra un comportamiento bilineal interesante en lugar de la regresión lineal que se podía prever de la base de datos más pequeña. Los resultados sugieren que el método normalizado es bastante conservador; de hecho, con la información adicional obtenida los márgenes de seguridad resultan ser más altos de lo esperado y permiten extrapolaciones hasta 150 años. Los tubos de PRFV Flowtite cumplen los requisitos más estrictos, incluso aquellos de ciertas instituciones que requieren que el producto tenga un ciclo de vida de más de 100 años.

Ensayo de resistencia a la corrosión bajo flexión

Uno de los requisitos de funcionamiento aplicables a las tuberías de PRFV sin presión usadas en aplicaciones de saneamiento es la realización de un ensayo químico en condiciones de deformación o deflexión. Esta comprobación de la resistencia a la corrosión bajo condiciones de deformación requiere que como mínimo 18 muestras anulares de tubo sean sometidas a distintos niveles de deformación constante. Posteriormente, la superficie interior de estas muestras deflectadas es expuesta a una solución de ácido sulfúrico 1,0N (5% en peso). El objetivo de la prueba es simular las peores condiciones de alcantarillado posibles, incluidas las de Oriente Medio, donde Flowtite ya ha instalado con éxito miles de kilómetros de tubería.

Durante el ensayo se mide el tiempo que transcurre hasta que se produce un fallo, o una fuga, en cada muestra. Utilizando el método de análisis de regresión de los mínimos cuadrados, los datos de la deformación unitaria mínima extrapolados a 50 años deben ser iguales a los valores establecidos para cada clase de rigidez. El valor obtenido se aplica al diseño del tubo para predecir los coeficientes de seguridad de una instalación de alcantarillado con este tipo de tubos. Por lo general, en el caso de las tuberías enterradas el valor típico de deflexión a largo plazo es del 5%.

Por ejemplo, de acuerdo con las normas de ASTM el valor mínimo de alargamiento unitario debe ser:

Clase de rigidez	S _{cv} de alargamiento, %
SN 2500	,49 (t/d)
SN 5000	,41 (t/d)
SN 10000	,34 (t/d)

Tabla 5.1 Valor mínimo de alargamiento unitario

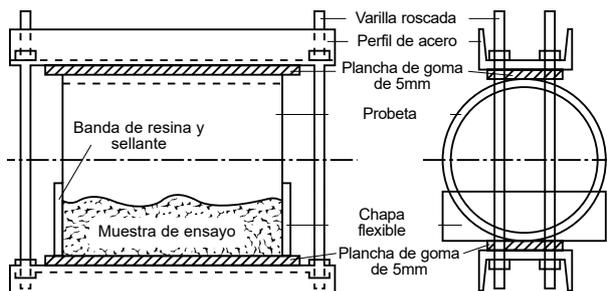


Figura 5-1 Equipo para medir el alargamiento unitario

El valor de alargamiento unitario extrapolado a 50 años publicado por Flowtite es de 0,67%.

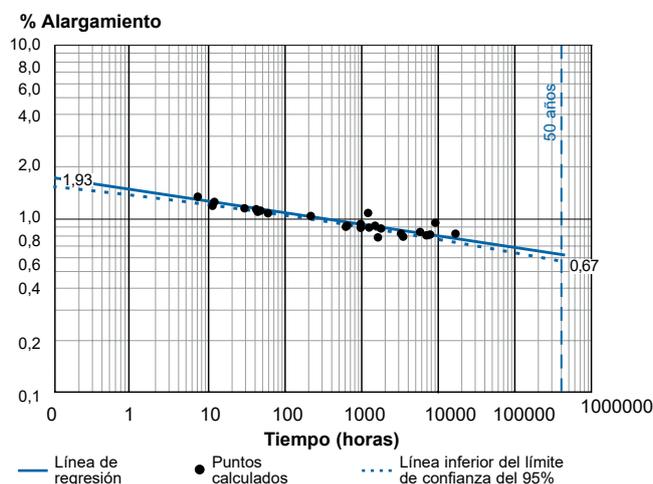


Figura 5-2 Línea Flowtite de alargamiento unitario

Base hidrostática de diseño (HDB)

Otro de los principales ensayos de homologación consiste en establecer la base hidrostática de diseño (HDB). Este ensayo requiere que varias muestras de tubo sean sometidas a diferentes niveles de presión hidrostática con objeto de determinar el nivel al que se produce un fallo (fuga). Al igual que en el ensayo de resistencia a la corrosión bajo flexión descrito anteriormente, los resultados se introducen en una base doble logarítmica para evaluar la presión (o deformación unitaria tangencial) en función del tiempo que tarda en producirse la fuga. La tensión de rotura extrapolada a 50 años, conocida como base hidrostática de diseño o HDB, debe ser mayor que la clase de presión (deformación a la presión de operación especificada) según el coeficiente de seguridad (véase la Figura 2). De hecho, debido a los factores de carga combinada (la interacción de la presión interna de la tubería y de las cargas externas del suelo), el valor real del coeficiente de seguridad de resistencia a fugas a largo plazo es superior a este coeficiente de seguridad. Este ensayo de homologación garantiza el funcionamiento a largo plazo de los tubos sometidos a presión.

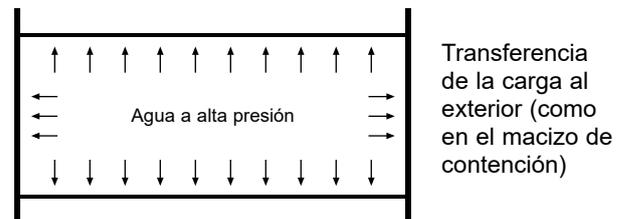


Figura 5-3 Efecto de la presión a largo plazo sobre la vida del tubo

Conforme al ensayo de HDB, el valor de deformación de los tubos Flowtite a cincuenta años es de 0,65%.

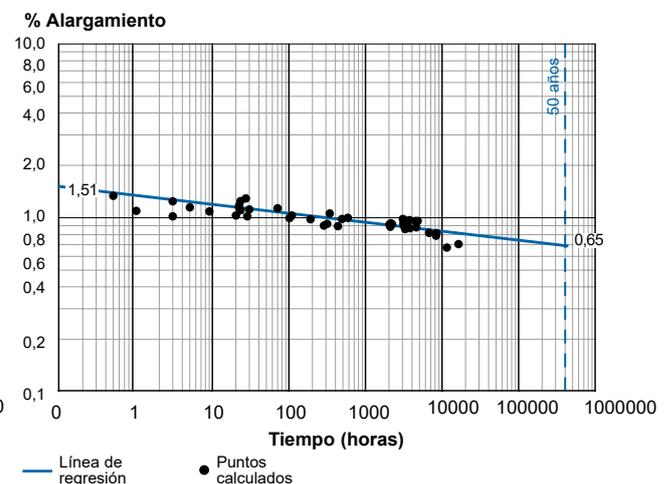


Figura 5-4 Línea Flowtite de alargamiento por presión a largo plazo

Deflexión vertical a largo plazo

La deflexión vertical o anular (deformación) a largo plazo (50 años) de un tubo de PRFV expuesto a un medio acuoso y con una carga constante debe cumplir el Nivel A de deflexión que figura en el ensayo de deflexión anular inicial. Este requisito sólo figura en las normas ISO y CEN. La norma AWWA C950 requiere que se lleve a cabo el ensayo pero con una presión constante igual a la presión máxima de operación durante 50 años y que el valor resultante sea utilizado en el diseño del tubo. Los tubos Flowtite cumplen los requisitos de la norma ASTM D5365 referente a la deformación vertical de los tubos de fibra de vidrio bajo presión a largo plazo.

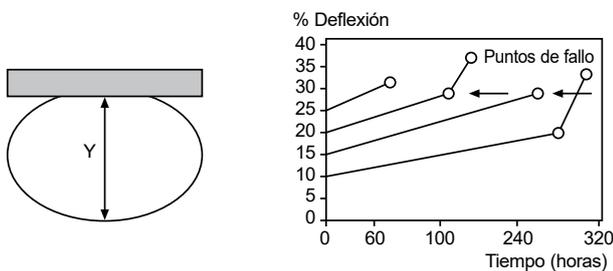


Figura 5-5 Efecto de la deflexión a largo plazo en una solución acuosa sobre la vida del tubo

El valor de deflexión previsto a 50 años publicado por Flowtite es de 1,3%.

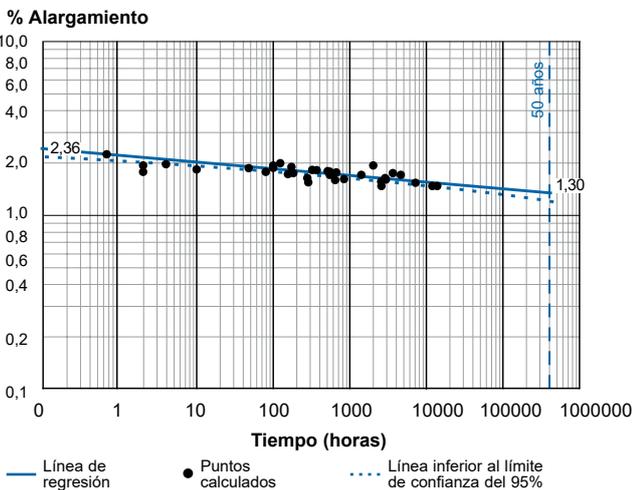


Figura 5-6 Línea Flowtite de deflexión a largo plazo

Deflexión vertical inicial

Todos los tubos deben cumplir el nivel de deflexión vertical inicial sin muestras visibles de fisuras o grietas (Nivel A) y sin daños estructurales en las paredes (Nivel B) cuando los tubos son flexionados verticalmente entre dos placas o barras paralelas.

Deflexión según la clase de rigidez

Nivel	Clase de rigidez		
	2500	5000	10000
A	15%	12%	9%
B	25%	20%	15%

Ensayo para manguitos

Este ensayo se lleva a cabo con prototipos de manguitos con juntas elastoméricas de sellado. La prueba, que se realiza conforme a la normas ASTM D4161, EN 1119 e ISO 8639, incorpora algunos de los requisitos más rigurosos de la industria para tuberías de cualquier tipo de material en rangos de presión y rigidez similares a los de los tubos Flowtite. Estas normas requieren que las juntas flexibles sean sometidas a pruebas hidrostáticas que simulen condiciones de uso muy severas. La presión de ensayo es dos veces la presión nominal y utiliza 100 Kpa (1 bar) para las tuberías sin presión (conducción por gravedad). Las configuraciones de los manguitos incluyen la alineación recta, la rotación angular máxima y la carga vertical diferencial. También incluyen una prueba de vacío parcial y algunos ensayos de presión cíclica.

6 Diseño de sistemas de tubería enterrada

Las metodologías de diseño más aceptadas en relación con el diseño de una instalación enterrada se basan en las normas ANSI/AWWA C950-95 y en el manual AWWA M45. Los tubos de fibra de vidrio son flexibles, por lo que pueden soportar una deformación importante. Las cargas verticales (del suelo, el tráfico y la capa freática) determinan una deflexión que depende tanto del grado de compactación del suelo junto al tubo como de la rigidez circunferencial de la sección transversal del tubo. El comportamiento de los tubos Flowtite suele ser flexible en la mayoría de los suelos. Aún así, se debe prestar atención especial a los procesos de excavación y relleno, tanto en los costados del tubo como en la zanja en general. Esto no sólo proporciona un soporte adecuado a la tubería, sino que también minimiza la incidencia de deformaciones y posibles daños resultantes del suelo y/o el tráfico. La resistencia del tubo al movimiento horizontal depende del tipo de suelo, su densidad y su contenido en humedad. Cuanto mayor sea la resistencia del suelo, menor será la deformación o el movimiento del tubo. La figura que sigue muestra la distribución de la carga y la reacción del suelo causada por la compresión del relleno en interacción con la flexibilidad y la deformación del tubo.

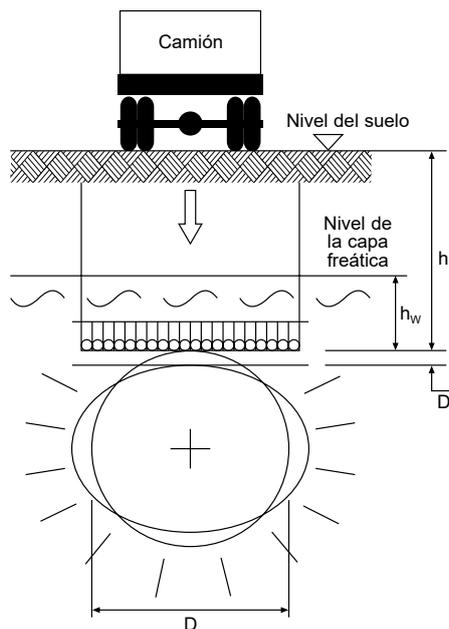


Figura 6-1 Comportamiento del tubo bajo carga de tráfico

Ya que el diseño de las instalaciones enterradas sigue las directrices del manual AWWA M45, se procede a incluir un resumen del capítulo 5 de dicho manual. Dado que los tubos de PRFV son flexibles, cuando son sometidos a cargas de suelo y/o tráfico sufren una deflexión que les permite trasladar estas cargas al material de relleno ubicado a los lados del tubo. Los efectos causados son los siguientes:

- El material de relleno a los lados del tubo soporta la carga del relleno, el tráfico, etc.
- El tubo recibe menos carga
- El tubo se puede concentrar en su propósito: el transporte estanco de fluidos

Los tubos rígidos siempre son más sólidos y rígidos que los suelos, por lo que las cargas se concentran sobre ellos. Estos tubos están sometidos a cargas durante toda su vida útil. Además, a consecuencia de los posteriores movimientos de suelo, las cargas pueden aumentar todavía más.

Por el contrario, los tubos flexibles reaccionan de forma dinámica, flexionándose y trasladando las cargas al material de relleno que lo envuelve.

El suelo se asienta y soporta las cargas.

Los estudios realizados demuestran que el porcentaje de fallos en los tubos rígidos es mayor que en los tubos flexibles.

6.1 Resumen del capítulo de diseño del manual AWWA M45

Hace algún tiempo, el documento titulado AWWA C-950-86 fue revisado y dividido en dos partes:

- C950, actualmente existe como norma de funcionamiento, igual a las ASTM
- AWWA M45, actualmente existe como manual de diseño. El capítulo 5 trata sobre el método de diseño para tuberías de fibra de vidrio enterradas.

Cálculos de diseño

- Para calcular la clase de presión:

$$P_c \leq \frac{HDB \cdot 2 \cdot t \cdot E_h}{FS \cdot D}$$

E_h = módulo de tracción circunferencial de la capa estructural

t = espesor estructural del tubo

La presión del proyecto debería ser menor de P_c :

$$P_w \leq P_c$$

P_w = presión de funcionamiento o presión de diseño

- Para calcular el aumento de presión:
El aumento de presión admisible es el 40% de P_w de forma que

$$P_c \geq \frac{P_w + P_s}{1.4}$$

- Para calcular la deflexión circunferencial:

$$\varepsilon_b = D_f (Dy/D) \cdot (t_i/D) \leq (S_b/FS)$$

D_f factor de retardo de la deflexión

Dy/D deflexión admisible a largo plazo

S_b deflexión circunferencial a largo plazo del tubo

FS = coeficiente de seguridad = 1,5

ε_b = deflexión circunferencial máxima debida a la flexión

- La deflexión se calcula de la forma que sigue:

$$Dy/D = \frac{(D_L * W_C + W_L) * K_X}{(149 * PS + 6100 * M_S)}$$

W_C : Carga vertical del suelo $N/m^2 = \gamma_S * H$; donde γ_S es el peso unitario del suelo y H es la profundidad de instalación

W_L : Carga dinámica sobre el tubo

M_S = Módulo confinado del suelo compuesto

PS = Rigidez del tubo

D_L = Factor de retardo de la deflexión (por lo general tomado como 1,5)

K_X = Coeficiente de soporte del lecho (por lo general tomado como 0,1)

Para determinar el valor de M_S , se deben determinar por separado los módulos del suelo natural M_{sn} y del material de relleno M_{sb} antes de combinarlos en función del ancho de la zanja.

$M_S = S_c * M_{sb}$

S_c = Soporte del suelo

M_{sb} = Módulo confinado del material de relleno

M_{sn} = Módulo confinado del suelo natural

- Carga combinada (acciones internas y externas)

La carga combinada resulta de la unión de la deformación y la tensión. La deformación se debe a la deflexión y la tensión a la presión.

$$\epsilon_{pr} / HDB \leq \{1 - (\epsilon_b * r_c / S_b)\} / FS_{pr}$$

y

$$\epsilon_b * r_c / (S_b) \leq \{1 - (\epsilon_{pr} / HDB)\} / FS_b$$

donde $FS_{pr} = 1,8$ y $FS_b = 1,5$

$\epsilon_{pr} = P_w * D / (2 * t * E_h)$ y $\epsilon_b = D_r (\delta d / D) (t_r / D)$

$\mu \epsilon r_c = 1 - P_w / 3000$ donde $P_w \leq 3000$ kPa

$\delta d / D$ = deflexión máxima admisible (y no la deflexión calculada)

- Colapsamiento

La presión de colapsamiento admisible se determina con q_a que se calcula con la ecuación que sigue:

$$q_a = \frac{(1,2 * C_n)(EI)^{0,333} (\phi_S * 10^6 * M_S * k_{\eta})^{0,667} * R_h}{(FS)_r}$$

donde

q_a = presión de colapsamiento admisible en kPa
 FS = factor de diseño = 2,5

C_n = factor de calibración para dar considerar ciertos efectos no lineales = 0,55

ϕ_S = factor para considerar la variabilidad en la rigidez del suelo compactado: se sugiere que sea 0,9

k_{η} = factor de corrección de módulo para el coeficiente de Poisson,

η del suelo = $(1 + \eta)(1 - 2\eta) / (1 - \eta)$

En ausencia de información específica, se suele asumir que $\eta = 0,3$ con lo que $k_{\eta} = 0,74$

R_h = factor de corrección para la profundidad de relleno = $11,4 / (11 + D / 1000 * h)$

donde h = altura del nivel del suelo por encima de la parte superior del tubo

Una ecuación alternativa es:

$$q_a = \left(\frac{1}{FS}\right) [1,2 C_n (0,149 PS)^{0,333} (\phi_S 10^6 M_S k_{\eta})^{0,67}]$$

En una instalación típica se puede garantizar la satisfacción del requisito de colapsamiento utilizando la siguiente ecuación:

$$[\gamma_w h_w + R_w (W_C)] * 10^{-3} + P_v \leq q_a$$

donde:

γ_w = peso específico del agua = 9800 N/m³

P_v = presión de vacío interna (la presión atmosférica menos la presión absoluta dentro del tubo) en kPa

R_w = factor de empuje hidrostático del agua = $1 - 0,33(h_w/h)$ ($0 \leq h_w \leq h$)

h_w = altura de la superficie del agua sobre la parte superior del tubo, m

Si se tienen en cuenta las cargas dinámicas, la satisfacción del requisito de colapsamiento se asegura mediante:

$$[\gamma_w h_w + R_w (W_C) + W_L] * 10^{-3} \leq q_a$$

Por lo general no se consideran simultáneamente el vacío interno y las cargas dinámicas.

El documento contempla distintos diseños de tubo. Se recomienda hacer los ejemplos a mano para desarrollar una buena comprensión de esta norma.

6.2 Empuje hidrostático

Si el nivel de la capa freática coincide con el nivel del suelo, se debe estudiar la posible necesidad de contener el empuje hidrostático. La carga combinada F_{down} , (N/m) resultante de la suma de todas las cargas, el peso del suelo, W_s , (N/m) más el peso del tubo, W_p , (N/m) y sus contenidos, W_l , (N/m) debe ser mayor que el empuje ascensional, F_{up} , es decir:

$$W_s + W_p + W_l = F_{down}$$

donde

$$W_s = OD \cdot \gamma_s \cdot \left(1 - \frac{h_w}{3h}\right)$$

$$\text{y } F_{down} \geq F_{UP}$$

donde

$$F_{UP} = \frac{\pi}{4} \cdot OD^2 \cdot \gamma_w$$

h_w = altura del agua sobre la parte superior del tubo (m)

h = altura del suelo sobre la parte superior del tubo (m)

γ_w = densidad específica del agua (kg/m³)

6.3 Ensayo hidrostático

Máxima presión de ensayo en fábrica 2,0 x PN (clase de presión)

Máxima presión de ensayo en obra 1,5 x PN (clase de presión)

Los límites superiores de presión y de diámetro están en función de la capacidad de ensayo de la planta.

6.4 Sobrecarga de presión y golpe de ariete

El término "sobrepresión por golpe de ariete" hace referencia a una súbita subida o bajada de presión causada por un cambio repentino en el caudal del sistema. Por lo general estos cambios se deben a una inesperada apertura o cierre de válvulas o al repentino arranque o detención de bombas, como sucede cuando se produce un corte de energía. Los principales factores que afectan la sobrepresión por golpe de ariete en una tubería son el cambio en la velocidad del fluido, el coeficiente de variación de la velocidad (el tiempo de cierre de la válvula), la compresibilidad del fluido, la rigidez de la tubería en dirección "circunferencial" y el trazado físico de la línea.

La sobrepresión por golpe de ariete prevista en tuberías Flowtite equivale a aproximadamente el 50% de la de líneas de fundición dúctil y de acero bajo condiciones similares. Las tuberías de PRFV Flowtite admiten una sobrepresión del 40% de la presión nominal. La fórmula para calcular el ratio aproximado de la variación máxima de presión en un punto dado de una tubería recta con pérdidas mínimas por fricción es la que sigue:

$$\Delta H = (w\Delta v)/g$$

donde:

ΔH = cambio de presión (metros)

w = celeridad de la onda (metros/segundo)

Δv = cambio de velocidad del fluido (metros/segundo)

g = aceleración por gravedad (metros/segundo²)

DN	300-400	450-800	900-2500	2800-3000
SN 2500				
PN 6	365	350	340	330
PN 10	435	420	405	390
PN 16	500	490	480	470
SN 5000				
PN 6	405	380	370	360
PN 10	435	420	410	
PN 16	505	495	480	
PN 25	575	570	560	
SN 10000				
PN 6	420	415	410	400
PN 10	435	425	415	
PN 16	500	495	485	
PN 25	580	570	560	
PN 32	620	615	615	

Tabla 6-1 Celeridad de onda para tubos Flowtite (m/seg)

DN	100	125	150	200	250
SN 10000					
PN 6	580	560	540	520	500
PN 10	590	570	560	540	520
PN 16	640	620	610	600	590

Tabla 6-2 Celeridad de onda para tubos de diámetro pequeño

! Nota: Los valores que figuran en estas tablas ha sido redondeados hasta un 2%. En caso de precisar valores exactos para un análisis transitorio, consulte con su proveedor Flowtite.

6.5 Valores de capacidad de carga

A efectos de diseño, se pueden utilizar los siguientes valores de capacidad de carga para calcular la resistencia a la tensión axial y tangencial.

DN	PN1	PN6	PN10	PN16	PN20	PN25	PN32
300	60	360	600	960	1200	1500	1920
350	70	420	700	1120	1400	1750	2240
400	80	480	800	1280	1600	2000	2560
450	90	540	900	1440	1800	2250	2880
500	100	600	1000	1600	2000	2500	3200
600	120	720	1200	1920	2400	3000	3840
700	140	840	1400	2240	2800	3500	4480
800	160	960	1600	2560	3200	4000	5120
900	180	1080	1800	2880	3600	4500	5760
1000	200	1200	2000	3200	4000	5000	6400
1100	220	1320	2200	3520	4400	5500	7040
1200	240	1440	2400	3840	4800	6000	7680
1400	280	1680	2800	4480	5600	7000	8960
1600	320	1920	3200	5120	Δ.E.	Δ.E.	Δ.E.
1800	360	2160	3600	5760	Δ.E.	Δ.E.	Δ.E.
2000	400	2400	4000	6400	Δ.E.	Δ.E.	Δ.E.
2200	440	2640	4400	Δ.E.	Δ.E.	Δ.E.	Δ.E.
2400	480	2880	4800	Δ.E.	Δ.E.	Δ.E.	Δ.E.
2600	520	3120	Δ.E.	Δ.E.	Δ.E.	Δ.E.	Δ.E.
2800	560	3360	Δ.E.	Δ.E.	Δ.E.	Δ.E.	Δ.E.
3000	600	3600	Δ.E.	Δ.E.	Δ.E.	Δ.E.	Δ.E.

Tabla 6-3 Resistencia a la tensión tangencial
Carga mínima inicial en sentido tangencial (circunferencial) en N/mm de circunferencia.

DN	PN1	PN6	PN10	PN16	PN20	PN25	PN32
300	95	115	140	150	170	190	220
350	100	125	150	165	190	215	255
400	105	130	160	185	210	240	285
450	110	140	175	205	235	265	315
500	115	150	190	220	250	290	345
600	125	165	220	255	295	345	415
700	135	180	250	290	340	395	475
800	150	200	280	325	380	450	545
900	165	215	310	355	420	505	620
1000	185	230	340	390	465	560	685
1100	195	245	360	420	505	600	715
1200	205	260	380	460	560	660	785
1400	225	290	420	530	630	760	1015
1600	250	320	460	600	Δ.E.	Δ.E.	Δ.E.
1800	275	350	500	670	Δ.E.	Δ.E.	Δ.E.
2000	300	380	540	740	Δ.E.	Δ.E.	Δ.E.
2200	325	410	595	Δ.E.	Δ.E.	Δ.E.	Δ.E.
2400	350	440	620	Δ.E.	Δ.E.	Δ.E.	Δ.E.
2600	375	470	Δ.E.	Δ.E.	Δ.E.	Δ.E.	Δ.E.
2800	410	510	Δ.E.	Δ.E.	Δ.E.	Δ.E.	Δ.E.
3000	455	545	Δ.E.	Δ.E.	Δ.E.	Δ.E.	Δ.E.

Tabla 6-4 Resistencia a la tensión axial
Carga mínima inicial en sentido axial (longitudinal) en N/mm de circunferencia.

6.6 Caudal

El caudal máximo recomendado es de 3,0 m/s. No obstante, las tuberías aceptan caudales de hasta 4,0 m/s si se trata de flujos de agua limpia libre de materiales abrasivos. En caso de estar interesado, Flowtite dispone de un listado de referencia de proyectos en los que se han registrado velocidades de caudal superiores a 4,0 m/s.

6.7 Resistencia a los rayos UV

No existe prueba alguna de que los rayos ultravioleta afecten la vida útil de los tubos Flowtite, si bien se sabe que pueden producir una alteración estética que toma la forma de una decoloración de la superficie exterior del tubo. El contratista responsable de la instalación puede tratar la superficie exterior aplicando una pintura con base de uretano compatible con el poliéster reforzado con fibra de vidrio, aunque este tipo de tratamiento requiere mantenimiento a futuro. Durante los últimos treinta años, una larga y dilatada experiencia en la instalación de líneas aéreas en lugares tan diversos como son los países de Oriente Medio, donde predominan las condiciones húmedas y desérticas, y Escandinavia, donde los inviernos son fríos y oscuros, no ha dado muestras del efecto estructural de la radiación sobre los tubos de PRFV.

6.8 Coeficiente de Poisson

El coeficiente de Poisson varía en función del método de fabricación del tubo. En el caso de los tubos Flowtite, el coeficiente de la carga anular (circunferencial) y de la respuesta axial (longitudinal) varía entre 0,22 y 0,29. En el caso de la carga axial y de la respuesta anular, el coeficiente de Poisson es ligeramente menor.

6.9 Temperatura

Dependiendo de la temperatura de funcionamiento y el tipo de resina utilizada en la producción de los tubos y accesorios, la clase de presión se puede ver afectada a temperaturas elevadas. No obstante, existe la posibilidad fabricar soluciones "a medida" de las necesidades de un proyecto bajo pedido. Para obtener más detalles, consulte con su proveedor local.

6.10 Coeficiente térmico

El coeficiente térmico de expansión y contracción axial de las tuberías Flowtite es de 24 a 30 x 10⁻⁶ cm/cm/°C.

6.11 Coeficientes de flujo

Las pruebas realizadas con tubos Flowtite en instalaciones existentes muestran que el coeficiente de Colebrook-White es de 0,029mm in situ, lo que equivale a un coeficiente de Hazen Williams de aproximadamente $C = 150$. El coeficiente Manning es de $n = 0,009$.

Las **Figuras 6-2 y 6-3** que aparecen a continuación pueden ayudar al diseñador a calcular las pérdidas de carga asociadas al uso de tubos Flowtite.

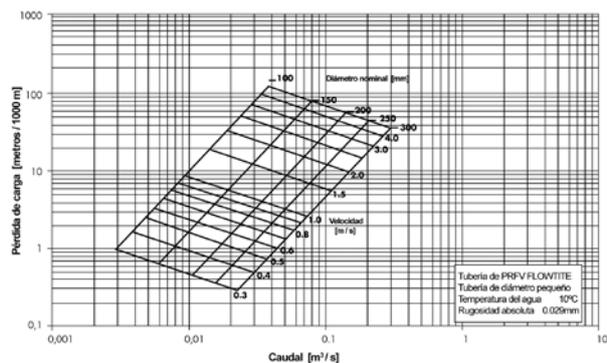


Figura 6-2 Pérdida de carga – diámetros pequeños

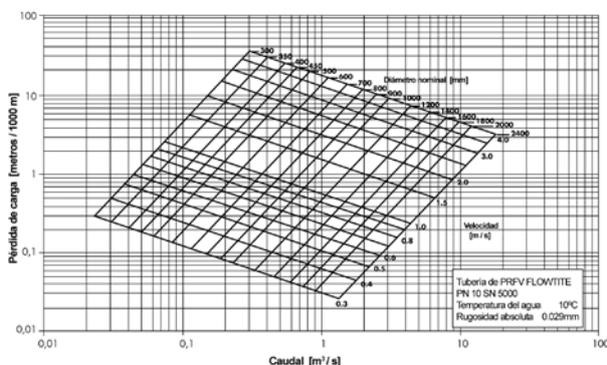


Figura 6-3 Pérdida de carga – diámetros grandes

6.12 Resistencia a la abrasión

En este contexto, el término “abrasión” se refiere al efecto que la arena u otros materiales afines ejercen sobre la superficie interior del tubo. Dado que las normas existentes no establecen un procedimiento de ensayo o método de medición homologado para determinar la resistencia a la abrasión, los tubos Flowtite han sido evaluadas de acuerdo al método Darmstadt Rocker, en el que los resultados varían según el tipo de material abrasivo utilizado en la prueba. Con la grava utilizada por el equipo de investigación de la Universidad Darmstadt, la pérdida media por abrasión en los tubos Flowtite es de 0,34 mm a 100 000 ciclos.

6.13 Presión externa de colapsamiento

En los casos en que la tubería pueda estar expuesta a presiones externas, como en tanques, sistemas submarinos, etc., la resistencia al colapsamiento (carga de colapso) puede ser importante.

La presión última mínima de colapsamiento en bar es:

$$P_B = 2,5 \cdot \frac{E_H}{1 - \mu_{XY}^2} \cdot \frac{t}{r_m} = \left(\frac{r_m}{t} \right)^3$$

La presión de colapsamiento utiliza la fórmula para tubos de pared delgada ($r/t > 10$). También está en función del diámetro/espaciado del coeficiente de rigidez.

! Nota: En aplicaciones industriales es práctica común utilizar el 75% de la presión última mínima de colapsamiento como tasa de presión externa.

En los tubos utilizados en entornos marinos, como los empleados en los bajos de los buques de alta mar, se usa el 30% de la presión última mínima de colapsamiento.

6.14 Características hidráulicas

Las características hidráulicas de los tubos Flowtite reducen las pérdidas de carga, minimizan los requisitos de energía de impulsión y optimizan el flujo en la tubería. Las características de flujo de los tubos Flowtite son comparables a las de los tubos de acero en diversos aspectos.

6.15 Flujo del líquido

Los tubos Flowtite presentan varias ventajas sobre otros tubos (metálicos y no metálicos), incluyendo:

- La superficie interior sumamente lisa resulta en una reducción de las pérdidas de carga así como de las exigencias de energía de impulsión, lo que conlleva a un abaratamiento de los costes de funcionamiento.
- La superficie interior permanece lisa durante toda la vida útil del tubo, lo que pone fin a una constante pérdida de carga.
- El diámetro interior de los tubos Flowtite es mayor que el de los tubos de acero o de termoplástico, lo que resulta en una capacidad de flujo mayor, un caudal menor y una pérdida de carga también menor.

6.15.1 Reducción de la pérdida de carga

En comparación con los tubos de acero, la lisura de la superficie interior de los tubos Flowtite supone una gran ventaja en cuanto se refiere a la reducción de las pérdidas de carga.

Durante muchos años, los ingenieros hidráulicos han utilizado el coeficiente de Hazen Williams como índice de rugosidad y el buen funcionamiento de los tubos.

El coeficiente Hazen Williams de los tubos Flowtite es = 150.

Los tubos Flowtite presentan otra ventaja, y es que la rugosidad de su superficie interior no cambia con el tiempo. La rugosidad de la superficie de los tubos de acero o de fundición aumenta con el tiempo debido a los efectos de la corrosión interna y el ataque de los productos químicos. Este no es el caso con Flowtite, ya que los tubos de PRFV son inmunes a la corrosión.

6.15.2 Cálculo de la pérdida de carga

En el caso de los tubos Flowtite, se pueden emplear los mismos métodos y fórmulas que con los tubos de metal para calcular la pérdida de carga, siempre que se tengan en cuenta características tales como la lisura de la superficie interior, las dimensiones y las características mecánicas del PRFV.

Ecuación Hazen Williams

La ecuación Hazen Williams es aplicable a las líneas de transporte de agua bajo condiciones de caudal en pleno flujo turbulento.

$$h_f = 240 \cdot 10^6 (100/C)^{1.85} (Q^{1.85}/d^{4.87})$$

- donde h_f = factor de fricción m de agua/100 m
 Q = caudal de flujo en l/seg
 ID = diámetro interior del tubo, m
 C = coeficiente de rugosidad Hazen Williams = 150 (valor típico para tubos de fibra de vidrio)
 L = longitud de la tubería, m

La pérdida de carga para cualquier líquido

$$P = (h_f)(SG)/0,102$$

- donde P = pérdida de carga, kPa
 SG = densidad específica del líquido

6.15.3 Ecuación de Manning

La ecuación de Manning se utiliza en tuberías de agua con flujo parcial. Este suele ser el caso de las líneas de gravedad, como pueden ser los sistemas de alcantarillado y de saneamiento en los que la tubería sólo está bajo la influencia de un desnivel.

$$Q_m = (1000/n) (S)^{0.5} (A) R^{0.667}$$

- donde Q_m = caudal de flujo, l/seg
 S = gradiente hidráulico de la pendiente = $(H_1 - H_2)/L$
 H_1 = proyección vertical aguas arriba, m
 H_2 = proyección vertical aguas abajo, m

- L = longitud de la tubería, m
 A = área de la sección transversal de los tubos, m^2
 R = radio hidráulico, m = A/W_p
 W_p = perímetro mojado del tubo, m
 n = coeficiente de rugosidad Manning = 0,009 (valor típico para tubos de fibra de vidrio).

6.15.4 Ecuaciones para los fluidos en las tuberías

La ecuación Darcy-Wesibach es aplicable a los fluidos que circulan a caudal lleno.

$$H_f = fL (v^2)/2(ID) g$$

- donde H_f = pérdida de carga, Pa (N/m^2)
 g = constante gravitacional = $9,81 m/s^2$
 f = coeficiente de rozamiento
 L = longitud de la tubería, m
 v = velocidad del fluido, m/s
 ID = diámetro interior del tubo, m

6.15.5 Ecuaciones para calcular el coeficiente de rozamiento

El coeficiente de rozamiento está en función de lo siguiente:

- Densidad del fluido
- Diámetro interior del tubo
- Velocidad del fluido
- Viscosidad dinámica del fluido

La suma de estas cuatro características forma lo que se conoce como R_e (número Reynolds)

$$R_e = \frac{vID}{\mu}$$

- donde v = velocidad del fluido, m/s
 ID = diámetro interior del tubo, m
 μ = viscosidad dinámica del fluido, Ns/m^2 (Pa s)

Si $R_e < 2000$ el flujo es laminar, entonces

$$f = \frac{64}{R_e}$$

$R_e > 4000$ el flujo es turbulento, entonces

$$1/f_t^{0.5} = -2 \log((e/ID)/3,7) + 2,51/(R_e)(f_t^{0.5})$$

- donde f = coeficiente de rozamiento
 K = rugosidad absoluta de la superficie interior, m
 ID = diámetro interior del tubo, m
 R_e = número Reynolds

Esta ecuación requiere una solución iterativa de tipo prueba y error. Una simplificación de la fórmula con una precisión del 1% podría ser:

$$f_t = (1,8 \log(R_e/7))^{-2}$$

6.15.6 Pérdida de carga en accesorios

Se puede calcular la pérdida de carga total en los accesorios utilizando la fórmula que sigue:

$$= \text{Sum } K \cdot (v^2/2g)$$

donde k = coeficiente de resistencia para cada tipo y configuración de accesorio
 V = velocidad en la tubería, m/s

6.15.7 Ecuación Darcy para “pequeñas pérdidas”

Para calcular las pérdidas en los sistemas de tubería que acusan tanto rozamiento en los tubos como pequeñas pérdidas se utiliza la fórmula que sigue:

$$(\text{Sum } K + f_t (L/ID))(v^2/2g)$$

donde $\sum(k)$ = suma de los coeficientes de rozamiento “k” para los accesorios en el tubo
 V = caudal
 g = constante gravitacional

Descripción	Coefficientes K
Codo estándar de 90°	0,400
Codo estándar, 0-30°	0,150
Codo estándar, 45-60°	0,240
T, salida recta	0,400
T, flujo a la derivación	1,400
T, flujo de la derivación	1,700
Reductor, reducción sencilla	0,075
Reductor, reducción doble	0,075

Tabla 6-5 Coeficientes de rozamiento para accesorios

7 Gama de productos

Los sistemas de tubería Flowtite se suministran en diámetros nominales DN 80 a DN 4000 mm, si bien existe la posibilidad de fabricar diámetros intermedios y superiores bajo pedido.

La serie estándar de tubos viene en los diámetros nominales (mm) que siguen:

100 · 150 · 200 · 250 · 300 · 350 · 400 · 450 · 500 · 600 · 700 · 800 · 900 · 1000
 1100 · 1200 · 1400 · 1600 · 1800 · 2000 · 2200 · 2400 · 2600 · 2800 · 3000

La gama de tubos (diámetros) que se fabrica localmente varía en función de las instalaciones de la planta. Para obtener más información, consulte con su proveedor Flowtite. En todo caso, existe la posibilidad de disponer de diámetros mayores, de DN 3000 hasta DN 4000, bajo pedido.

7.1 Clases de rigidez

La rigidez de un tubo es indicativa de su capacidad de resistir las cargas externas y presiones negativas. En otras palabras, es un exponente de su solidez y resistencia.

Se trata de la resistencia que ofrece un anillo de tubería sometido a un ensayo de deflexión de acuerdo con normas internacionales. Es el valor que resulta de dividir la presión necesaria para deformar la muestra en un 3% (norma ISO) por longitud unitaria de muestra. Las normas CEN e ISO obtienen la rigidez mediante la siguiente fórmula:

$$S = \frac{EI}{d_m^3}$$

donde

S = rigidez del tubo determinada mediante ensayo

E = módulo de elasticidad aparente

I = segundo momento de inercia, es el segundo momento de área por longitud unitaria de sección de pared de tubo en m^4 por m

$$I = \frac{t^3}{12}$$

donde t = espesor del tubo.

De acuerdo con la organización americana de normalización ASTM, la rigidez medida al 5% y expresada como $\frac{F}{\Delta_y}$ en N/m es la rigidez de la tubería y no la rigidez específica inicial “S” nombrada anteriormente, donde F = carga por unidad de longitud en N por m y Δ_y es la deflexión vertical en m. Los sistemas de tubería Flowtite muestran la rigidez específica inicial (EI/D^3) expresada en N/m^2 .

8 Montaje de tubos

01

02

03

04

05

06

07

08

09

10

11

Clase de rigidez SN	Rigidez (N/m ²)	Rigidez (ASTM) (psi)
2500	2500	18
5000	5000	36
10000	10000	72

Tabla 7-1 Clases de rigidez estándar

Existe la posibilidad de disponer de otras clases de rigidez bajo pedido. También se pueden fabricar sistemas de tubería con una rigidez "a medida" de las necesidades de un proyecto.

7.2 Presión

Los tubos Flowtite se suministran en las clases de presión nominal que figuran en la siguiente tabla:

Clase de presión PN	Rango de presión de servicio (bar)	Límite de diámetro superior
1 (gravedad)	1	3000
6	6	3000
10	10	2400
16	16	2000
20	20	1400
25	25	1400
32	32	1400

Tabla 7-2 Clases de presión estándar

Conviene tener en cuenta que no todas las clases de presión están disponibles en todos los diámetros y grados de rigidez. Para obtener más información, consulte con el fabricante local de tubos Flowtite o el Grupo Amiantit. También existe la posibilidad de fabricar tubos con clases de presión "a medida" de las especificaciones de cada proyecto bajo pedido.

Los rangos de presión nominal se han establecido de acuerdo con las especificaciones de las normas internacionales. Los tubos están calibrados para soportar la máxima presión de servicio, incluso cuando están enterrados a la máxima profundidad recomendada y están sometidos a cargas combinadas, tal como recomiendan estas normas.

7.3 Longitud

La longitud estándar de los tubos Flowtite es de 6 o 12 metros. No obstante, existe la posibilidad de fabricar tubos de hasta 18 m de longitud bajo pedido. Los tubos de diámetro inferior a 300 mm sólo están disponibles en unidades de 6 m de largo. Los sistemas de tubería Flowtite también se pueden suministrar en otras longitudes en el caso de pedidos especiales.

Por lo general los tubos Flowtite se unen mediante manguitos de PRFV dotados con doble anillo elastomérico. Todas las soluciones que incorporan tubos de PRFV Flowtite incluyen un sistema de articulación que garantiza el buen funcionamiento de la línea a lo largo de su vida de servicio estimada. El sistema también ofrece soluciones para las transiciones entre materiales, como en el caso de la conexión de tubos con válvulas y otros accesorios. Los tubos y manguitos se pueden suministrar por separado o bien con el manguito montado en uno de los extremos del tubo. Los manguitos llevan una junta de caucho elastomérico (sistema REKA) sobre una ranura de precisión para garantizar el sellado. También incluyen un tope en el centro del acoplamiento. La junta REKA ha sido utilizada con éxito durante más de 75 años.

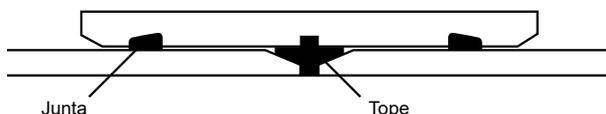


Figura 8-1 Junta estándar Flowtite

Las instalaciones a presión sometidas a fuerzas desequilibrantes y de empuje axial requieren el uso de macizos de hormigón o sistemas de juntas trabadas. En los sistemas de tubería normales los macizos de hormigón son utilizados para transferir el empuje al suelo natural. Un método alternativo consiste en utilizar tubos biaxiales y/o sistemas de junta trabada para absorber la totalidad del empuje axial de forma absolutamente fiable. Esto a menudo suple la necesidad de instalar bloques de hormigón y optimiza la eficiencia de la inversión en términos de tiempo y coste.

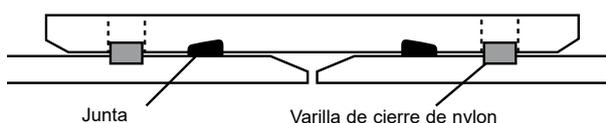


Figura 8-2 Junta trabada Flowtite

Desviación angular de la junta

Las juntas se someten a rigurosos ensayos que muestran su conformidad con las normas ASTM D4161, ISO DIS8639 y EN 1119. La desviación angular máxima (giro) en cada junta, medida en términos de la variación entre los ejes de tubos adyacentes, no debe exceder los valores que figuran en la **Tabla 8-1**.

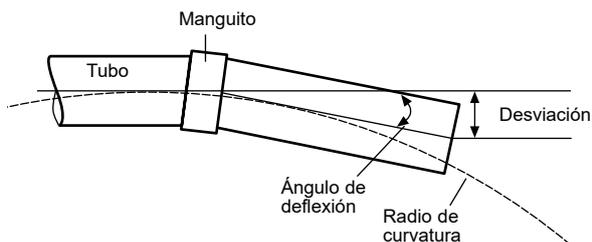


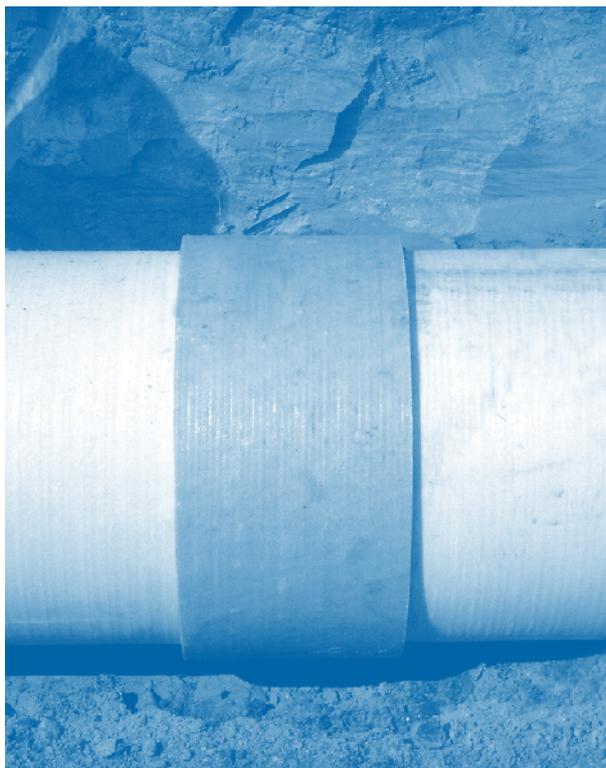
Figura 8-3 Desviación angular y radio de curvatura de la junta

Diámetro nominal del tubo (mm)	Presión (PN) en bar			
	Hasta 16	20	25	32
DN ≤ 500	3,0	2,5	2,0	1,5
500 < DN ≤ 800	2,0	1,5	1,3	1,0
800 < DN ≤ 1800	1,0	0,8	0,5	0,5
DN > 1800	0,5	NA	NA	NA

Tabla 8-1 Desviación angular en junta con maguito

Ángulo de deflexión (grados)	Desviación máxima (mm) Longitud del tubo			Radio de curvatura (m) Longitud del tubo		
	3 m	6 m	12 m	3 m	6 m	12 m
3,0	157	314	628	57	115	229
2,5	136	261	523	69	137	275
2,0	105	209	419	86	172	344
1,5	78	157	313	114	228	456
1,3	65	120	240	132	265	529
1,0	52	105	209	172	344	688
0,8	39	78	156	215	430	860
0,5	26	52	104	344	688	1376

Tabla 8-2 Desviación y radio de curvatura



8.1 Otros sistemas de unión

Bridas de PRFV

La plantilla de taladrado estándar utilizada en la fabricación de las bridas Flowtite cumple la norma ISO 2084. También se pueden utilizar otros estándares de taladrado como AWWA, ANSI, DIN y JIS. Existen bridas fijas y bridas locas de PRFV para todas las clases de presión.

Brida moldeada por contacto

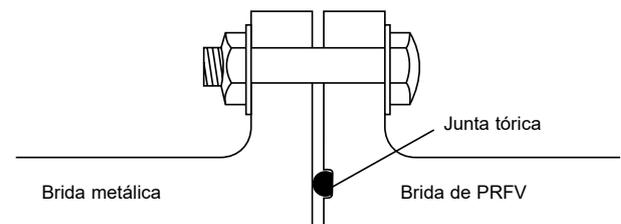


Figura 8-4 Unión por bridas

Brida fija

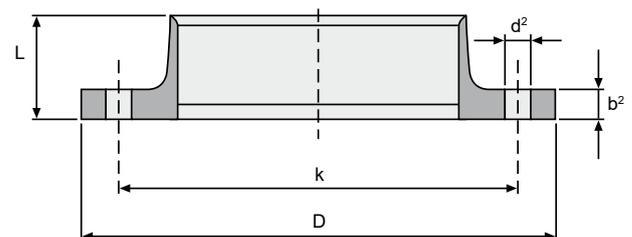


Figura 8-5 Brida fija

Brida loca

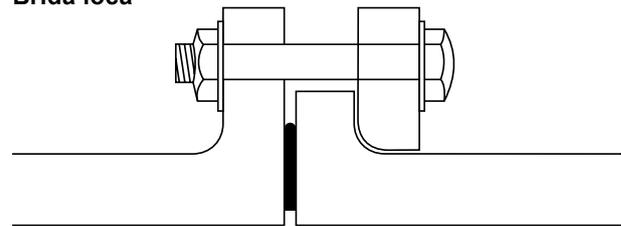


Figura 8-6 Brida loca con junta de goma con inserto de acero

Manguitos flexibles de acero

Los manguitos flexibles de acero son uno de los métodos más utilizados para unir tubos Flowtite con tubos de distintos materiales y diámetros exteriores. También se usan para unir secciones de tubería Flowtite, por ejemplo en una reparación o en un cierre de instalación. Estos manguitos consisten de una camisa de acero con un collar de goma interior que sella la unión. Existen tres tipos:

- Camisa de acero recubierta
- Camisa de acero inoxidable
- Camisa de acero galvanizado por inmersión en caliente

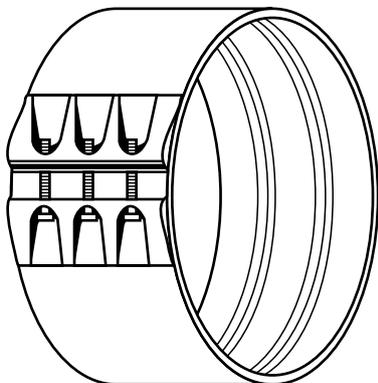


Figura 8-7 Manguito flexible de acero

Manguitos mecánicos de acero

Los manguitos mecánicos se suelen utilizar para ensamblar tubos de distintos materiales y diámetros, así como para adaptadores con salida embridada. Existe una amplia gama de diseños con características que varían de una marca a otra, incluido el tamaño del espárrago, la cantidad de pernos y el diseño de la junta, por lo que resulta imposible emitir una serie de recomendaciones generales para estos acoplamientos. Si se decide utilizar un manguito mecánico para unir un tubo Flowtite con otro de material distinto, entonces sólo se puede usar un manguito mecánico con sistema de doble cierre independiente que permita un apriete distinto del lado del tubo Flowtite, que por lo general requiere un par de apriete menor que el recomendado por los fabricantes de manguitos.

Se recomienda al cliente que, cuando contemple utilizar manguitos mecánicos en una instalación, se ponga en contacto con su proveedor local de tubos Flowtite. Deberá estar preparado para facilitarle cierta información sobre el diseño específico (marca y modelo) del manguito mecánico que pretende utilizar. El proveedor de tubos podrá aconsejarle sobre las condiciones bajo las que puede ser conveniente el uso de ese modelo con los tubos Flowtite.

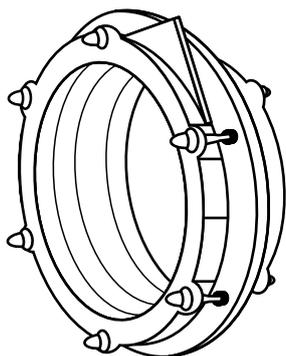


Figura 8-8 Manguito mecánico de doble cierre

Uniones laminadas

Las uniones laminadas se suelen emplear cuando se requiere la transmisión de los empujes axiales de la presión interior o para efectuar ciertos tipos de reparación. La longitud y el espesor de la laminación varían en función del diámetro y la presión de funcionamiento del tubo.

No dude en solicitar a su proveedor local información detallada sobre la disponibilidad local de sistemas de unión.

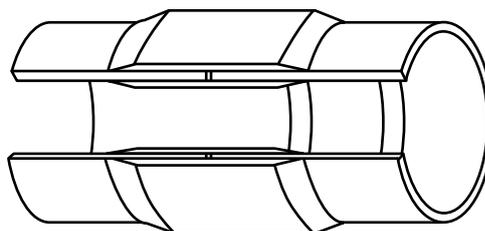


Figura 8-9 Unión por laminación química

9 Selección de tubos

La selección de tubos Flowtite se realiza en función de los requisitos de rigidez y clase de presión de un proyecto. El PRFV es un material flexible. El diseño se basa en la interacción del tubo y el suelo. A diferencia de los tubos de hormigón y otros materiales rígidos, el diseño del tubo tiene en cuenta las características del suelo natural y del material de relleno. La flexibilidad del tubo, conjuntamente con el comportamiento estructural natural de los suelos, proporciona una combinación ideal para la transferencia de las cargas verticales. En contraste con los tubos rígidos, que se rompen bajo una carga vertical excesiva, la flexibilidad y la alta resistencia de los tubos de PRFV permite su deformación y la redistribución de la carga al suelo circundante.

Tubos rígidos vs flexibles

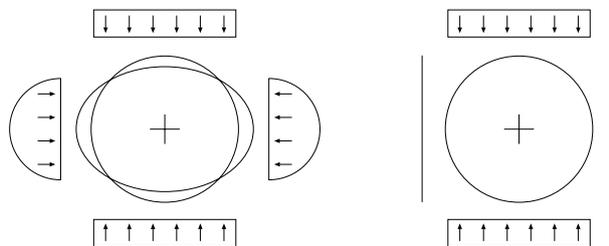


Figura 9-1 Tubo flexible

Tubo rígido

Rigidez

Las tuberías Flowtite se suministran en tres clases de rigidez. La clase de rigidez representa la rigidez inicial mínima (EI/D^3) del tubo en N/m^2 .

SN	N/mm^2
2500	2500
5000	5000
10000	10000

Tabla 9-1 Clases de rigidez

La rigidez necesaria se determina en función de dos parámetros: (1) las condiciones de enterramiento, incluidos el tipo de suelo natural, el tipo de material de relleno y la profundidad de recubrimiento, y (2) la presión negativa, si existiera.

Las características del suelo natural se determinan mediante el ensayo de penetración estándar de la norma ASTM D1586. En la **Tabla 9-2** se pueden observar algunos de los valores típicos de recuento de golpes necesarios para la penetración o la robustez del suelo según el tipo y la densidad de suelo.

La **Tabla 9-3** presenta una amplia gama de tipos de material de relleno con objeto de ofrecer la alternativa más económica para cada tipo de instalación. En muchos casos se puede usar la misma tierra (suelo natural) de la zanja como material de relleno.

La "Guía de instalación de tuberías enterradas – AWWA de Flowtite" detalla la máxima profundidad de recubrimiento admisible para las tres clases de rigidez disponibles y los seis tipos de suelo natural existentes, partiendo de la base de que la zanja es estándar y la deflexión a largo plazo es del 5% en tuberías de diámetro igual o superior a 300 mm y del 4% en tuberías de diámetro inferior a 300 mm.

La correlación entre la clasificación del material de relleno, los grupos de suelo natural, la rigidez del tubo y la profundidad de instalación aparece en la "Guía de instalación de tuberías enterradas – AWWA de Flowtite".

El segundo parámetro a tener en cuenta para determinar la clase de rigidez necesaria en una instalación es la presión negativa, si existiera. La **Tabla 9-4** (en la página 21) muestra la rigidez idónea para distintos niveles de presión negativa y profundidades de instalación.

La información que sigue no es sino una revisión parcial de los procedimientos de instalación. Su objetivo no es reemplazar las instrucciones de instalación que se deben seguir en cualquier proyecto.

Grupo de suelo natural	Suelos granulares		Suelos cohesivos		Módulo
	Número de golpes ¹	Descripción	q_u kPa	Descripción	M_{sn}
1	> 15	Compacto	> 200	Muy firme	34,50
2	8 - 15	Ligeramente compacto	100 - 200	Firme	20,70
3	4 - 8	Suelto	50 - 100	Medio	10,30
4	2 - 4		25 - 50	Blando	4,80
5	1 - 2	Muy suelto	13 - 25	Muy blando	1,40
6	0 - 1	Muy, muy suelto	0 - 13	Muy, muy blando	0,34

¹ Ensayo de penetración estándar según la norma ASTM D1586

Tabla 9-2 Grupos de rigidez de suelos naturales. Valores del módulo confinado, M_{sn}

Categoría de rigidez del material de relleno	Descripción del material de relleno
SC1	Roca triturada con menos del 15% de arena, máximo 25% menor de 9,5 mm y máximo 5% de finos ² .
SC2	Suelos de partículas gruesas limpios: SW, SP1, GW, GP o cualquier suelo que comience con uno de estos símbolos con 12% o menos de finos ² .
SC3	Suelos limpios de partículas gruesas con finos: GM, GC, SM, SC o cualquier suelo que comience con uno de estos símbolos con 12% o menos de finos ² . Suelos de arenilla o gravilla con partículas finas: CL, ML (o CL-ML, CL/ML, ML/CL) con 30% o más retenido en el tamiz no. 200.
SC4	Suelos de partículas finas: CL, ML (o CL-ML, CL/ML, ML/CL) con 30% o más retenido en el tamiz no. 200.

Nota: Los símbolos de la tabla corresponden a la Clasificación Estándar de Suelos ASTM D2487.
¹ La arena fina uniforme, SP, en la que más del 50% de los finos pasan por el tamiz no. 100 (0,15 mm), tiene un nivel muy alto de sensibilidad a la humedad y no se recomienda como material de relleno.
² % de finos se refiere al peso porcentual de partículas de suelo que pasan por el tamiz no. 200 con apertura de malla de 0,076 mm.

Tabla 9-3 Clasificación de materiales de relleno

DN mm	SN 2500			SN 5000			SN 10000		
	3 m	6 m	12 m	3 m	6 m	12 m	3 m	6 m	12 m
100	-	-	-	-	-	-	1,00	1,00	-
150	-	-	-	-	-	-	1,00	1,00	-
200	-	-	-	-	-	-	1,00	1,00	-
250	-	-	-	-	-	-	1,00	1,00	-
300	0,28	0,25	0,25	0,53	0,50	0,50	1,00	1,00	1,00
350	0,30	0,25	0,25	0,55	0,50	0,50	1,00	1,00	1,00
400	0,32	0,25	0,25	0,58	0,50	0,50	1,00	1,00	1,00
450	0,32	0,26	0,25	0,61	0,51	0,50	1,00	1,00	1,00
500	0,39	0,26	0,25	0,66	0,51	0,50	1,00	1,00	1,00
600	0,48	0,27	0,25	0,78	0,52	0,50	1,00	1,00	1,00
700	0,66	0,28	0,25	1,00	0,54	0,50	1,00	1,00	1,00
800	0,74	0,30	0,25	1,00	0,56	0,50	1,00	1,00	1,00
900	0,77	0,32	0,25	1,00	0,59	0,50	1,00	1,00	1,00
1000	0,82	0,36	0,26	1,00	0,64	0,51	1,00	1,00	1,00
1100	0,88	0,39	0,26	1,00	0,66	0,51	1,00	1,00	1,00
1200	0,95	0,46	0,26	1,00	0,77	0,52	1,00	1,00	1,00
1300	0,97	0,53	0,27	1,00	0,85	0,52	1,00	1,00	1,00
1400	1,00	0,62	0,28	1,00	0,98	0,53	1,00	1,00	1,00
1600	1,00	0,73	0,29	1,00	1,00	0,56	1,00	1,00	1,00
1800	1,00	0,77	0,32	1,00	1,00	0,59	1,00	1,00	1,00
2000	1,00	0,81	0,35	1,00	1,00	0,63	1,00	1,00	1,00
2200	1,00	0,87	0,40	1,00	1,00	0,69	1,00	1,00	1,00
2400	1,00	0,94	0,45	1,00	1,00	0,76	1,00	1,00	1,00
2600	1,00	1,00	0,50	1,00	1,00	0,84	1,00	1,00	1,00
2800	1,00	1,00	0,55	1,00	1,00	0,92	1,00	1,00	1,00
3000	1,00	1,00	0,60	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00

Tabla 9-4 Máxima presión negativa admisible (bar) en secciones no enterradas – longitud de tubo entre anclajes 3 m / 6 m / 12 m

Para asegurar la larga vida y el buen funcionamiento de los productos Flowtite es preciso manejar e instalar los tubos y los accesorios adecuadamente. También es imprescindible que tanto el propietario como el ingeniero y el contratista de la obra comprendan que los tubos de PRFV han sido diseñados para utilizar el lecho y la zona de relleno al lado del tubo como apoyo, de conformidad con los procedimientos de instalación recomendados. Nuestra dilatada experiencia de ingeniería ha demostrado que los materiales granulares compactados debidamente son un material de relleno idóneo para los tubos de PRFV. Juntos, el tubo y el material del lecho forman un sistema tubería-suelo de alto rendimiento que garantiza el funcionamiento a largo plazo de la instalación. Las instrucciones de instalación completas aparecen en la Guía de instalación de tuberías enterradas – AWWA de Flowtite.

La información que sigue no es sino una revisión parcial de los procedimientos de instalación. Su objetivo no es reemplazar las instrucciones de instalación que se deben seguir en cualquier proyecto.

Parámetros aplicables al diseño de la instalación

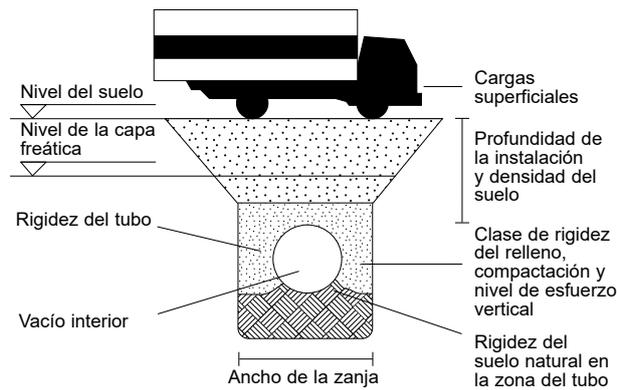


Figura 10-1 Parámetros aplicables al diseño de la instalación

Asiento

El asiento de la zanja debe estar formado de material adecuado para ofrecer un apoyo continuo y uniforme a la tubería.

Revisión del tubo instalado

Después de la instalación de cada tubo se debe revisar la máxima deflexión vertical. Con las tuberías Flowtite, este es un procedimiento rápido y fácil de llevar a cabo.

Deflexión vertical de la tubería instalada

La máxima deflexión vertical inicial permitida se debe ajustar a los siguientes valores:

> DN 300	≤ DN 250
3 %	2,5 %

Tabla 10-1 Máxima deflexión vertical inicial admisible

La máxima deflexión vertical admisible a largo plazo es de 5% para tubos de diámetro igual o superior a 300 mm y de 4% para tubos de diámetro inferior a 300 mm. Estos valores son aplicables a todas las clases de rigidez.

No se admiten abultamientos, zonas planas ni otros cambios bruscos de la curvatura de la pared del tubo. Se debe evitar todo tipo de cargas puntuales. Si las instalaciones no cumplen estos requisitos, es posible que los tubos no funcionen como es debido.

Para mayor información consulte la "Guía de instalación de tuberías enterradas – AWWA" y la "Guía de instalación de tuberías aéreas sin juntas trabadas de Flowtite".

Pozos / Cámaras de válvulas

Los modelos normales de pozos de registro y cámaras de válvulas Flowtite se utilizan de forma preferente en la instalación de redes de saneamiento y sistemas cerrados a presión, así como en la instalación de accesorios y estructuras. Amiantit cuenta con dos modelos de pozos de registro: uno estándar y otro tangencial. El pozo estándar viene con un conducto de fibra de vidrio conectado a la parte inferior del pozo y se fabrica de conformidad con las normas locales de cada país. Nuestra gama de pozos de registro se distingue por su peso ligero y su alto grado de estanquidad.

Es posible adaptar la configuración, ubicación y dimensión de los tubos de entrada y salida, así como del canal interior, a las condiciones del emplazamiento. Las piezas de conexión a los tubos son estancas y se pueden fabricar para que coincidan con cualquier tipo de tubo utilizado. Tanto las pendientes como los ángulos de los canales de drenaje y las derivaciones para las ventosas se pueden diseñar según los requisitos del proyecto.

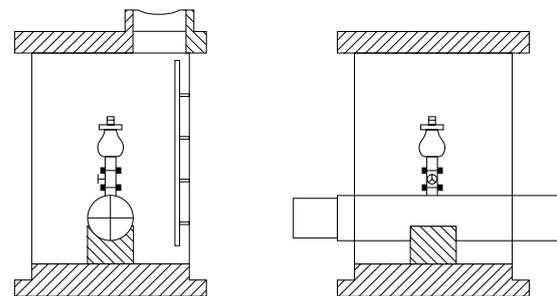


Figura 10-2 Cámaras de válvulas

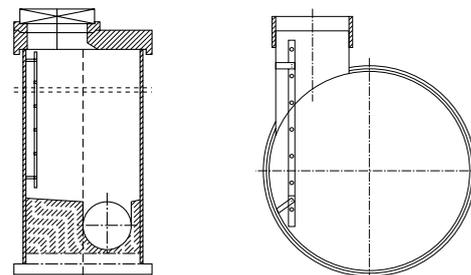


Figura 10-3 Pozo estándar y tangencial

Accesorios

Flowtite Technology ha desarrollado una línea estándar de accesorios de PRFV fabricados y/o moldeados con las mismas materias primas que se usan en la producción de los tubos Flowtite. Una de las ventajas del sistema Flowtite es la capacidad que tiene de fabricar una gran variedad de accesorios, tanto normales como a medida.

Los accesorios Flowtite se fabrican en las clases de presión que figuran a continuación:

Clase de presión PN	Rango de presión de servicio (bar)	Límite de diámetro superior
1 (gravedad)	1	3000
6	6	3000
10	10	2400
16	16	2000
20	20	1400
25	25	1400
32	32	1400

Tabla 10-2 Gama de productos

Requisitos de contención

La información sobre accesorios presentada en este manual es aplicable a los tubos Flowtite utilizados en instalaciones enterradas. Las estructuras de estos accesorios requieren que el accesorio sea instalado de acuerdo con las instrucciones Flowtite para la manipulación e instalación de tubos en sistemas enterrados. Estas instrucciones presuponen que se resistirán las fuerzas axiales por medio de macizos de anclaje. Lo que sigue es un resumen orientativo. Antes de proceder a realizar una instalación se debe consultar las instrucciones de instalación Flowtite.

Restricción de las fuerzas de empuje

Cuando una línea trabaja bajo presión, se producen desequilibrios debidos a las fuerzas de empuje que actúan sobre los codos, reductores, derivaciones en T, derivaciones en Y, compuertas y otros accesorios utilizados para introducir un cambio en la dirección de la línea. De ahí que se deban restringir las fuerzas de empuje para impedir la separación de los tubos en estos puntos. Cuando el suelo natural no proporciona la restricción necesaria, se debe recurrir al uso de macizos de anclaje. El departamento técnico del constructor es responsable de determinar el diseño y las especificaciones de estos macizos. Son aplicables las limitaciones que siguen.

Macizos de anclaje

Los macizos de anclaje deben limitar el desplazamiento del accesorio en relación al tubo adyacente con objeto de preservar la estanqueidad de la junta del manguito Flowtite. La deflexión angular resultante debe ser menor

a la indicada. El bloque debe envolver el accesorio en toda su longitud y circunferencia y debe ser colocado sobre un suelo sólido o nivelado con materiales de relleno adecuados a las características del suelo natural.

Estos macizos son aplicables a:

- 1 Todos los codos, reductores, compuertas y bridas ciegas.
 - 2 Las derivaciones en T*, cuando la derivación es concéntrica con el eje de la tubería principal.
- ! **Nota***: No es necesario revestir con hormigón las conexiones con toberas.

Las toberas son conexiones en T que cumplen los siguientes criterios:

- 1 Diámetro de la tobera < 300 mm.
- 2 Diámetro de la tubería principal > 3 veces el diámetro de la tobera.
- 3 Cuando la tobera no es concéntrica y/o no es perpendicular al eje de la tubería principal, se considerará como diámetro de la tobera la longitud de la cuerda más larga formada sobre la tubería principal en la intersección de la tobera con la tubería.

Se requiere el uso de este tipo de bloque para los accesorios que siguen cuando la presión de la línea es superior a 100 kPa (1 bar):

- 1 Bifurcaciones.
- 2 Accesorios especiales.

Instrucciones generales

Los modelos estándar de tubos y accesorios Flowtite se unen mediante juntas de manguito capaces de resistir un empuje axial limitado:

Uno de los métodos más comunes para restringir las fuerzas de empuje consiste en utilizar macizos de anclaje. Con ellos se trasladan las fuerzas de empuje al suelo a través de la mayor área de contacto del macizo, de forma que la presión resultante contra el suelo no exceda la capacidad de resistencia horizontal del suelo.

El diseño de los macizos de anclaje requiere la determinación del área de contacto adecuada para un conjunto particular de condiciones. Los parámetros involucrados en el diseño incluyen el tamaño del tubo, la presión de diseño, el ángulo del codo (o la configuración del accesorio en cuestión) y la resistencia de soporte horizontal del suelo. A continuación figuran los criterios generales para el diseño de macizos de anclaje.

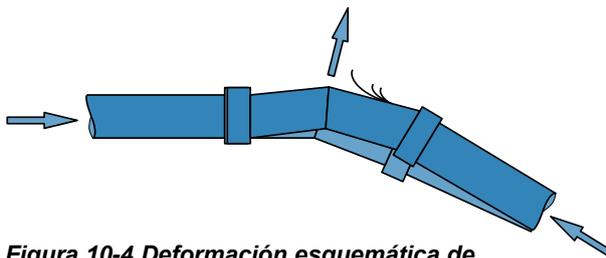


Figura 10-4 Deformación esquemática de accesorios inducida por fuerzas de empuje

Con objeto de prevenir la separación de los tubos o la incidencia de fugas, se restringen las fuerzas de empuje mediante el uso de macizos de anclaje de hormigón que transfieren la carga al suelo natural:

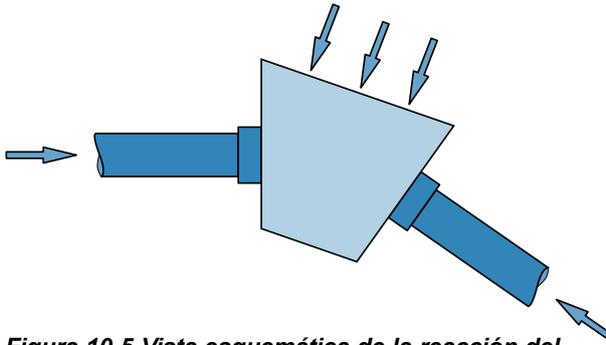


Figura 10-5 Vista esquemática de la reacción del hormigón

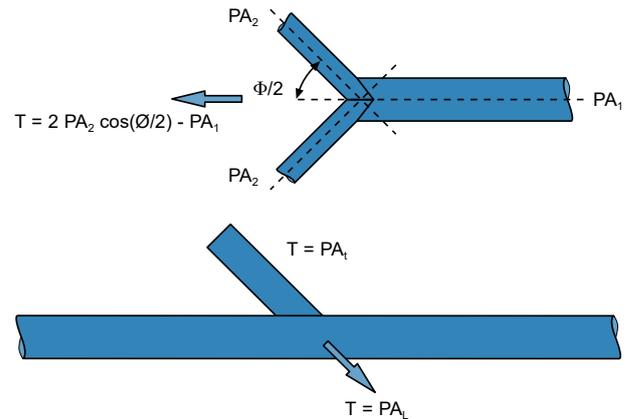
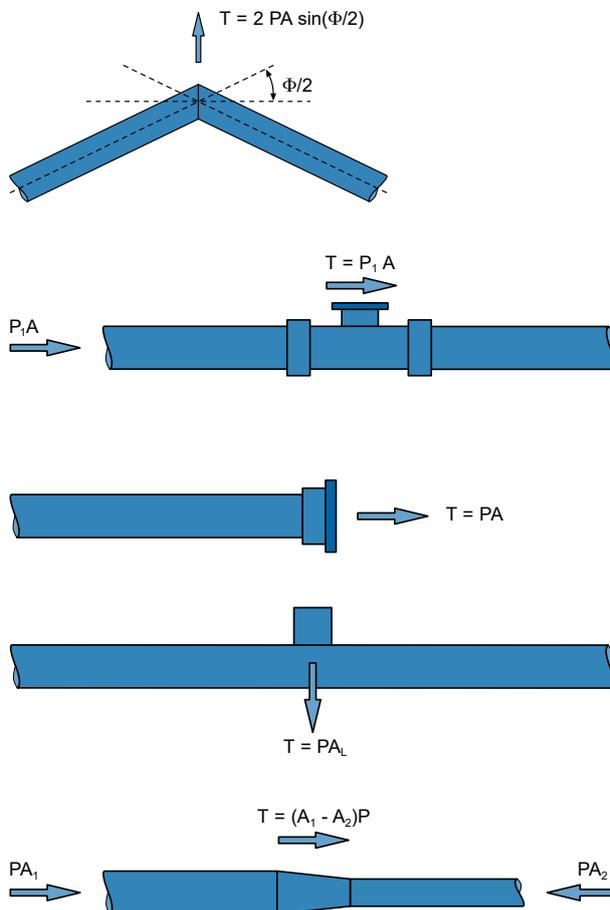


Figura 10-6 Fuerzas de empuje

El diseño de los accesorios Flowtite se basa en lo siguiente:

- Los macizos de hormigón deben envolver los accesorios en toda su longitud y circunferencia. Los accesorios Flowtite no han sido diseñados para una envoltura parcial.
- El movimiento de los macizos de anclaje se debe limitar a la deformación máxima admisible para juntas adyacentes.
- Los macizos enterrados transmiten la carga al suelo mediante una traslación directa del empuje.
- La fricción del suelo también proporciona una resistencia parcial.
- La superficie de contacto del macizo debe ir colocada contra suelo sólido siempre que sea posible. Cuando no lo sea, la compactación del material de relleno no debe ser inferior a 90% Próctor Normal.
- El tamaño de soporte del macizo de anclaje depende de la fuerza de empuje y la resistencia del suelo:
 - $A_T = h \times b = T \times SF/\sigma$
 - Donde h es la altura del bloque, b es la anchura del bloque, T es la fuerza de empuje, SF es el coeficiente de seguridad ($= 1,5$) y σ es la capacidad de resistencia del suelo.
- La fuerza de empuje se debe basar en la presión de prueba de la tubería, por lo general $1,5 \times PN$.

La superficie de contacto del macizo se debe colocar contra el suelo sólido perpendicular a, o centrado con, la dirección de la línea del empuje.

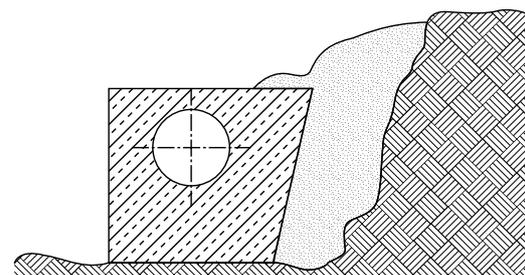


Figura 10-7 Punto de interferencia entre el macizo de anclaje y el suelo sólido

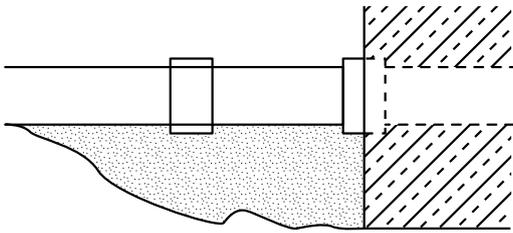


Figura 10-8 Posición de las juntas con un macizo de anclaje

La profundidad de instalación hasta la parte superior del macizo de anclaje debe ser al menos igual a su altura para evitar fallo a cortante del suelo. La anchura del macizo debe ser entre 1 y 2 veces su altura, con objeto de garantizar una distribución equilibrada de la carga. Cuando sea posible, se debe hormigonar la junta de acoplamiento en la transición hormigón-tubo.

Cuando esto no sea posible, se deberá usar una banda de caucho para envolver el tubo antes de instalarlo para facilitar la transición desde el interior del hormigón al exterior. Asimismo, se deberá asegurar la compactación del material debajo del tubo para prevenir un asentamiento diferencial de la estructura. Se debe dejar que el hormigón fragüe durante al menos siete días antes de proceder a realizar cualquier ensayo a presión en la tubería.

La tabla que sigue muestra el empuje calculado con 1 bar y ensayado a 1,5 * presión nominal.

DN mm	Empuje de 1 bar (cálculos basados en una presión de ensayo de 1,5 * PN)						Te con derivación = ND
	90	60	45	30	22,5	15	
100	1,67	1,18	0,90	0,61	0,46	0,31	1,18
150	3,75	2,65	2,03	1,37	1,03	0,69	2,65
200	6,66	4,71	3,61	2,44	1,84	1,23	4,71
300	14,99	10,60	8,12	5,49	4,14	2,77	10,60
350	20,41	14,43	11,05	7,47	5,63	3,77	14,43
400	26,66	18,85	14,43	9,76	7,35	4,92	18,85
450	33,74	23,86	18,26	12,35	9,31	6,23	23,86
500	41,65	29,45	22,54	15,24	11,49	7,69	29,45
600	59,98	42,41	32,46	21,95	16,55	11,07	42,41
700	81,64	57,73	44,18	29,88	22,52	15,07	57,73
800	106,63	75,40	57,71	39,03	29,42	19,68	75,40
900	134,95	95,43	73,04	49,40	37,23	24,91	95,43
1000	166,61	117,81	90,17	60,98	45,97	30,75	117,81
1200	239,92	169,65	129,84	87,82	66,19	44,29	169,65
1400	326,55	230,91	176,73	119,53	90,10	60,28	230,91
1600	426,52	301,59	230,83	156,12	117,68	78,73	301,59
1800	539,81	381,70	292,14	197,58	148,93	99,64	381,70
2000	666,43	471,24	360,67	243,93	183,87	123,02	471,24
2200	806,38	570,20	436,41	295,16	222,48	148,85	570,20
2400	959,66	678,58	519,37	351,26	264,77	177,15	678,58
2600	1126,27	796,39	609,53	412,24	310,74	207,90	796,39
2800	1306,21	923,63	706,91	478,11	360,38	241,12	923,63
3000	1499,47	1060,29	811,51	548,85	413,70	276,79	1060,29

Tabla 10-3 Empuje a presión de 1 bar

Resistencia de soporte del suelo

La carga horizontal que puede soportar el suelo es muy variable, y depende del grado de confinamiento y el ángulo de fricción del suelo. Esto se puede determinar a través de la mecánica de suelos.

La tabla que sigue da una aproximación de la carga que pueden soportar varios tipos de suelo. El ingeniero de diseño debe seleccionar la resistencia de soporte adecuada al tipo de suelo en la obra.

Suelo	Resistencia de soporte σ kN/m ²
Fango	0
Arcilla suave	50
Limo	75
Limo arenoso	150
Arena	200
Arcilla arenosa	300
Arcilla dura	450

Tabla 10-4 Valores de resistencia de soporte

Ejemplo de diseño:

DN 600 PN 10 y un codo de 30° en arcilla arenosa.

La fuerza de empuje es:

$$T = 2 * 1,5 * 1 * 280000 \text{ seno } (30/2) = 217 \text{ kN}$$

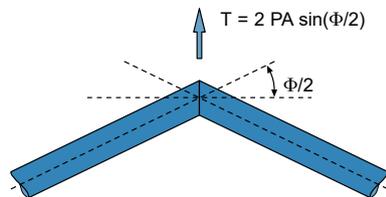


Figura 10-9 Fuerza de empuje

La resistencia de soporte σ es= 300 kN/m².

$$A_T = hxb = T FS/\sigma = 217*1,5/300 = 1,1 \text{ m}^2.$$

El coeficiente de reacción de subsuelo para la arcilla arenosa se puede establecer en 70 kN/m².

Por lo que se puede calcular el movimiento en:

$$D = 217/(1,1*70) = 3 \text{ mm}$$

Sistemas e instalaciones especiales

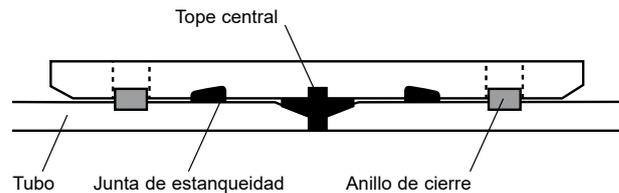
Sistema de tubería biaxial

Unión de sistemas biaxiales

El uso de sistemas biaxiales con juntas trabadas para absorber el empuje axial a menudo suple la necesidad de instalar bloques de anclaje. Esto no sólo optimiza la eficiencia de la inversión en términos de tiempo y coste, sino que también constituye una solución más sencilla desde el punto de vista de la instalación. El sistema aúna el alto rendimiento de sellado de la junta con un sistema de trabado para transferir el empuje axial a los tubos adyacentes.

Los tubos de fibra de vidrio fabricados conforme a las "Especificaciones de Fabricación y Procesamiento de la Tecnología Flowtite" son conductos compuestos flexibles elaborados a partir de refuerzos de fibra de vidrio, materiales de relleno seleccionados y una resina de poliéster termoestable resistente a los productos químicos.

El sistema de tubería biaxial de Flowtite ha sido diseñado para resistir la totalidad del empuje axial además de la carga circunferencial. La resistencia axial necesaria se consigue a través de un refuerzo adecuado de hilos cortados. La carga axial se traslada de una sección de tubo a otra a través de las juntas de restricción de empuje (biaxiales): el sistema de anillo de retención o las uniones laminadas. Para las juntas trabadas, se aumenta el espesor de la espiga del tubo para acomodar la ranura de retención. Fuera del área de la espiga, el tubo tiene un diámetro exterior estándar (adecuado para acoplamientos estándares y juntas laminadas). El aumento del espesor se consigue a través de un laminado manual o se crea directamente en la enrolladora Flowtite.



Los tubos se fabrican en la enrolladora CW 3000 de Flowtite Technology con una dosificación controlada de materias para garantizar la uniformidad de las propiedades del tubo de una sección a otra.

Aplicación

Los tubos han sido diseñados para transportar agua con o sin presión en aplicaciones enterradas.

Ejemplos:

- Agua pluvial (de tormenta)
- Agua potable
- Agua bruta
- Agua para riego
- Transmisión de agua salada
- Sistemas de protección contra incendios
- Sistemas de refrigeración
- Tuberías de carga, etc.

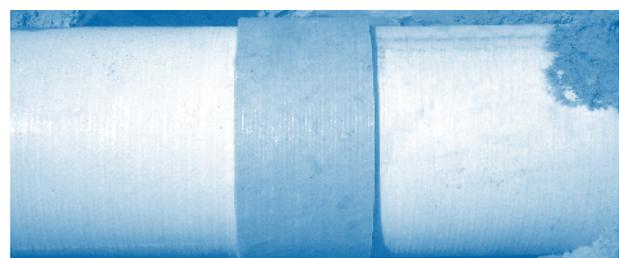
Sistemas combinados

Las fuerzas desequilibradas que actúan sobre los accesorios y los cambios de dirección en una línea se pueden resistir mediante el uso de las juntas trabadas mencionadas arriba. Los tubos se traban para aumentar la resistencia de rozamiento de los tubos unidos y para resistir el empuje sobre las juntas. El empuje gradualmente disminuye a un valor cero a una distancia L comúnmente conocida como la longitud de restricción. Más allá de esta longitud de restricción L el tubo no experimentará empuje alguno y por lo tanto se podrá utilizar una junta estándar.

Las ecuaciones para calcular la longitud de restricción aparecen en el capítulo 7 del manual AWWA M45.

Para desviaciones horizontales

$$L_{\text{bend}} = \frac{PA \sin(\Delta/2)}{f(2W_e + W_p + W_u)}$$



donde: f = resistencia de rozamiento, en N/m
 W_e = peso de la capa de tierra por encima del tubo, en N/m
 W_p = peso del tubo, en N/m
 W_w = peso del fluido en el tubo, en N/m

Para una compuerta o una derivación en T

$$L_{\text{bulk}} = \frac{PA}{f(2W_e + W_p + W_w)}$$

donde L = longitud de restricción a cada lado del acoplamiento.

Instalación sin zanja

El crecimiento registrado en muchas áreas urbanas puede dificultar la apertura de zanjas y la alteración de las condiciones de la superficie del suelo para instalar, reemplazar o renovar las redes de tubería subterránea. La instalación sin zanja permite revestir las tuberías existentes mediante la técnica de "slip-lining" o revestimiento por deslizamiento. Esta técnica consiste en instalar un tubo nuevo dentro del tubo deteriorado. Otro método de instalación de tuberías sin zanjas es el denominado "jacking" o hincas de tubos por empuje, que consiste en abrir un agujero en el suelo e introducir la tubería a través de la nueva excavación. Flowtite Technology dispone de productos/tecnologías especialmente diseñados para estas nuevas técnicas de instalación.

Slip-lining

Flowtite utiliza un proceso de fabricación único que le permite fabricar tubos ajustados a los requisitos específicos de cada proyecto. Gracias a la capacidad de producir tubos de diámetros adaptados a las necesidades del cliente, Flowtite puede fabricar productos de medidas óptimas que, al ceñirse al diámetro interno de la tubería existente, mantienen un caudal óptimo y facilitan la instalación de la nueva tubería. Los tubos Flowtite se pueden ensamblar fuera de la tubería deteriorada antes de ser introducidos en ella mediante un procedimiento de empuje. El proceso de inserción se puede llevar a cabo incluso con flujos bajos (menos de 1/3 lleno). En los casos que requieran que los tubos se empujen grandes distancias, se puede fabricar tubos con anillos de empuje en las espigas, lo que permite transmitir hasta 40 toneladas por metro de circunferencia a través de la junta sin afectar su capacidad de sellado. Esto es especialmente importante en la rehabilitación de líneas a presión. En el caso de diámetros muy grandes (más de 1600 mm), los tubos se pueden transportar utilizando un anclaje de leva ligero y ensamblar en su posición final. La capacidad de producir tubos de longitudes variables (la gama estándar comprende tubos de 6, 12 y 18 m) también minimiza el tiempo de instalación, lo que redundará en una reducción de los costes de instalación y, también, de la duración de la interrupción de servicio de la tubería en proceso de rehabilitación.

Características y ventajas

Diámetro de encargo

- Minimiza la reducción de la dimensión interior del tubo existente y maximiza la capacidad de caudal.

Longitud a medida

- Maximiza la sencillez y rapidez de instalación, minimizando el tiempo de interrupción de servicio de la instalación.

Flowtite también fabrica un tubo especial para aplicaciones de slip-lining. Éste incorpora una junta de conexión lisa que no sobresale del tubo, lo que permite unir el diámetro interno de la tubería existente con el diámetro externo de la espiga del tubo de hincas. Los tubos para slip-lining con juntas lisas están disponibles en SN 5000 y SN 10000 con diámetros que van de 600 a 1900 mm.

Jacking / micro-tunnelling (tuberías de hincas)

Los tubos de hincas diseñados por Flowtite se fabrican con un material compuesto de poliéster reforzado con fibra de vidrio y hormigón que posee las ventajas de ambos materiales. El poliéster reforzado los hace resistentes a la corrosión y a la presión, mientras que la capa exterior de hormigón les permite soportar la tensión generada durante el empuje en el proceso de hincas de la tubería. Debido a la resistencia a la presión hidrostática de estos tubos, ahora es posible instalar sistemas de saneamiento y de abastecimiento de agua con presión con la técnica de instalación sin zanjas.

Características y ventajas

Material resistente a la corrosión

- Todas las ventajas del material estándar (PRFV) de los tubos Flowtite

Tecnología de manguito Flowtite

- Presiones nominales iguales a las de los tubos estándar Flowtite.

Capa externa de hormigón

- Hace posible empujar la tubería de PRFV de la misma forma que un tubo de otro material.

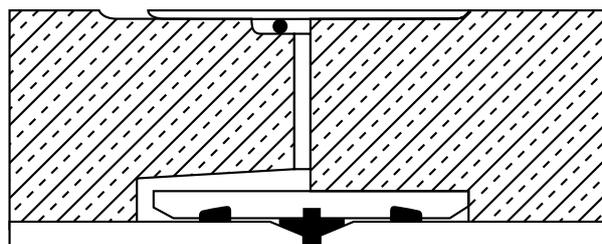


Figura 10-10 Sistema de hincas de Flowtite

Derivación de tuberías de agua

La derivación es el proceso por medio del cual se conecta una toma a una línea existente.

El procedimiento requiere que se extremen las precauciones para asegurar la estanqueidad de la unión y la integridad del tubo y de la manga de toma, que deben estar libres de daños. Se ha demostrado que el producto más indicado para usar con los tubos de PRFV de Flowtite es la manga de toma flexible de acero inoxidable. La línea derivada debe ser capaz de resistir una presión de 2 x PN (doble de la presión nominal del tubo) sin fugas o daños a la tubería.

Es imprescindible que el par de apriete sea lo suficientemente alto como para garantizar la estanqueidad, pero no tan alto como para dañar el tubo. A estos efectos, se ha de tener presente que los valores del par de apriete recomendados por el fabricante de la manga pueden ser demasiado altos para los tubos de PRFV. Se ha demostrado que las mangas de toma rígidas de hierro fundido ejercen demasiada presión sobre el tubo de PRFV, por lo que se debe evitar su uso. Las máquinas de perforación de toma, que pueden ser manuales o mecánicas, deben ser capaces de resistir la presión interna del tubo si se realiza una derivación en funcionamiento. El avance del útil de corte no debe exceder los 0,5 mm por revolución con objeto de evitar dañar y descascarillar la superficie del tubo. El cortador puede ser metálico (de acero) o diamantado y debe tener dientes finos poco espaciados. Para obtener instrucciones detalladas sobre este procedimiento e información acerca de las marcas de manga de toma recomendadas, consulte con su proveedor Flowtite.

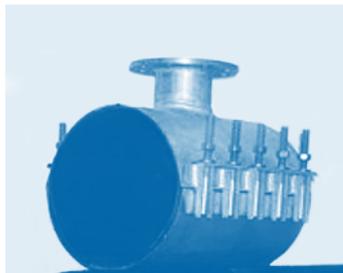


Figura 10-11 Mangas de toma recomendadas para uso con tubos de PRFV

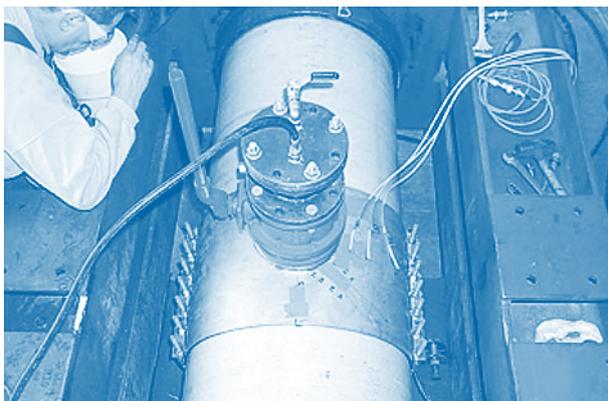


Figura 10-12 Ensayo de presión de la unidad manga-válvula

Instalaciones subacuáticas

El PRFV está entre los materiales más adecuados para la construcción de tomas de carga y emisarios submarinos. Los tubos se pueden sumergir y unir bajo el agua o montar en superficie y, una vez acoplados, remolcar al sitio donde se va a realizar la instalación. El procedimiento de instalación puede variar. Flowtite proporcionará al cliente instrucciones de instalación en función de las especificaciones del proyecto y las condiciones climáticas y orográficas del emplazamiento.

Las fotografías que aparecen abajo muestran dos instalaciones subacuáticas recientes.



Instalaciones aéreas

Los tubos de PRFV Flowtite son aptos para uso en instalaciones aéreas. El sistema de tubería puede ir suspendido o montado sobre soportes. Flowtite ha elaborado un manual especial, la "Guía de instalación de tuberías aéreas sin juntas trabadas", en el que proporciona toda la información necesaria para conseguir una instalación aérea correcta. En este tipo de aplicación se debe tener muy presente las fuerzas de empuje desequilibradas que actúan sobre los accesorios. Debido al bajo coeficiente de expansión lineal, las diferencias de temperatura, aún cuando son mucho mayores que en los sistemas enterrados, no tienen gran importancia. El efecto de las fluctuaciones térmicas es ajustado por el sistema de juntas y el tipo de soportes.

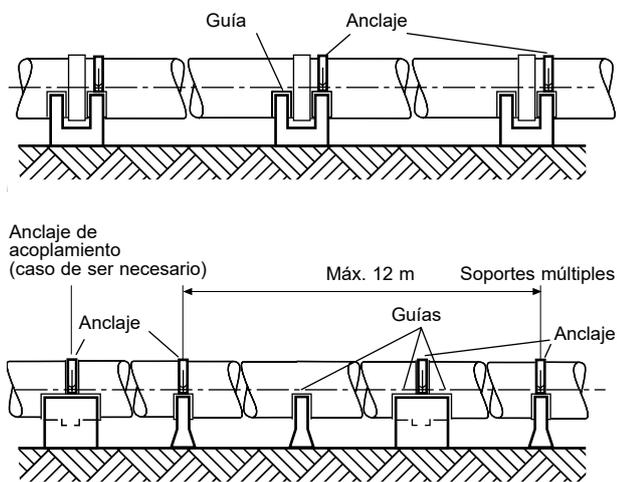


Figura 10-13 Disposición típica de soportes

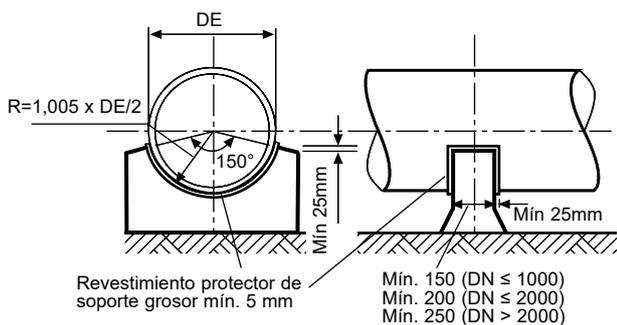


Figura 10-14 Diseño de soportes

11 Apéndice A / Guía de resistencia química para tuberías

La información que figura en esta guía ha sido recopilada a partir de la información de resistencia a la corrosión obtenida de los fabricantes que suministran resinas a Flowtite. Al seleccionar un producto se deben tener en cuenta las especificaciones y los requisitos individuales de cada proyecto. La temperatura máxima es de 50° C, a menos que se especifique lo contrario en el listado. Para información sobre los productos químicos que no figuran en el listado, consulte con un representante de Flowtite.

	Resina estándar o viniléster	Sólo viniléster	No recomendable
Aceite de linaza*	•		
Aceite de silicona	•		
Aceites minerales*	•		
Acetato de cobre, estado acuoso (40° C)	•		
Acetato de plomo, estado acuoso	•		
Ácido acético < 20%		•	
Ácido adípico		•	
Ácido benzoico*		•	
Ácido bórico		•	
Ácido bromhídrico			•
Ácido butírico, < 25% (40° C)**		•	
Ácido cítrico, estado acuoso (40° C)			•
Ácido clorhídrico, hasta el 15%	•		
Ácido clorocético			•
Ácido esteárico*	•		
Ácido fluorhídrico			•
Ácido fosfórico		•	
Ácido fosfórico (40° C)	•		
Ácido ftálico (25° C)**		•	
Ácido láctico, 10%	•		
Ácido láctico, 80% (25° C)	•		
Ácido laurico	•		
Ácido nítrico			•
Ácido oléico	•		
Ácido oxálico, estado acuoso	•		
Ácido perclórico		•	
Ácido sulfhídrico, seco		•	
Ácido sulfónico de benceno (10%)*		•	
Ácido sulfónico de tolueno**		•	
Ácido sulfúrico, < 25% (40° C)*		•	
Ácido tánico, estado acuoso	•		
Ácido tartárico		•	
Agua de mar	•		
Agua de grifo	•		
Agua destilada		•	
Aguas negras, residuales y cloacales (50° C)	•		
Alcohol de azúcar de caña		•	
Alcohol de azúcar de remolacha		•	
Alumbre (sulfato potasio de aluminio)	•		
Amoniaco, estado acuoso < 20%		•	
Azufre			•

! Nota: Este listado no pretende ser más que una herramienta de orientación básica para ayudar al cliente a seleccionar el tubo Flowtite más adecuado para su aplicación. La responsabilidad final en cuanto a la determinación de la idoneidad de un sistema de resinas en particular para un entorno de proyecto específico es del cliente. El listado ha sido elaborado a partir de la información

	Resina estándar o viniléster	Sólo viniléster	No recomendable
Bicarbonato de magnesio, estado acuoso (40° C)**	•		
Bicarbonato de potasio**	•		
Bicromato de potasio, estado acuoso	•		
Bicromato de sodio		•	
Bisulfuro de calcio**	•		
Bórax		•	
Bromo, estado acuoso 5%*		•	
Bromuro de litio, estado acuoso (40° C)**	•		
Bromuro de potasio, estado acuoso (40° C)	•		
Bromuro de sodio, estado acuoso	•		
Carbonato de bario		•	
Carbonato de calcio	•		
Carbonato de magnesio (40° C)*	•		
Caseína	•		
Cianuro de cobre (30° C)	•		
Ciclohexano			•
Ciclohexanol			•
Clorato de calcio, estado acuoso (40° C)	•		
Cloro, gas húmedo**		•	
Cloro, gas seco*		•	
Cloro, líquido*		•	
Clorododecano (cloruro de laurilo)		•	
Cloruro de aluminio, estado acuoso	•		
Cloruro de amoniaco, estado acuoso (40° C)	•		
Cloruro de bario		•	
Cloruro de calcio (saturado)	•		
Cloruro de cobre, estado acuoso	•		
Cloruro de litio, estado acuoso (40° C)**	•		
Cloruro de magnesio, estado acuoso (25° C)	•		
Cloruro de manganeso, estado acuoso (40° C)**	•		
Cloruro de mercurio, estado acuoso**	•		
Cloruro de níquel, estado acuoso (25° C)	•		
Cloruro de potasio, estado acuoso	•		
Cloruro de sodio, estado acuoso	•		
Cloruro de zinc, estado acuoso	•		
Cloruro estánnico, estado acuoso*	•		
Cloruro férrico, estado acuoso	•		
Cloruro ferroso	•		
Cloruro mercurioso, estado acuoso	•		
Dibutil sebacato (DBS)**	•		
Dibutilftalato (DBP)**	•		
Diesel*	•		

suministrada por los fabricantes de las resinas empleadas por Flowtite. De ahí que se limite a proporcionar información general y no suponga la aprobación de una aplicación en particular, especialmente en vista de que Flowtite Technology no ejerce control alguno sobre las condiciones de uso ni posee los medios necesarios para identificar los entornos a los que los tubos pueden haber estado expuestos.

	Resina estándar o viniléster	Sólo viniléster	No recomendable
Diociltalato**	•		
Dióxido de carbono, estado acuoso	•		
Etilenglicol	•		
Ferrocianuro de potasio (30° C)**	•		
Ferrocianuro de potasio, estado acuoso (30° C)**	•		
Ferrocianuro de sodio	•		
Floruro de amoniaco			•
Formaldehído			•
Fosfato biácido de sodio**	•		
Fosfato de amoniaco (monobásico), estado acuoso	•		
Fosfato de tributilo			•
Fueloil*	•		
Gas natural, metano			•
Gasolina, etilo*		•	
Glicerina		•	
Glicol propílico (25° C)	•		
Heptano normal*		•	
Hexano*		•	
Hidrocloreto de anilina		•	
Hidróxido de calcio, 100%		•	
Hidróxido de sodio, 10%		•	
Hipoclorito de calcio*		•	
Keroseno*		•	
Laurilsulfato**	•		
Lejía			•
Licor negro (papel)		•	
Licor verde (papel)			•
Monofosfato de sodio**	•		
Nafta*		•	
Naftaleno*		•	
Nitrato de amoniaco, estado acuoso (40° C)	•		
Nitrato de calcio (40° C)	•		
Nitrato de cobre, estado acuoso (40° C)	•		
Nitrato de magnesio, estado acuoso (40° C)	•		
Nitrato de níquel, estado acuoso (40° C)	•		
Nitrato de plata, estado acuoso	•		
Nitrato de plomo, estado acuoso (30° C)	•		
Nitrato de potasio, estado acuoso	•		
Nitrato de sodio, estado acuoso	•		

	Resina estándar o viniléster	Sólo viniléster	No recomendable
Nitrato de zinc, estado acuoso**	•		
Nitrato férrico, estado acuoso	•		
Nitrato ferroso, estado acuoso**	•		
Nitrato de sodio, estado acuoso**	•		
Ozono, gas			•
Parafina*	•		
Pentano			•
Permanganato potásico, 25%		•	
Petróleo crudo, agua salada (25° C)*		•	
Petróleo crudo (ácido)*		•	
Petróleo crudo (dulce)*		•	
Petróleo refinado y ácido*		•	
Potasa cáustica (KOH)			•
Protocloruro de estaño, estado acuoso	•		
Silicato de sodio		•	
Sulfato de amoniaco, estado acuoso	•		
Sulfato de bario		•	
Sulfato de calcio (NL AOC)	•		
Sulfato de cobre, estado acuoso (40° C)	•		
Sulfato de magnesio	•		
Sulfato de manganeso, estado acuoso (40° C)**	•		
Sulfato de níquel, estado acuoso (40° C)	•		
Sulfato de plomo	•		
Sulfato de potasio (40° C)	•		
Sulfato de sodio, estado acuoso	•		
Sulfato de zinc, estado acuoso	•		
Sulfato férrico, estado acuoso	•		
Sulfato ferroso, estado acuoso	•		
Sulfuro de sodio		•	
Sulfuro de zinc, estado acuoso (40° C)**	•		
Tetraborato de sodio		•	
Tetracloruro de carbono			•
Trementina			•
Tricloruro de antimonio			•
Trietanolamina			•
Trietilamina			•
Urea, estado acuoso**		•	
Vinagre		•	

* No se puede utilizar juntas tipo EPDM. Se recomienda el uso de juntas tipo FPM o bien las que sugiera el proveedor local de juntas.
** Flowtite Technology no recomienda ningún tipo de junta en particular. Verifique compatibilidades con su proveedor local de juntas.

Este manual ha sido diseñado para servir de guía de orientación. Todos los valores que aparecen en las especificaciones de producto son nominales. Las fluctuaciones ambientales, las variaciones en los procedimientos de funcionamiento o la interpolación de datos pueden modificar el rendimiento de los productos y hacer que estos resulten insatisfactorios. Ante todo, se recomienda que las personas que utilicen estos datos tengan una formación especializada y experiencia suficiente en la aplicación de estos productos, su instalación normal y sus condiciones de funcionamiento. Siempre se ha de consultar con el personal de ingeniería antes de proceder a instalar cualquiera de estos productos con el fin de comprobar la idoneidad de los mismos para los propósitos y aplicaciones en cuestión. Por el presente escrito hacemos constar que no aceptamos ninguna responsabilidad, y que no seremos declarados responsables, por ninguna pérdida o daño que pueda resultar de la instalación o del uso de cualquiera de los productos listados en este manual en vista de que no hemos determinado el nivel de cuidado requerido para la instalación o el funcionamiento de estos productos. Nos reservamos el derecho a revisar estos datos, en caso que sea necesario, sin notificación alguna. Agradecemos cualquier comentario sobre esta guía.

La tecnología Flowtite es propiedad de Amiblu y esta licenciada por todo el mundo. Más información y detalles de contacto están en www.amiblu.com.

Amiblu®

Amiblu Technology AS

Østre Kullerød 3
3202 Sandefjord
Noruega
T: + 47 971 00 300
info.technology@amiblu.com
www.amiblu.com

Distribuido por: