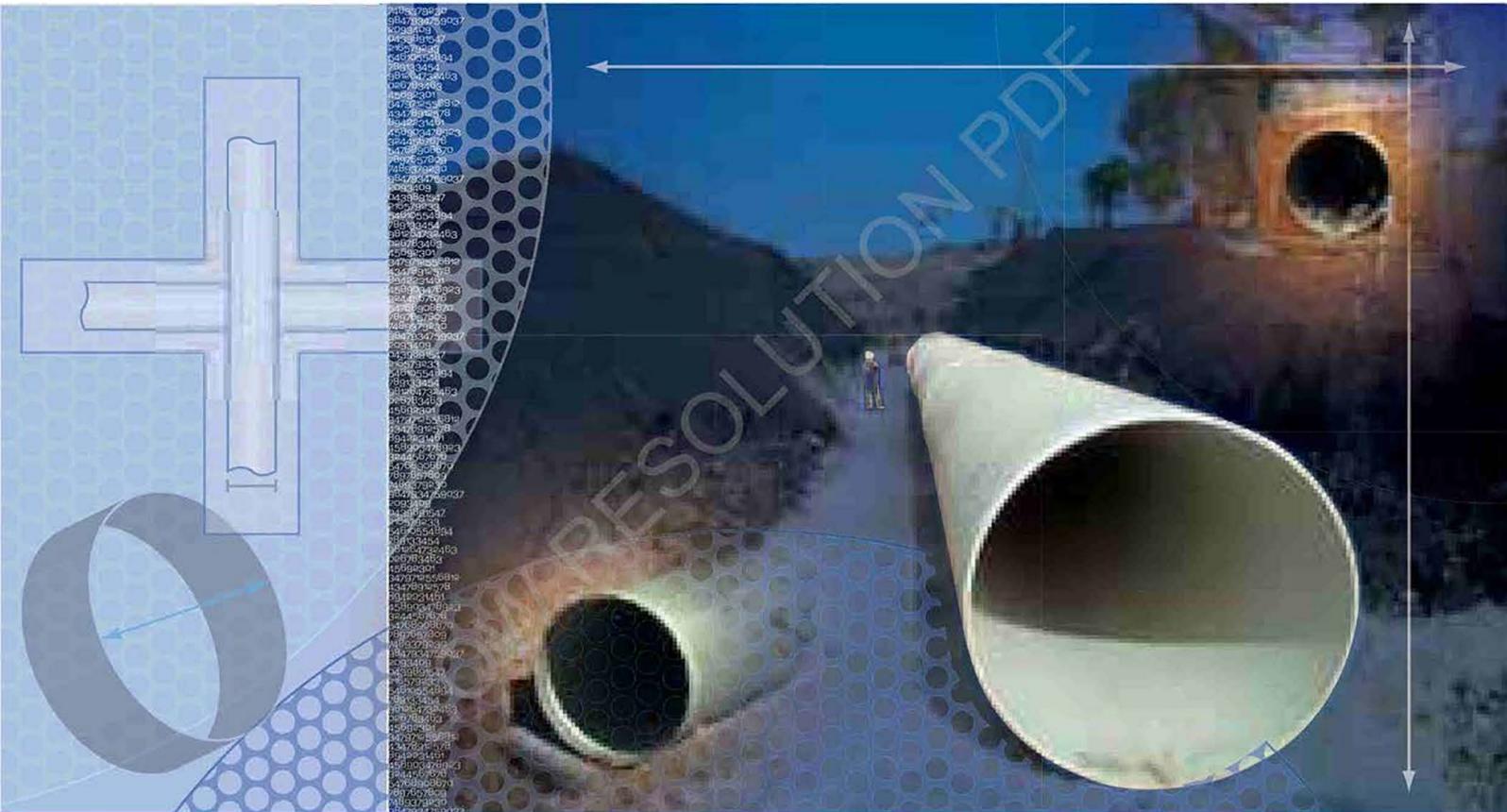




FLOWTITE

Guía de instalación de tuberías enterradas - AWWA



1 Información preliminar	4
1.1 Prólogo	4
1.2 Sistema tubería-suelo	4
1.3 Asistencia técnica	5
1.4 Seguridad	5

2 Transporte, manipulación y almacenaje	6
2.1 Inspección de tubos	6
2.2 Reparación de tubos	6
2.3 Descarga y manipulación de tubos	6
2.4 Almacenaje de tubos en obra	7
2.5 Almacenaje de juntas y lubricantes	7
2.6 Transporte de tubos	8
2.7 Manipulación de tubos anidados	8

3 Procedimiento de instalación	9
3.1 Zanja estándar	9
3.2 Lecho de la tubería	9
3.3 Materiales de relleno	10
3.4 Tipos de instalación	10
3.5 Rellenado de la zanja	11
3.6 Compactación por encima del tubo	12
3.7 Deflexión del tubo	12

4 Montaje de tuberías	13
4.1 Uniones de manguito Flowtite	13
4.2 Juntas trabadas	15
4.3 Unión por bridas	15
4.4 Unión por laminación	16
4.5 Otros métodos de unión	17

5 Macizos de anclaje, revestimientos de hormigón y conexiones rígidas	18
5.1 Revestimientos de hormigón	19
5.2 Conexiones rígidas	20
5.3 Revestimientos (túneles)	22
5.4 Conexiones a paredes de hormigón	22

6 Ajustes en obra	24
6.1 Ajuste de longitud	24
6.2 Recubrimiento de los extremos de los tubos de saneamiento cortados en obra ..	24
6.3 Reparaciones y cierres con manguitos Flowtite	25
6.4 Cierres con manguitos distintos de los de Flowtite	25

7 Otros procedimientos y consideraciones de instalación	26	07
7.1 Zanjas con varias tuberías	26	
7.2 Zanjas con cruce de tuberías	26	
7.3 Zanjas con fondo inestable	26	
7.4 Zanjas inundadas	27	
7.5 Entibación de zanjas	27	
7.6 Zanjas en suelo rocoso	27	
7.7 Sobreexcavación accidental	28	
7.8 Instalaciones en pendiente	28	
8 Utilización de válvulas y cámaras	29	08
8.1 Anclaje de válvulas en la tubería	29	
8.2 Ventosas	32	
8.3 Válvulas de limpieza y desagüe	33	
9 Acciones posteriores a la instalación	34	09
9.1 Inspección de la tubería instalada	34	
9.2 Corrección de un tubo con deflexión excesiva	34	
9.3 Ensayo hidráulico	35	
9.4 Equipo de verificación de manguitos en obra	36	
9.5 Ensayo con aire	36	
10 Instalaciones alternativas	37	10
10.1 Ensanchado de la zanja	37	
10.2 Rellenado con cemento estabilizado	37	
Apéndices	39	ap.
Apéndice AWWA M45 o ATV 127	40	

1 Información preliminar

1.1 Prólogo

Este manual forma parte de la documentación elaborada por Flowtite para los usuarios de productos Flowtite. Creado para ser utilizado con la Guía de Productos Flowtite, su objetivo es proporcionar al instalador información básica sobre los requisitos a cumplir y los procedimientos a seguir para garantizar una correcta manipulación e instalación de los tubos enterrados Flowtite®. Los apéndices también pueden ser una buena fuente de datos para los responsables de proyectos.

El manual contempla las circunstancias que se suelen encontrar en una obra. No obstante, pueden surgir situaciones específicas que requieran consideraciones especiales. Cuando esto ocurra, consulte con su proveedor.

Además de la instalación de tuberías enterradas, existen otros tipos de instalación (las que no requieren zanjas, las subacuáticas o las exteriores montadas sobre soportes) que no se tratan en este manual. En caso de estar interesado en realizar una instalación de este tipo, consulte con su proveedor para obtener información sobre los procedimientos y limitaciones aplicables.

Lo más importante es tener presente que este manual de instalación no debe reemplazar ni el sentido común ni el buen entender de los ingenieros, los requisitos de ingeniería, la ley vigente, las normas ambientales, de seguridad y de cualquier otro tipo aplicables, incluidas las ordenanzas locales y las especificaciones e instrucciones de la ingeniería de la propiedad, quien tiene la última palabra y autoridad sobre todos los trabajos realizados. En el caso de que esta información pueda dar lugar a algún tipo de duda sobre la forma adecuada de proceder, se recomienda que consulte con su proveedor y con el responsable técnico del proyecto.

El seguimiento minucioso de los procedimientos de instalación que se describen en este manual de instalación y de las sugerencias de los ingenieros de campo contribuirá a garantizar la idoneidad y durabilidad de la instalación. Si tiene cualquier duda o quiere realizar alguna variación sobre las recomendaciones descritas, consulte con su proveedor.

I Nota: Estas recomendaciones de instalación están basadas en el procedimiento de diseño estructural del AWWA M 45, pero también son válidas para ATV127. El texto principal cumple esencialmente con AWWA, mientras que los apéndices contienen información específica tanto para ATV como para AWWA.

1.2 Sistema tubería-suelo

La versatilidad del comportamiento de los suelos aunada a la resistencia y flexibilidad de los tubos Flowtite aumentan la posibilidad de lograr una interacción tubería-suelo que redunde en un excelente rendimiento del sistema. La aplicación adecuada de la fibra de vidrio garantiza la flexibilidad y resistencia de los tubos, mientras que la geometría de la zanja, junto con la selección, colocación y compactación del material de relleno, aseguran la integridad del sistema.

En líneas generales, los tubos se ven sometidos a dos tipos de cargas:

- 1** las cargas externas resultantes del enterramiento, cargas de superficie y movimientos de tráfico rodado, que ejercen un esfuerzo de flexión sobre la pared del tubo, y
- 2** las cargas internas, que dan lugar a una tensión tangencial en el tubo y un empuje desequilibrado que crea tensiones axiales.

La flexibilidad de los tubos Flowtite unida al comportamiento estructural natural de los suelos crea una combinación ideal para la transferencia de las cargas verticales. A diferencia de los tubos rígidos, que pueden llegar a romperse cuando se ven sometidos a la presión de una carga vertical excesiva, la flexibilidad de los tubos Flowtite, en combinación con su alta resistencia, permite su deflexión y la redistribución de las cargas hacia el suelo adyacente. La deflexión del tubo es un indicador de la tensión generada sobre el tubo y de la calidad de la instalación.

Se opone resistencia a la tensión circunferencial mediante la colocación de un refuerzo continuo de fibra de vidrio en la circunferencia de la pared del tubo. La cantidad de refuerzo viene dictada por el nivel de presión y determina la clase de presión nominal del tubo.

La forma más económica de reducir los desequilibrios producidos por las fuerzas de empuje es a través de macizos de hormigón que transfieren el empuje al suelo natural. De esta manera se evita que el tubo estándar Flowtite sea el que tenga que trasladar el empuje axial y se limita la cantidad de refuerzo necesario en dirección axial en la pared del tubo a los efectos secundarios. Por consiguiente, no se requiere que las juntas transmitan la carga axial, sino que permitan el movimiento del tubo dentro del manguito resultante de los cambios de temperatura y el efecto Poisson.

En ciertas ocasiones, el uso de macizos de contención puede ser inadecuado debido al peso de los mismos, la falta de espacio u otras razones. En estos casos se coloca suficiente refuerzo en la dirección axial de la pared del tubo para soportar el empuje directo. Las juntas trabadas de estos sistemas han sido diseñadas para soportar la totalidad del empuje axial, que es trasladado al suelo adyacente por transferencia de carga directa y fricción.

1.3 Asistencia técnica

Cuando el comprador lo solicite, y sujeto a los términos del acuerdo firmado entre el proveedor y el comprador, el proveedor puede ofrecer al comprador un servicio de asistencia técnica en la forma de un ingeniero de campo. Dicho ingeniero puede brindar al comprador y/o instalador la asesoría necesaria para conseguir una instalación correcta. Se recomienda contratar el servicio de asistencia técnica en obra desde el inicio de los trabajos de instalación, pudiéndose realizar un seguimiento periódico de todo el proyecto. El servicio ofrecido puede abarcar desde un seguimiento continuo (tiempo completo) hasta una asistencia periódica, en función del acuerdo establecido entre el proveedor y el comprador.

1.4 Seguridad

Los tubos de poliéster reforzado con fibra de vidrio (PRFV), al igual que prácticamente todos los tubos fabricados con materiales petroquímicos, pueden arder, por lo que no se recomienda su uso en aplicaciones expuestas a llamas o calentamientos intensos. Durante la instalación se deben tomar las precauciones necesarias para evitar que los tubos queden expuestos a chispas de soldadura, sopletes de corte u otras fuentes de calor/fuego/eléctricas que puedan provocar la ignición del material. Esta precaución debe extremarse cuando se trabaje con productos químicos volátiles durante la fabricación de uniones laminadas o la reparación o modificación de la tubería en obra.

Las obras en zanjas se llevan a cabo en condiciones potencialmente peligrosas. Donde sea posible, se debe, entibar, inclinar, reforzar y/o sujetar de cualquier otra forma las paredes de la zanja para garantizar la seguridad de las personas que trabajen en ella. Asimismo, se deben tomar todas las precauciones necesarias para evitar que puedan caer objetos a la zanja o que esta se colapse, debido al posicionamiento o movimiento de la maquinaria o el equipo ubicado en las proximidades de la zanja, mientras esté ocupada. Por tanto, se debe depositar el material excavado a una distancia prudencial del borde de la zanja y se debe asegurar que la proximidad y altura del terraplén no ponga en peligro la estabilidad de la excavación.



2 Transporte, manipulación y almacenaje

2.1 Inspección de tubos

Es imprescindible revisar todos los tubos en el lugar de descarga para asegurarse de que no hayan sufrido daño alguno durante el transporte. Asimismo, es recomendable volver a inspeccionar cada tubo inmediatamente antes de proceder a su instalación, si bien ello depende del tiempo que lleve almacenado, la manipulación a la que haya sido sometido en la obra y otros factores que puedan influir en la integridad del tubo. En todo caso, al revisar la carga se debe proceder de la siguiente manera:

- 1 Hacer una inspección global de la carga. Si está intacta, por lo general basta con una revisión ordinaria en el momento de la descarga para asegurarse de que los tubos han llegado a destino en buenas condiciones.
- 2 Si la carga se ha movido o hay indicios de que ha sido maltratada, entonces es necesario revisar cuidadosamente cada tubo para detectar los posibles daños. Por lo general basta con una inspección exterior para detectar los desperfectos. Cuando el tamaño de la tubería lo permita, conviene revisar la superficie interior del tubo en los puntos en donde se haya localizado algún tipo de defecto en la superficie exterior. Ello es de gran utilidad para determinar si el tubo está en condiciones de ser instalado.
- 3 Contrastar la cantidad recibida de cada tipo de tubo y accesorio contra la que figura en el albarán de entrega.
- 4 Anotar en el albarán cualquier pérdida o daño ocasionado durante el transporte y pedir al transportista que firme su copia del albarán. Acto seguido, proceder a realizar la reclamación contra el transportista según sus indicaciones.
- 5 Si se detecta algún desperfecto o daño en un tubo, separar el tubo afectado del resto del lote y ponerse en contacto con el proveedor.

No se debe utilizar ningún tubo dañado o defectuoso en la instalación.

2.2 Reparación de tubos

Por lo general, los tubos con daños ligeros pueden ser reparados en obra por personal cualificado. Si existe alguna duda sobre el estado de un tubo, este no debe ser utilizado en la instalación.

El ingeniero del servicio de asistencia técnica puede ayudar a determinar si un tubo requiere algún tipo de reparación así como si es posible y práctico realizarla. Los tipos de reparación pueden variar en función del espesor y la composición de la pared del tubo, la aplicación a la que se va a destinar la tubería y el tipo y extensión del desperfecto detectado. Por lo tanto, se recomienda no intentar reparar un tubo

dañado o defectuoso sin haber consultado previamente con el proveedor. Recuerde que las reparaciones deben ser realizadas por un técnico especializado, ya que es posible que los tubos que no hayan sido reparados correctamente no funcionen según lo previsto.

2.3 Descarga y manipulación de tubos

La descarga de los tubos es responsabilidad del cliente. De ahí que deba controlar la manipulación del material durante el proceso de descarga. El uso de cuerdas de guía atadas a los tubos o a los embalajes facilita el control manual del material durante su elevación y posterior manipulación. También se pueden utilizar barras en los casos en que se requieran varios puntos de anclaje. La finalidad de estos métodos es evitar que los tubos se caigan, colisionen o reciban golpes, en especial en sus extremos.

• Tubos sueltos

Cuando se deba manipular tubos sueltos, se pueden usar flejes flexibles, eslingas o cuerdas para izarlos. En ningún caso se debe usar cables de acero o cadenas para levantarlos o transportarlos. Los tubos se pueden levantar usando un solo punto de fijación (**Figura 2.1**), si bien el uso de dos puntos de sujeción situados según

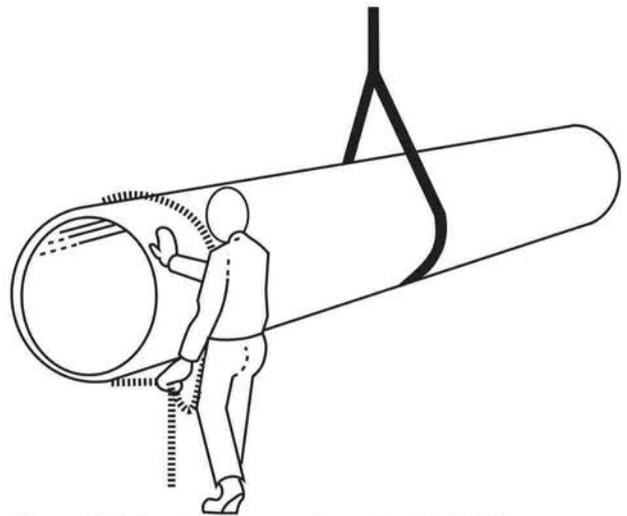


Figura 2.1 Izado con un solo punto de fijación

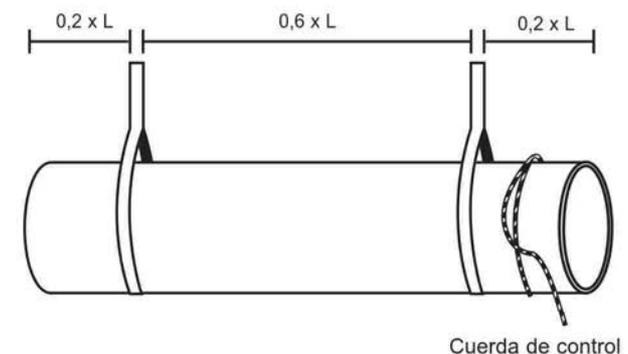


Figura 2.2 Izado con dos puntos de fijación

la **Figura 2.2** facilita el control del tubo en proceso de descarga. No se debe izar ningún tubo colocando ganchos en sus extremos o pasando una cuerda, cadena o cable por el interior del tubo de extremo a extremo. El Apéndice A incluye información sobre los pesos aproximados de los tubos y manguitos estándar.

• Cargas unificadas

Las cargas unificadas se pueden manipular utilizando un par de eslingas, tal como muestra la **Figura 2.3**. Los tubos que no estén embalados de forma unificada en un solo fajo no deben ser izados en conjunto. Los tubos que lleguen a la obra sin un embalaje unificado se deben descargar y manipular por separado (de uno en uno).

Si durante las fases de manipulación o instalación los tubos sufren daños, tales como incisiones, grietas o fracturas, se deben reparar antes de instalar. En caso de darse esta

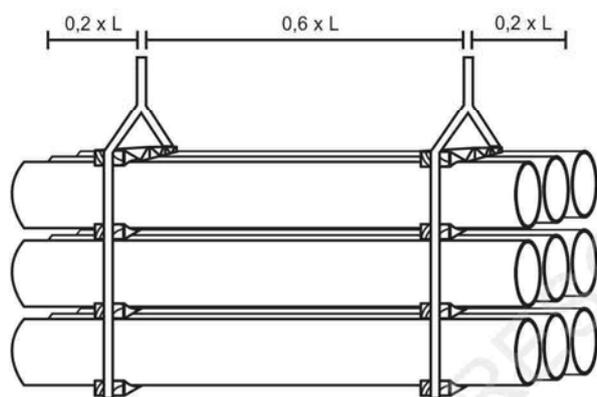


Figura 2.3 Izado de una carga unificada

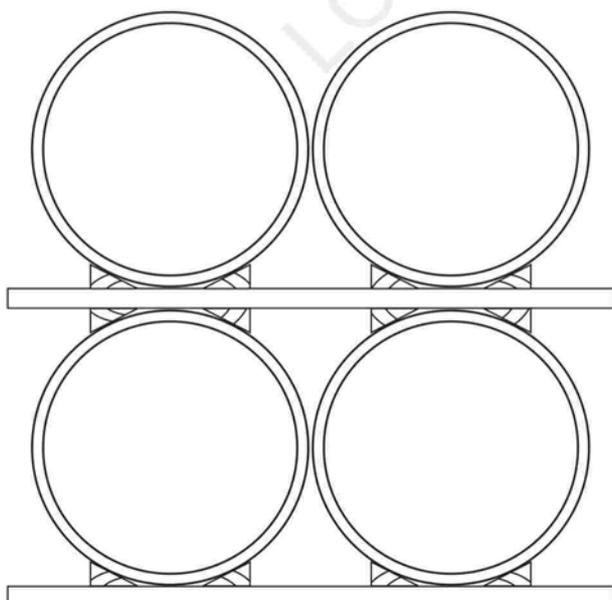


Figura 2.4 Almacenaje de tubos

situación, es recomendable que se ponga en contacto con el proveedor para que revise los desperfectos y le asesore sobre el modo de proceder en la reparación o eliminación de los tubos. Vea la sección 2.2 [→](#).

2.4 Almacenaje de tubos en obra

Por lo general se recomienda almacenar los tubos sobre maderas planas para facilitar el posicionamiento y posterior retirada de las eslingas alrededor del tubo.

Cuando se depositen los tubos directamente sobre el suelo, se debe inspeccionar la zona para asegurarse de que ésta es relativamente plana y está exenta de piedras u otros escombros que puedan dañar el tubo. La experiencia ha demostrado que colocar los tubos sobre montículos de material de relleno es una forma eficaz de almacenar los tubos en obra. Se deben calzar todos los tubos para evitar que puedan rodar cuando soplen vientos fuertes.

En el caso de que sea necesario apilar los tubos, se recomienda hacerlo sobre soportes planos de madera (de 75mm de ancho como mínimo) con calzos espaciados en cuatro puntos (vea la **Figura 2.4**).

Cuando sea posible, se recomienda dejar los tubos en el embalaje de origen empleado en el envío. Es muy importante asegurar la estabilidad de los tubos almacenados en condiciones de viento fuerte, en áreas de almacenaje irregular o en situaciones en que estén sometidos a otro tipo de cargas horizontales. Si se prevén vientos fuertes, es conveniente atar los tubos con cuerdas o eslingas. La altura máxima de apilamiento recomendable es de 3 metros.

No se admiten abultamientos, zonas planas u otros cambios bruscos de la curvatura de la pared del tubo. Los tubos cuyas condiciones de almacenamiento no se ajusten a estas limitaciones pueden resultar dañados.

2.5 Almacenaje de juntas y lubricantes

Cuando las juntas de caucho y los manguitos lleguen por separado, se debe almacenar las juntas en su embalaje original en una zona resguardada de la luz del sol. Las juntas no deben ser expuestas a este tipo de luz antes de la operación de montaje de la tubería; igualmente, se debe proteger las juntas del contacto con grasas y aceites derivados del petróleo, disolventes y otras sustancias perjudiciales.

El lubricante para juntas se debe almacenar con cuidado para evitar que se dañe el embalaje. Los contenedores a medio usar se deben cerrar de nuevo para evitar cualquier contaminación del lubricante. Si durante la instalación las temperaturas descienden por debajo de los 5° C, se debe proteger las juntas y los lubricantes hasta el momento de ser utilizados.

2.6 Transporte de tubos

Se recomienda depositar los tubos sobre maderas planas distanciadas a un máximo de 4 metros (3 metros para diámetros \leq DN 250) y con un voladizo máximo de 2 metros. También se debe calzar los tubos para que permanezcan estables y separados y no se produzca un contacto abrasivo entre ellos.

La altura máxima de apilamiento recomendable es de 2,5 metros aproximadamente. Se debe atar los tubos al vehículo sobre los puntos de soporte usando flejes flexibles o cuerdas (Figura 2.5). Nunca se deben utilizar cables de acero o cadenas sin la adecuada protección que pueda impedir la abrasión de los tubos. No se admiten abultamientos, zonas planas y otros cambios bruscos de la curvatura de la pared del tubo. La falta de cumplimiento de estas normas de transporte y manipulación puede ocasionar daños en los tubos.

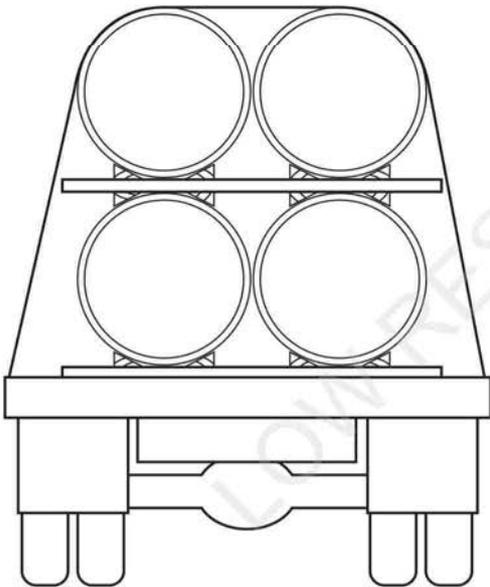


Figura 2.5 Transporte de tubos

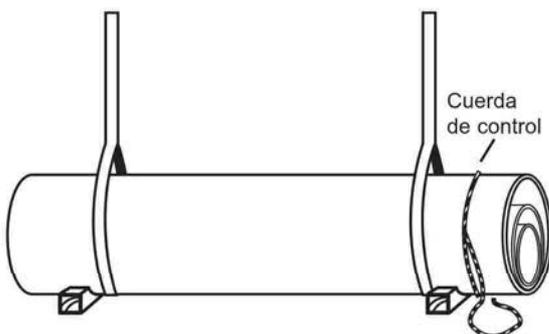


Figura 2.6 Doble punto de fijación para tubos anidados

2.7 Manipulación de tubos anidados

Los tubos se pueden transportar anidados (los tubos de menor diámetro viajan dentro de los de mayor diámetro). Estos tubos por lo general van envueltos en un embalaje especial y requieren procedimientos especiales de descarga, manipulación, almacenaje y transporte. Si dichos procedimientos especiales son necesarios, le serán comunicados al cliente con antelación al envío. En todo caso, este tipo de envío precisa que se tengan en cuenta los pasos que se detallan a continuación:

- 1 El lote de tubos anidados se debe izar usando dos puntos de sujeción como mínimo (Figura 2.6). Las limitaciones referentes a la distancia entre flejes y los puntos de fijación se especifican en cada proyecto (cuando existen). Se debe comprobar que las eslingas para levantar los tubos tienen capacidad suficiente para soportar el peso de los mismos. Dicho peso se puede calcular utilizando los pesos aproximados que figuran en el Apéndice H.
- 2 La mejor forma de almacenar los tubos anidados es guardándolos en el embalaje utilizado para el transporte. A menos que se especifique lo contrario, no es recomendable apilar estos lotes embalados.
- 3 Los lotes de tubos anidados solo se pueden transportar utilizando el embalaje original. En caso de que existan requisitos especiales para la configuración del lote, la disposición en el vehículo de transporte y/o el amarre al mismo, estos se especificarán para cada proyecto en concreto.
- 4 Es recomendable realizar el desembalaje y la separación de los tubos interiores en una estación preparada para tal fin. Los tubos interiores se extraen empezando siempre por el de menor diámetro, levantándolo ligeramente con un brazo de izado convenientemente protegido que permita mantener el tubo suspendido, y retirándolo con mucho cuidado para evitar que roce con los demás tubos (Figura 2.7). Cuando las limitaciones de peso, longitud o equipo impidan el uso de este método de desembalaje, el proveedor le recomendará los procedimientos oportunos en función de cada proyecto.

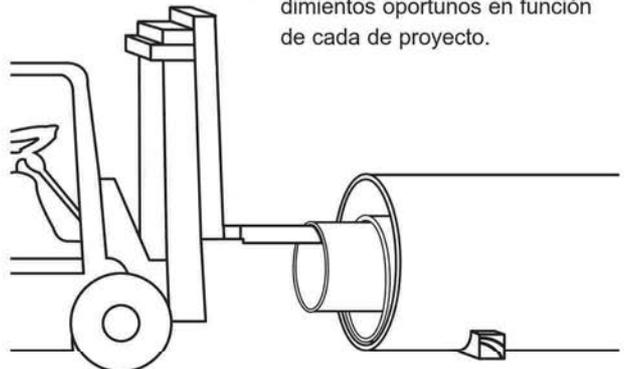


Figura 2.7 Desembalaje de tubos anidados con el brazo de izado de una carretilla elevadora

3 Procedimiento de instalación

- 01
- 02
- 03
- 04
- 05
- 06
- 07
- 08
- 09
- 10
- ap.

El tipo de instalación adecuado para los tubos Flowtite varía en función de la rigidez del tubo, la profundidad de la instalación, el ancho de la zanja, las características del suelo natural, las sobrecargas y los materiales de relleno.

El material seleccionado debe confinar la zona de relleno de forma que proporcione a la tubería el soporte que necesita. Los procedimientos de instalación que se detallan a continuación tienen como objetivo ayudar al instalador a realizar una instalación en perfectas condiciones de funcionamiento.

3.1 Zanja estándar

La **Figura 3.1** muestra las dimensiones de una zanja estándar. La dimensión "A" debe ser lo suficientemente ancha como para permitir la correcta colocación de la tubería y la compactación del material de relleno en la zona de los riñones. La dimensión "A" también debe ser lo bastante ancha como para permitir el uso de equipo de compactación sin ocasionar daño alguno a la tubería. Por regla general, la dimensión "A" tiene un valor mínimo de DN 0,4, salvo en el caso de diámetros muy pequeños.

En el caso de tubos de mayor diámetro, se puede asignar un valor menor a "A" en función del suelo natural, el material de relleno y la técnica de compactación. A título de ejemplo, en el caso de suelos naturales de los grupos 1, 2 y 3 y materiales de relleno SC1 y SC2, que requieren un esfuerzo de compactación limitado, se puede considerar una zanja más estrecha.

! Nota: Cuando el fondo de la zanja contenga rocas o suelos endurecidos, blandos, sueltos, inestables o altamente expansivos, puede llegar a ser necesario incrementar la profundidad de la capa del lecho para obtener un soporte longitudinal adecuado.

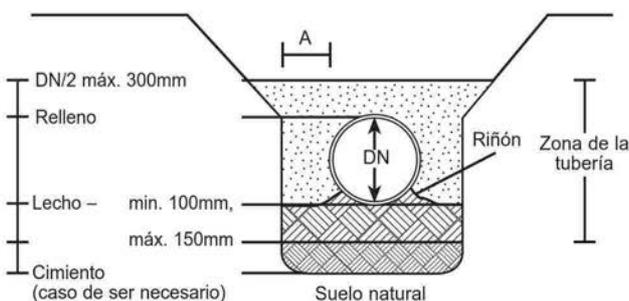


Figura 3.1 Nomenclatura del relleno de una zanja

3.2 Lecho de la tubería

El material del lecho se debe colocar sobre un fondo firme y estable con objeto de proporcionar a la tubería un apoyo longitudinal adecuado. El lecho terminado debe proporcionar un soporte firme, estable y uniforme al cuerpo del tubo y a cualquier protuberancia de sus juntas. Por lo general se requiere un lecho de 100 - 150mm por debajo del cuerpo del tubo y de 75mm por debajo de las uniones. En el caso de que el fondo de la zanja tenga suelos sueltos o inestables, puede llegar a ser necesaria una cimentación adicional para reafirmar el lecho, vea la sección 7.3 ➔.

Existe la posibilidad de que se necesite importar el material del lecho con objeto de garantizar la graduación y el apoyo de la tubería. En estos casos es preferible que se utilice el mismo material para la zona de relleno de la zanja. Para determinar si el suelo natural es aceptable como material del lecho, este debe cumplir todos los requisitos de los materiales de la zona de relleno. La verificación del tipo de suelo natural se debe realizar con frecuencia durante el proceso de instalación, ya que las condiciones de los suelos naturales pueden variar o cambiar súbitamente a lo largo de la conducción.

El lecho se debe rebajar en la posición correspondiente a cada manguito para garantizar que la tubería tenga un soporte continuo y no descansa sobre los manguitos. Estas zonas de unión se deben rellenar y compactar adecuadamente después de finalizar el montaje del manguito. Vea la **Figura 3.2** y **Figura 3.3** para distinguir entre un soporte del lecho correcto y uno incorrecto.

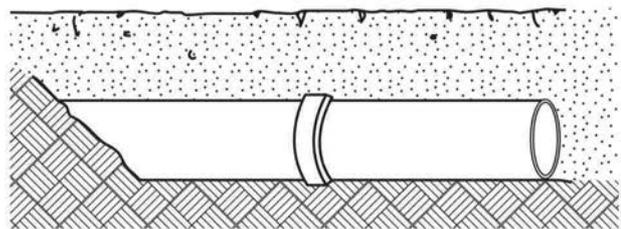


Figura 3.2 Soporte del lecho correcto

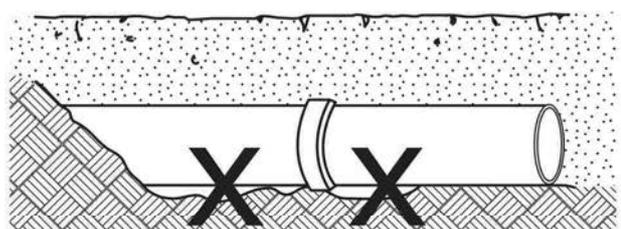


Figura 3.3 Soporte del lecho incorrecto

3.3 Materiales de relleno

La **Tabla 3.1** agrupa los materiales de relleno en distintas categorías. Las categorías SC1 y SC2 son las más fáciles de utilizar y las que menor esfuerzo de compactación requieren para lograr un nivel específico de compactación relativa.

Con independencia del grupo al que pertenezca el material de relleno y de su procedencia (que se encuentre en obra o se tenga que importar), se aplican las siguientes restricciones generales:

- 1 Se deben respetar los límites de tamaño máximo de piedras y partículas que figuran en la **Tabla 3.2**.
- 2 No se admiten terrones del suelo cuyo tamaño doble el tamaño máximo de las partículas.
- 3 No se permite el uso de material congelado.
- 4 No se permite el uso de material orgánico.
- 5 No se permite el uso de escombros (neumáticos, botellas, metales, etc.).

Grupo de material de relleno	Descripción del material de relleno
SC1	Roca triturada con < 15% arena, máximo 25% menor de 10mm y máximo 5% de finos
SC2	Suelos limpios de partículas gruesas con < 12% de finos
SC3	Suelos limpios de partículas gruesas con 12% o más de finos. Suelos arenosos o finos con menos de 70% de partículas finas
SC4	Suelos con partículas finas con más del 70% de finos

(Consulte el Apéndice D para más detalles y el Apéndice G para definiciones)

Tabla 3.1 Materiales de relleno

En cuanto al tamaño máximo de las partículas de relleno en la zona del tubo (hasta 300mm sobre la clave del tubo):

DN	Tamaño máximo (mm)
≤ 450	13
500 - 600	19
700 - 900	25
1000 - 1200	32
≥1300	40

Tabla 3.2 Tamaño máximo de las partículas

El material de relleno por encima de la zona de la tubería, puede estar formado por materiales excavados cuyas partículas tengan un tamaño máximo de 300 mm siempre que la capa de relleno sobre el conducto sea de al menos 300 mm. Además, no se debe dejar caer piedras de diámetro superior a 200 mm sobre la capa de relleno de 300 mm que cubre el tubo desde una altura de más de 2 metros.

3.4 Tipos de instalación

Se recomienda el uso de dos tipos de configuración de relleno (**Figura 3.4** y **Figura 3.5**). Su elección depende de las características del suelo natural, los materiales de relleno, la profundidad de la instalación requerida, las condiciones de sobrecarga, la rigidez del tubo y los requisitos de funcionamiento de la tubería. El tipo 2, configuración "dividida", se suele utilizar en aplicaciones de menor presión ($PN \leq 10$ bar), cargas de tráfico ligeras y requisitos limitados de presión negativa (vacío).

Instalación tipo 1

- Se construye el lecho de la tubería siguiendo las indicaciones que aparecen en la sección 3.2. →
- Se rellena la zona de la tubería por encima de la clave del tubo (hasta 300 mm) con el material de relleno especificado llevado al nivel de compactación requerido (vea el Apéndice B →).

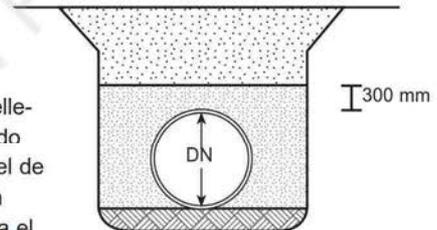


Figura 3.4 Instalación tipo 1

- Nota:** Para aplicaciones de baja presión ($PN \leq 1$ bar) sin cargas de tráfico se puede obviar el requisito de compactar la capa de 300 mm por encima de la clave del tubo.

Instalación tipo 2

- Se construye el lecho de la tubería siguiendo las indicaciones que aparecen en la sección 3.2. →. Se rellena hasta el 60% del diámetro del tubo con el material de relleno especificado llevado al nivel de compactación requerido.
- Se rellena desde el 60% del diámetro del tubo hasta 300 mm por encima de la clave del tubo con el material de relleno especificado llevado al nivel de compactación requerido.

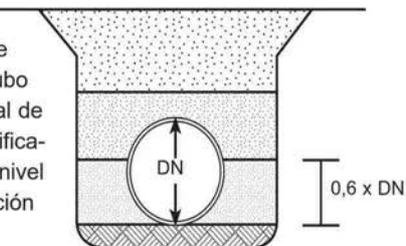


Figura 3.5 Instalación tipo 2

- Nota:** El tipo de instalación 2 no es práctico para tubos de diámetro pequeño.
- Nota:** El tipo de instalación 2 no es adecuado para situaciones de tráfico pesado.

3.5 Rellenado de la zanja

Se aconseja rellenar la zanja inmediatamente después de haber montado la tubería con objeto de evitar dos riesgos: la flotación de la tubería debido a lluvias fuertes y el movimiento de los tubos debido a las diferencias entre la temperatura de día y de noche. La flotación de la tubería puede dañar los tubos y ocasionar costes innecesarios de reinstalación. Los movimientos de expansión y contracción térmica causados por la exposición de la tubería al ambiente pueden ocasionar una pérdida de estanqueidad debido al efecto del movimiento de varios tubos sobre una misma junta.

Si se montan secciones de tubería en zanja y se demora el proceso de rellenado, se recomienda cubrir la sección central de cada tubo hasta la clave para intentar minimizar la incidencia de movimientos en la unión.

Es importante hacer una adecuada selección, colocación y compactación del material de relleno para controlar la deflexión vertical de los tubos y asegurar el funcionamiento de la tubería. Entre otras cosas, se debe controlar que el material de relleno no contenga escombros u otros cuerpos extraños que puedan dañar la tubería u ocasionar una pérdida de soporte lateral para el tubo. Se debe empujar y compactar el material del riñón entre el lecho y la parte inferior del tubo antes de colocar el resto del material de relleno (vea la **Figura 3.6** y **Figura 3.7**).

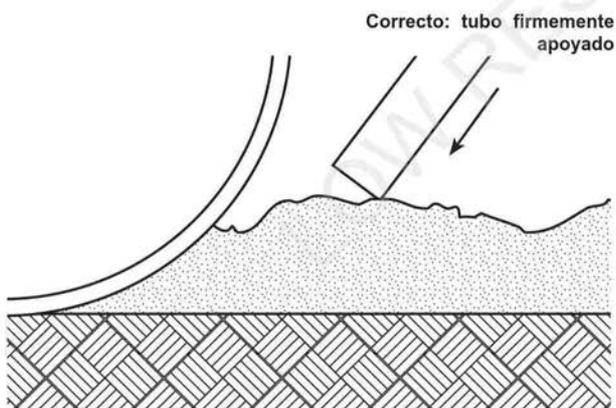


Figura 3.6 Enriñonado adecuado

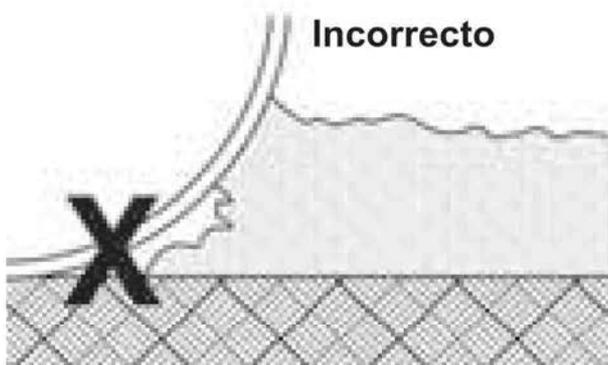


Figura 3.7 Enriñonado inadecuado

Se debe controlar la profundidad de la capa de material de relleno objeto de compactación así como la energía del método de compactación. El rellenado se suele realizar en capas de 100 a 300 mm de espesor, dependiendo del tipo de material de relleno y el método de compactación elegidos. Cuando se use grava o piedra triturada como material de relleno, lo más conveniente es capas de 300 mm, dado que la grava es relativamente fácil de compactar. La arena y los suelos más finos requieren mayor esfuerzo de compactación, por lo que el espesor de la capa debe limitarse. Es preciso resaltar la importancia de conseguir una adecuada compactación en cada capa de relleno para garantizar un soporte adecuado a la tubería.

Los materiales de relleno de tipo SC1 y SC2 son relativamente fáciles de utilizar y muy fiables como material de relleno. Estos suelos tienen una baja sensibilidad a la humedad. La compactación del material se puede llevar a cabo con una bandeja vibrante en capas de 200 a 300 mm. Ocasionalmente, se debe usar una tela filtrante en combinación con los suelos de partículas gruesas para evitar la migración de partículas finas y la consiguiente pérdida de apoyo para la tubería. Consulte el Apéndice A.

Los suelos de tipo SC3 son aceptables como material de relleno y a menudo están disponibles en la obra. Muchos de los suelos locales en los que se instala tubería son de tipo SC3, por lo que el suelo excavado de la zanja puede ser reutilizado como material de relleno. No obstante, se deben tomar las precauciones necesarias, ya que estos suelos pueden ser sensibles a la humedad. Las características de los suelos de tipo SC3 a menudo vienen dictadas por las características de sus finos. Puede llegar a ser necesario realizar un control de humedad al compactar el suelo para lograr la densidad deseada con un esfuerzo de compactación razonable y un equipo de compactación de fácil manejo. La compactación se puede llevar a cabo con un compactador de impacto en capas de 100 a 200 mm.

El tipo de relleno SC4 sólo se puede usar como material de relleno de zanja tomando las siguientes precauciones:

- Se debe controlar el contenido de humedad durante la colocación y la compactación.
- No se debe usar en instalaciones con cimientos inestables o anegados de agua.
- Las técnicas de compactación pueden requerir considerable esfuerzo, por lo que se deben considerar las limitaciones prácticas de la compactación para llegar a una densidad aceptable y así conseguir la rigidez de suelo necesaria.
- Al realizar la compactación, se deben usar capas de 100 a 150 mm compactadas con una apisonadora de impacto tipo Whacker o un pisón de aire comprimido.
- Se deben realizar pruebas de compactación con cierta frecuencia para verificar que se está alcanzando el nivel de compactación adecuado. Vea el Apéndice F para mayor información. ➔

La compactación con relleno arenoso resulta mucho más fácil cuando el material está en o se encuentra próximo a su punto óptimo de humedad. Cuando el relleno llegue a la altura media del tubo, la compactación se debe realizar desde las proximidades de las paredes de la zanja hacia el tubo.

Se recomienda colocar y compactar la zona de rellenado de tal forma que provoque una ligera ovalación del tubo en sentido vertical. Dicha ovalación vertical, medida una vez que el

material de relleno ha alcanzado la clave del tubo, no debe ser superior al 1,5% del diámetro del tubo. El grado de ovalación inicial obtenido estará relacionado con la energía requerida para lograr la compactación relativa necesaria. Los altos niveles que pueden ser necesarios con los tipos de relleno SC3 y SC4 pueden exceder el límite. Si esto ocurre, considere utilizar un tubo con un grado de rigidez superior, otros materiales de relleno o ambos. Estas recomendaciones se resumen en la **Tabla 3.3**.

Tipo de material de relleno	Apisonadora de impacto manual	Bandeja vibrante manual	Recomendaciones de compactación
Tipo SC1		300 mm	Dos pasadas bastan para conseguir una buena compactación.
Tipo SC2		200 - 250 mm	De dos a cuatro pasadas, dependiendo de la altura y la densidad requerida.
Tipo SC3	100 - 200 mm		La altura de la capa y el número de pasadas depende de la densidad requerida. Utilícese cuando el material está o se encuentra próximo a su punto óptimo de humedad. Verifique la compactación.
Tipo SC4	100 - 150 mm		Puede requerir un importante esfuerzo de compactación. Controle que el material está en su punto óptimo de humedad. Verifique la compactación cuando el relleno corone el tubo.

Tabla 3.3 Recomendaciones para la compactación del relleno de la zanja

3.6 Compactación por encima del tubo

La instalación tipo 1 requiere la compactación de una capa de suelo de 300 mm por encima del tubo. El relleno de las zanjas sujetas a cargas de tráfico a menudo se compacta para minimizar el asentamiento de la superficie del suelo.

La **Tabla 3.4** muestra la altura mínima de material de relleno por encima del tubo que se necesita para poder empezar a utilizar ciertos equipos de compactación directamente sobre

Peso equipo (kg)	Cobertura mínima* (mm)	
	Apisonado	Vibrado
< 50	-	-
50 - 100	250	150
100 - 200	350	200
200 - 500	450	300
500 - 1000	700	450
1000 - 2000	900	600
2000 - 4000	1200	800
4000 - 8000	1500	1000
8000 - 12000	1800	1200
12000 - 18000	2200	1500

*Es posible que se tenga que comenzar con una capa más alta para que, una vez que se realice la compactación, la capa no sea más baja que el mínimo establecido.

Tabla 3.4 Cobertura mínima de compactación sobre la tubería

la tubería. Se deben tomar las debidas precauciones para evitar ejercer un esfuerzo de compactación excesivo sobre la superficie del tubo, lo que puede ocasionar abombamientos, zonas planas u otros cambios bruscos de la curvatura de la pared del tubo. No obstante, el material de esta zona no se debe dejar suelto, debiendo alcanzar la densidad específica estipulada.

3.7 Deflexión del tubo

La deflexión de un tubo en una zanja rellenada es un buen indicador de la calidad de la instalación. La deflexión vertical inicial del tubo después del rellenado de la zanja al nivel de referencia es menor del 2% en la mayoría de las instalaciones. Un valor en exceso de esta cantidad indica que no se ha obtenido la calidad de instalación buscada y que esta se debe mejorar en los tubos que siguen (mayor compactación en la zona de relleno, materiales más gruesos para el relleno, zanjas más anchas, etc.). La **Tabla 3.5** proporciona los valores máximos de deflexión inicial admisible. Se recomienda revisar la deflexión del tubo tan pronto como se haya rellenado la zanja al nivel del suelo con objeto de obtener información continua sobre la calidad de la instalación, vea la sección 9.1. →.

	Deflexión % del diámetro
Diámetros grandes (DN ≥ 300) Inicial	3,0
Diámetros pequeños (DN ≤ 250) Inicial	2,5

Tabla 3.5 Deflexión vertical inicial admisible

4 Montaje de tuberías

01
02
03
04
05
06
07
08
09
10
ap.

Los tubos Flowtite por lo general se ensamblan utilizando manguitos Flowtite. Los tubos y manguitos se suministran por separado, si bien el tubo se puede entregar con el manguito montado en uno de sus extremos. Si los manguitos no vienen montados de fábrica, se recomienda montarlos en la zona de almacenaje o al lado de la zanja antes de colocar el tubo en la zanja.

Los manguitos pueden llevar una junta elastomérica que sirve de tope central de montaje. Si no se suministra este tope central, se debe marcar una línea en el tubo como ayuda al montaje.

Los tubos Flowtite también permiten el uso de otros sistemas de conexión tales como bridas, manguitos mecánicos y uniones por laminación.

4.1 Uniones de Manguito Flowtite

Limpeza e instalación de las juntas

Los pasos que siguen (1 a 5) son aplicables a todos los procesos de montaje que utilicen manguitos Flowtite.

Paso 1 Cimiento y lecho

Rebajar el lecho en la posición correspondiente a cada manguito para garantizar que la tubería tenga un soporte continuo y no descansa sobre los manguitos. Rellenar y compactar adecuadamente las zonas de unión después de haber completado el montaje del manguito

Paso 2 Limpieza del manguito

Limpiar meticulosamente las ranuras y las juntas de caucho del manguito para garantizar que estén libres de suciedad y aceites (Figura 4.1).



Figura 4.1 Limpieza del manguito

Paso 3 Instalación de las juntas

Instalar la junta en su ranura, dejando que cuelguen de dos a cuatro bucles uniformes de goma hacia fuera de la ranura. No utilizar ningún lubricante ni en la ranura ni en la junta en esta etapa del montaje. Se puede usar agua para humedecer la junta y la ranura para facilitar el posicionamiento y la inserción de la junta (Figura 4.2).

Introducir cada bucle de goma de la junta en el interior de la ranura, presionando uniformemente. Una vez instalada la



Figura 4.2 Instalación de las juntas

junta, tirar de ella ligeramente para verificar que la compresión a la que se encuentra sometida es uniforme a lo largo de toda su circunferencia. Verificar asimismo que ambos lados de la junta sobresalen uniformemente de la ranura a lo largo de toda la circunferencia. En el caso de que no sea así, golpear ligeramente la junta con un mazo de goma para introducirla correctamente.

Paso 4 Lubricación de las juntas

Aplicar una fina capa de lubricante sobre las juntas de goma usando un pincel o un paño limpio (Figura 4.3). Consultar el Apéndice I para información sobre la cantidad de lubricante a consumir por junta ➔.

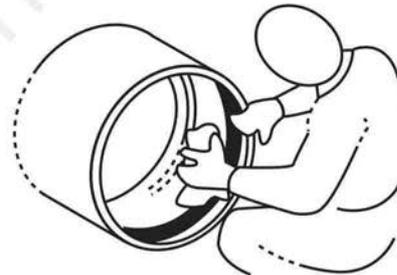


Figura 4.3 Lubricación de las juntas

Paso 5 Limpieza y lubricación de las espigas

Limpiar las espigas de los tubos a fondo para eliminar cualquier tipo de suciedad, grasa, arena, etc. Verificar que la superficie de unión de las espigas no esté dañada. Aplicar una delgada capa de lubricante a las espigas, desde el extremo del tubo hasta la posición donde se encuentra pintada la franja negra de montaje. Tomar las precauciones necesarias para mantener limpias las espigas y el manguito una vez lubricados. (Figura 4.4). La experiencia demuestra que es más fácil mantener limpios los extremos de las espigas y las juntas si se coloca un paño o un plástico de aproximadamente un metro cuadrado debajo de la zona de unión.



! Atención: Es muy importante utilizar el lubricante adecuado. El proveedor suministra suficiente lubricante con cada pedido. Si por alguna razón necesitara más lubricante, se debe poner en contacto con el proveedor para pedir una entrega adicional o bien para recibir información sobre el uso de lubricantes alternativos. Nunca utilice lubricantes derivados del petróleo.

Figura 4.4 Limpieza de las espiga

Montaje con manguitos sin tope central

Si el manguito no viene instalado de fábrica, se debe montar en un lugar limpio y seco antes de proceder a la unión de los tubos. Esto se consigue colocando una abrazadera o eslinga alrededor del tubo a una distancia de 1 a 2 metros de la espiga sobre la que se pretende montar la junta. Se debe conseguir que la espiga del tubo esté 100 mm por encima de la superficie del suelo para evitar que entre en contacto con la suciedad. A continuación se debe montar manualmente la junta sobre el extremo del tubo que tiene la espiga y colocar una tabla de madera de 100 x 50mm de un lado al otro de la junta. Utilice dos tensores de tracción conectados entre la madera y la abrazadera para unir los tubos, es decir, hasta que la junta esté alineada con la "línea de límite de montaje" o hasta que la espiga toque el tope central (vea la **Figura 4.5**)

Los pasos que siguen (6 a 8) son aplicables a todos los procedimientos de montaje de tubos que utilizan abrazaderas o eslingas y tensores de tracción. También se pueden utilizar otras técnicas siempre que cumplan los objetivos generales que se desglosan a continuación. En especial, se debe cuidar que los extremos de los tubos con las espigas solo se inserten hasta la línea de límite de montaje y que se evite dañar cualquier parte del tubo o de la junta.

Paso 6 Colocación del tubo

Una vez montado el manguito, colocar el tubo en la zanja. Verificar que el lecho se haya rebajado en la posición correspondiente a cada manguito para garantizar que la tubería tenga un soporte continuo y no descansa sobre los manguitos.

Paso 7 Montaje de las abrazaderas

Montar la abrazadera (o eslinga) A sobre el tubo ya instalado o dejarla en la posición donde se encuentra después del montaje anterior. Montar la abrazadera (o eslinga) B sobre el tubo que va a ser ensamblado, situándola alineada con la franja negra marcada en la espiga a fin de que actúe como tope (**Figura 4.6**).

! **Nota:** El contacto de las abrazaderas con el tubo se debe acolchar o proteger de alguna forma para evitar dañar el tubo y obtener al mismo tiempo una fuerza de fricción elevada con la superficie del tubo. En el caso de que no se disponga de abrazaderas, se pueden usar eslingas de nylon o cuerdas, tomándose las debidas precauciones para mantener la alineación del manguito.

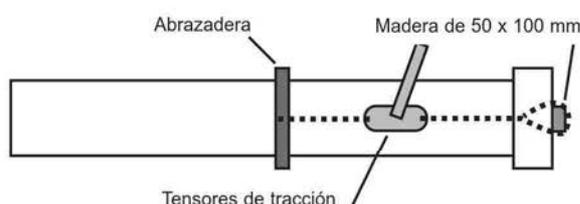


Figura 4.5 Montaje del manguito en tubo

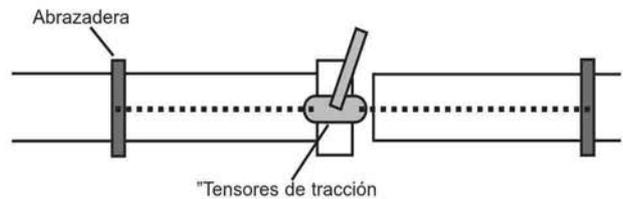


Figura 4.6 Unión de tubos con abrazaderas

Paso 8 Montaje del manguito

Se colocan tensores de tracción a cada lado del tubo y se conectan a las abrazaderas. Se introduce el nuevo tubo en el manguito hasta que llegue al tope o hasta que quede enrasado con la línea de límite de montaje. Una vez finalizada esta fase, la abrazadera B se deja en posición y se lleva la abrazadera A sobre el siguiente tubo que se vaya a montar. Los tubos pueden también montarse con el cazo de una retroexcavadora o con palancas (hasta DN300). Deben protegerse los extremos de los tubos para evitar daños. El esfuerzo de montaje puede calcularse como:

Esfuerzo de montaje en toneladas = $(DN \text{ en mm}/1000) \times 2$



Figura 4.7 Unión de tubos sin abrazaderas

Desviación angular del manguito Flowtite

La desviación angular máxima en cada manguito, teniendo en cuenta la combinación de la desviación vertical y la horizontal, no debe exceder los valores que figuran en la **Tabla 4.1**. La desviación angular permitida sirve para introducir cambios graduales en la dirección de la tubería. Para introducir un ángulo en una tubería, esta se debe montar primero en línea recta, aplicándose posteriormente el ángulo de desviación deseado. La desviación máxima y radio de curvatura correspondiente aparecen en la **Tabla 4.2** (vea la **Figura 4.8** para la definición de estos términos).

Diámetro nominal del tubo (mm)	Presión nominal (PN) en bar			
	Hasta 16	20	25	32
	Ángulo de desviación nominal (grados)			
DN ≤ 500	3,0	2,5	2,0	1,5
500 < DN ≤ 900	2,0	1,5	1,3	1,0
900 < DN ≤ 1800	1,0	0,8	0,5	0,5
DN > 1800	0,5	–	–	–

Tabla 4.1 Deflexión angular Flowtite con manguito

Ángulo de desviación (grados)	Desviación nominal (mm) Longitud del tubo			Radio de curvatura nominal (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 4.2 Desviación y radio de curvatura

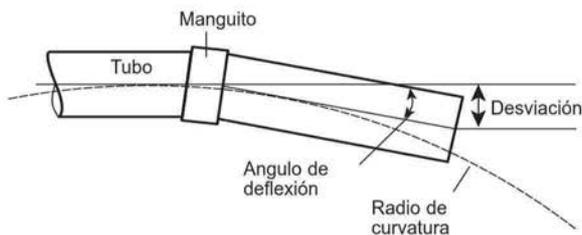


Figura 4.8 Manguito Flowtite, desviación angular de la junta

! **Nota:** Estos datos son meramente informativos. La longitud mínima permitida varía en función de la presión nominal, el tipo de relleno y la compactación, pero en ningún caso debe ser menor de 3 metros.

Las juntas sometidas a una deflexión angular se estabilizan mediante la rigidez del suelo que rodea el tubo y el manguito. En tubos para aplicaciones de presión ($PN > 1$), las juntas de desviación angular requieren que el relleno tenga un nivel de compactación del 90% PN.

En tubos para presiones de funcionamiento de 16 bar o mayores, las juntas con desviación angular vertical, en las que la dirección del empuje es ascendente, requieren una profundidad mínima de relleno de 1,2 metros.

Desalineación de tubos

La desalineación máxima admisible entre los extremos de dos tubos adyacentes es de 5 mm (vea la Figura 4.9). Se recomienda hacer un cuidadoso seguimiento de la alineación cerca de los macizos de anclaje, las cámaras de válvulas y otras estructuras similares, al igual que en los puntos de reparación y cierre de instalación.

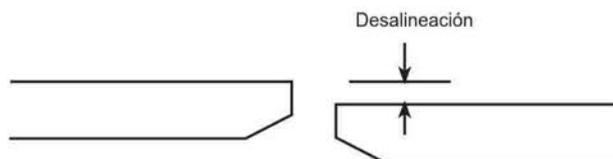


Figura 4.9 Desalineación

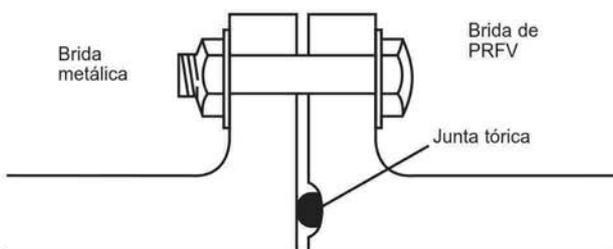


Figura 4.11 Unión por bridas

4.2 Juntas trabadas (FBC)

La junta trabada Flowtite consiste de un manguito con juntas de caucho y una varilla de cierre que sirve para transferir el empuje axial de una sección de la tubería a otra. El manguito está equipado a cada lado con una junta de caucho estándar y un sistema de ranura-varilla a través del cual traslada la carga por acción cortante y de compresión. La espiga de los tubos diseñados para ser utilizados con estas juntas trabadas lleva una ranura para tal fin.

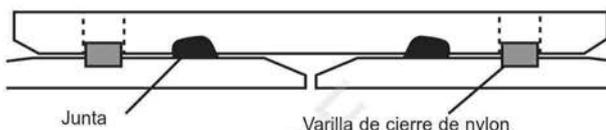


Figura 4.10 Junta trabada Flowtite

Las juntas se montan siguiendo un procedimiento similar al que se utiliza para los manguitos estándar de Flowtite, salvo por el hecho de que no tienen un tope central. Se deben seguir los pasos 1 a 6 que figuran arriba. En cuanto al paso 7, se tira del tubo hasta que se ve la ranura del tubo a través de la apertura del manguito, procediéndose a colocar la varilla de cierre en posición con un martillo.

4.3 Unión por bridas

Bridas moldeadas por contacto

Las bridas de PRFV se deben montar según el procedimiento que se detalla a continuación: (**Figura 4.11**)

- 1** Limpiar a fondo el frontal de la brida y la ranura de alojamiento del anillo tórico.
- 2** Verificar que la junta tórica está limpia y sin desperfectos.
- 3** Situar la junta tórica en la ranura.
- 4** Alinear las bridas que se van a unir.
- 5** Montar los tornillos, arandelas y tuercas. Toda la tornillería debe estar limpia y engrasada con el fin de asegurar que el par de apriete sea el correcto. Se debe usar arandelas en todas las bridas de fibra de vidrio.
- 6** Usar una llave dinamométrica para apretar todos los tornillos a un par de 35 Nm (20 Nm para diámetros menores de DN 250), siguiendo una secuencia de apriete estándar.
- 7** Repetir el procedimiento apretando los tornillos a un par de 70 Nm (35 Nm para diámetros menores) o hasta que las caras de las bridas entren en contacto. No se debe exceder este par, ya que podría dañar permanentemente la brida de PRFV.

- 8** Verificar el par de todos los tornillos una hora después del apriete final y ajustarlos a 70 Nm de nuevo (35 Nm para diámetros menores) en caso de que sea necesario.

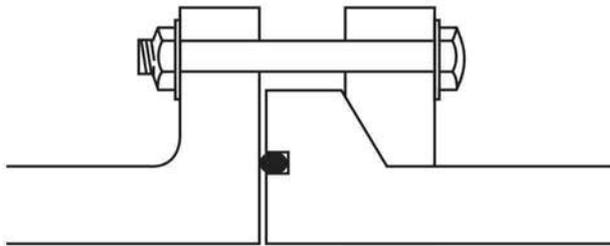


Figura 4.12 Brida loca con anillo tórico

Bridas locas

Los tubos Flowtite también se pueden suministrar con una brida loca (Van Stone). Con este tipo de juntas, es fácil rotar la brida para alinearla con los agujeros de las bridas a unir.

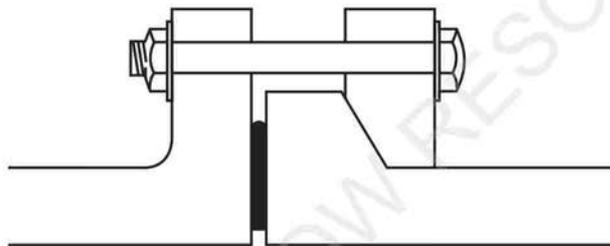


Figura 4.13 Brida loca con junta de goma con inserto de acero

Las bridas locas se pueden fabricar para dos tipos de unión estanca utilizando:

- 1 una junta tórica (requiere una ranura en el frontal de la brida, vea la **Figura 4.12**)
- 2 una junta de perfil tórico con anillo de acero para superficies planas de bridas (no requiere ranura) como se aprecia en la **Figura 4.13**.

El procedimiento de unión con ambos tipos de junta es idéntico y se describe a continuación:

- 1 Limpiar a fondo el frontal de la brida y la ranura de alojamiento del anillo tórico.
- 2 Verificar que la junta tórica está limpia y sin desperfectos. No se debe usar una junta dañada.

- 3 Alinear la junta con el frontal de la brida. En cuanto a la junta tórica, comprobar que quede perfectamente alojada en la ranura del anillo tórico. Se recomienda fijar el anillo tórico con pequeños trozos de cinta adhesiva.
- 4 Alinear las bridas que se van a unir.
- 5 Montar los tornillos, arandelas y tuercas. Toda la tornillería debe estar limpia y engrasada para asegurar que el par de apriete sea el correcto. Es importante que la superficie de contacto entre la cabeza del tornillo/arandelas y la contraplaca del anillo estén bien lubricadas para evitar un par de apriete excesivo.

Tipo de junta	PN	Par de apriete máximo Nm)*
Anillo tórico	6	50 x OD Tubo (en m)
Anillo tórico	10	100 x OD Tubo (en m)
Anillo tórico	16,20	200 x OD Tubo (en m)
Anillo tórico	25	125 x OD Tubo (en m)
Perfil tórico con anillo integrado	6	45 x OD Tubo (en m)
Perfil tórico con anillo integrado	10	75 x OD Tubo (en m)
Perfil tórico con anillo integrado	16,20	90 x OD Tubo (en m)
Perfil tórico con anillo integrado	25	135 x OD Tubo (en m)

Basado en dimensiones estándar de bridas conforme a ISO 7005

Tabla 4.3 Par de apriete para uniones con brida loca

- 6 Usar una llave dinamométrica para apretar todos los tornillos al par que figura en la Tabla 4.3, siguiendo una secuencia de apriete estándar.
 - 7 Verificar el par de todos los tornillos una hora después del apriete final y ajustarlos en caso de que sea necesario.
- !** **Nota:** Cuando se conecten 2 bridas de PRFV con una junta tórica, solo una de ellas debe llevar la ranura para la junta tórica.

4.4 Unión por laminación

Este tipo de unión se fabrica a partir de refuerzos de fibra de vidrio y resina de poliéster. Por lo general requiere diseños especiales, condiciones de limpieza controladas, así como personal convenientemente formado y entrenado para instalarla. Cuando se requiera el uso de este tipo de unión, se entregará al cliente una serie de recomendaciones especiales para su ejecución (**vea la Figura 4.14**).

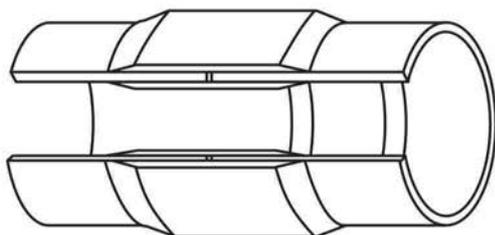


Figura 4.14 Unión por laminación

4.5 Otros métodos de unión

Manguitos flexibles de acero

(Straub, Tee Kay, Arpol, etc.- vea la **Figura 4.15**)

Los manguitos flexibles de acero se utilizan 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. El manguito consiste en una camisa de acero con un collar de goma interior que sella la unión.

Existen tres tipos:

- 1 Camisa de acero recubierta.
- 2 Camisa de acero inoxidable.
- 3 Camisa de acero galvanizado por inmersión en caliente.

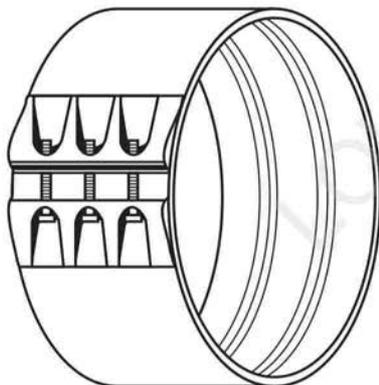


Figura 4.15 Manguito flexible de acero

Con este tipo de manguitos lo más importante es controlar el apriete de los tornillos. No se debe sobrepasar el par de apriete recomendado, ya que sobrecargaría los tornillos de cierre. Siga las instrucciones de montaje del fabricante de los manguitos, pero sin sobrepasar el par de apriete recomendados por el proveedor de los tubos.

Manguitos mecánicos de acero

(Viking Johnson, Helden, Kamflex, etc. – vea la **Figura 4.16**)

Los manguitos mecánicos se suelen utilizar para ensamblar tubos de distintos materiales y diámetros, así como para adaptadores con salida embrizada. Existe una amplia gama de diseños con características que varían de una marca a

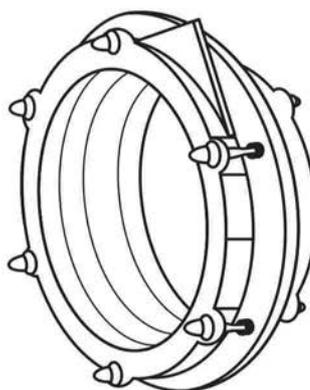


Figura 4.16 Manguito mecánico de doble cierre

otra, incluido el tamaño del espárrago, la cantidad de pernos y el diseño de la junta. También existen grandes variaciones en la tolerancia de diámetros de otros materiales, lo que a menudo resulta en un apriete mayor del que se necesita para lograr una junta estanca en el tubo Flowtite.

Por consiguiente, no se puede recomendar el uso generalizado de manguitos mecánicos con tubos Flowtite. Si a pesar de ello se decide utilizar un manguito mecánico para unir un tubo Flowtite con otro de material distinto, entonces solo se debe usar un manguito mecánico con sistema de doble cierre independiente (**Figura 4.16**). Esto permite un apriete independiente 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.

Protección contra la corrosión

Con independencia del tratamiento anticorrosivo dado a la camisa de acero, es imprescindible proteger el resto de la unión contra los efectos de la corrosión. Por lo general esto requiere el uso de una manga deformable de polietileno que se ajusta en caliente sobre el manguito ya instalado.

Piezas de conexión de PRFV

Los manguitos Flowtite se pueden utilizar para unir tubos Flowtite con otros de materiales distintos pero con el mismo diámetro exterior (**Tabla 6.1**) en líneas que no trabajan bajo presión. Para las líneas que trabajan a presión, consulte con el fabricante.

Se pueden fabricar manguitos de transición o piezas de conexión especiales de PRFV para conectar tubos de poliéster reforzado con fibra de vidrio con otros materiales o diferentes diámetros. Consulte con el fabricante.

5 Macizos de anclaje, revestimientos de hormigón y conexiones rígidas

01

02

03

04

05

06

07

08

09

10

ap.

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 del fluido. Así pues, se deben restringir las fuerzas de empuje para impedir la separación de los tubos en estos puntos. Cuando el suelo natural no proporciona la restricción necesaria, lo más económico suele ser recurrir a macizos de anclaje de hormigón o, alternativamente, una transferencia de la carga directamente por fricción entre el tubo y el suelo.

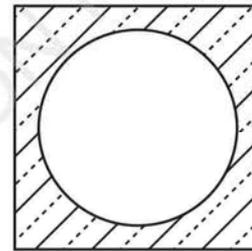
El traslado directo del empuje –a través de la transferencia de la carga directamente por fricción– se consigue mediante el uso de juntas trabadas y tubos especiales que trasladan el empuje axial. Los accesorios para este tipo de líneas se diseñan para ser enterrados directamente. Para determinar la longitud de fijación del tubo conectado a los accesorios, se ha de tener en cuenta un coeficiente de fricción de 0,5 entre el tubo Flowtite y los suelos no cohesivos.

El departamento técnico del constructor es responsable de determinar el diseño y los requisitos, así como el nivel de refuerzo en acero requerido para las estructuras de hormigón. Los accesorios Flowtite han sido diseñados para resistir el esfuerzo de la presión interna, mientras que la estructura de hormigón debe mantener su forma y transferir la carga.

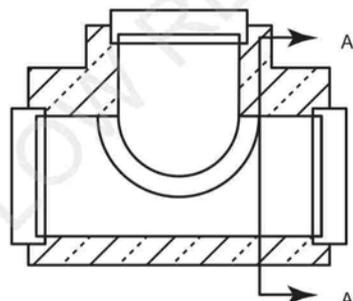
Ya que la expansión de los accesorios de las líneas de presión suele ser mayor que la resistencia a la tracción del hormigón, se debe considerar el uso de un refuerzo de acero para controlar la el agrietamiento del hormigón. Son aplicables las limitaciones que siguen:

Macizos de anclaje

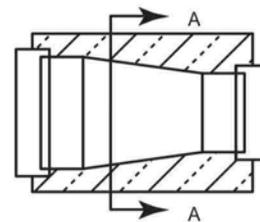
Los macizos de anclaje deben limitar el desplazamiento del accesorio con objeto de preservar la estanqueidad de la junta de manguito Flowtite. La deflexión angular resultante debe ser menor a la indicada en la **Tabla 4.1**. Para más detalles acerca de la instalación de la tubería y el sistema de implantación, vea los apartados 5.1 y 5.2. ➔



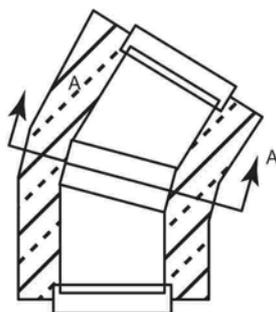
Sección A-A



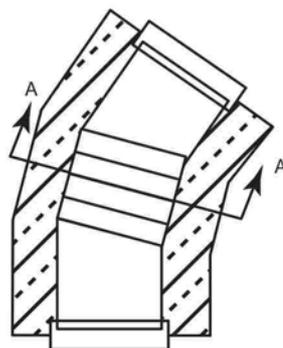
Derivación en T



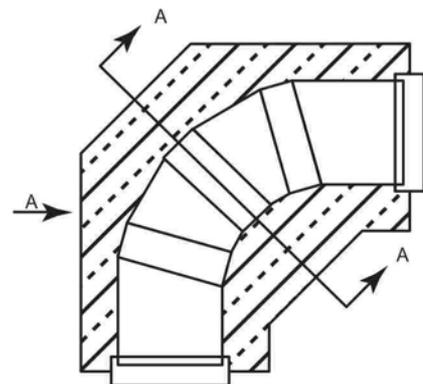
Reductor



Codo con un ángulo: 0-30*



Codo con dos ángulos: 31-60*



Codo con tres ángulos: 61-90*

Figura 5.1 Macizos de anclaje

Cuando la presión de la línea es superior a 10 bar (PN > 10), el bloque debe envolver el accesorio en toda su longitud y circunferencia. Para presiones menores, se pueden obtener accesorios especiales que permiten un soterramiento parcial. Los bloques se deben colocar sobre el suelo natural sin modificar o sobre materiales de relleno debidamente compactados para obtener la resistencia y rigidez original del suelo natural.

Cuando la presión de la línea es superior a 1 bar (100 kPa), se requiere el uso de macizos de anclaje para los siguientes accesorios:

- 1 Todos los codos, reductores, válvulas de cierre y bridas ciegas.
- 2 Derivaciones en T cuando la derivación es concéntrica con el eje de la tubería principal.

Las bocas de acceso (derivaciones en T con bridas ciegas), tubos de desagüe y ventosas que no generen un empuje desequilibrado durante su funcionamiento no requieren un revestimiento de hormigón, pero si precisan accesorios y ramales con resistencia al empuje axial derivado de la presión interna.

- 1 **Nota:** La forma de los macizos de anclaje que aparecen en este manual es ilustrativa. La forma exacta dependerá del diseño y los requisitos de cada proyecto.

Válvulas

Las válvulas deben estar fijadas adecuadamente para absorber el empuje de la presión. Para obtener más detalles sobre válvulas y cámaras, vea la sección 8.

Toberas

Las toberas son conexiones en T que cumplen las siguientes condiciones:

- 1 Diámetro de la tobera < 300mm.
 - 2 Diámetro de la tubería principal > 3 veces el diámetro de la tobera.
- 1 **Nota:** No es necesario revestir con hormigón las conexiones con toberas.

DN	Espaciado máximo (m)
< 200	1,5
200 – 400	2,5
500 – 600	4,0
700 – 900	5,0
≥ 1000	6,0

Tabla 5.2 Espaciado máximo de flejes

5.1 Revestimientos de hormigón

Cuando los tubos (o accesorios) tengan que ir revestidos de hormigón, al igual que en los casos en que la línea requiere macizos de anclaje o tiene que soportar cargas excepcionales, se deberán de tener en cuenta procedimientos de instalación adicionales.

Anclaje de la tubería

Durante el hormigonado, el accesorio o la tubería vacía sufren fuerzas ascensionales (flotación). Se debe restringir cualquier movimiento que sobre la misma pueda ejercer este tipo de fuerza. Por lo general esto se logra sujetando la tubería con flejes a una losa de base u otro tipo de anclaje. Los flejes deben ser de un material plano de 25 mm de ancho y lo bastante fuertes como para resistir las fuerzas ascensionales debidas a la flotación. Se debe utilizar al menos dos flejes por tubo, espaciados según los parámetros que se indican en la **Tabla 5.2**. Los flejes deben tensarse lo suficiente como para impedir la flotación, pero sin causar una deflexión adicional sobre la tubería. (**Figura 5.2** →).

Soporte de la tubería

La tubería debe estar apoyada de forma que el hormigón pueda fluir alrededor del tubo y por debajo del mismo. Los soportes se deben construir de manera que se adapten a la forma del tubo (deflexión inferior al 3%, sin abultamientos ni zonas planas).

Hormigonado

El hormigonado debe realizarse por etapas, dejando tiempo suficiente entre ellas para que el cemento pueda fraguar (tiempos inferiores ejercen fuerza ascensionales). La altura máxima de la capa, que varía en función de la rigidez de la tubería, aparece en la **Tabla 5.3**.

La altura máxima de capa se refiere a la cantidad máxima de hormigón que se puede verter sobre cada clase de rigidez nominal de tubería en cada etapa.

espaciado máximo
m

min.
25mm
min.
25 mm

Figura 5.2. Anclaje de tubos – espaciado máximo de flejes (vea tabla 5.2)

SN	Capa máxima
2500	El mayor de los siguientes valores: 0,3m o DN/4
5000	El mayor de los siguientes valores: 0,45m o DN/3
10000	El mayor de los siguientes: valores 0,6m o DN/2

Tabla 5.3 Capa máxima de hormigonado

5.2 Conexiones rígidas

Cuando un tubo es sometido a un movimiento diferencial en relación a una conexión rígida, pueden aparecer esfuerzos excesivos debidos a la flexión o al esfuerzo cortante. Esto puede ocurrir en los casos en que un tubo pasa a través de una pared (por ejemplo, cámara de válvulas o pozo de registro), está revestido con hormigón (por ejemplo, macizo de anclaje), o está embreadado con una bomba, válvula u otra estructura.

Por ello, al trabajar con conexiones rígidas, el instalador debe tomar las precauciones necesarias para minimizar la aparición de altas tensiones discontinuas a lo largo de la tubería. Se deben evitar deflexiones angulares y desajustes o defectos de alineación en las uniones cercanas a los macizos de anclaje en el momento de la instalación.

Existen dos posibilidades. El procedimiento de conexión estándar (preferible) utiliza un manguito empotrado en la superficie de separación hormigón-tubo. El procedimiento de conexión alternativo consiste en revestir el tubo con caucho para facilitar la transición desde el interior del hormigón al exterior.

Conexión estándar

Cuando sea posible, se debe empotrar el manguito en el hormigón, en la superficie de separación con el exterior (**Figura 5.3**). Con ello se logra que el primer tramo de tubo que se encuentra fuera del hormigón tenga total libertad de movimiento (dentro de los límites impuestos por la junta). Para PN superiores a 16 se debe usar este método estándar y respetar los parámetros máximos de longitud de la sección corta de tubo que aparecen en la **Figura 5.3**.

- !** **Precaución:** Al empotrar un manguito en hormigón es preciso mantener su redondez, para que la unión posterior se pueda efectuar con facilidad. Alternativamente se puede ensamblar el manguito fuera del revestimiento antes de proceder al hormigonado.

- !** **Precaución:** Una vez que el manguito empotrado esté rígido, es importante minimizar la deflexión vertical y la deformación del tubo adyacente.

Conexión alternativa

Cuando el procedimiento de conexión estándar no sea factible, se debe usar (**Figura 5.4**) una banda (o bandas) de caucho estándar para empotramiento en hormigón (**Figura 5.5** y **Tabla 5.4**) para envolver el tubo antes de instalarlo, de manera que el caucho sobresalga ligeramente ($\varnothing 25 \text{ mm}$) del hormigón. El tubo se ha de colocar de forma que el primer manguito que se encuentre totalmente fuera se localice tal como muestra la **Figura 5.4**. Este método alternativo no se recomienda para PN superiores a 16.

Recomendaciones de construcción

- 1 Cuando se considere el uso de estructuras de hormigón, se debe tener en cuenta que cualquier asentamiento excesivo de la estructura respecto de la tubería puede causar la rotura de esta última.
- 2 El uso de un tubo corto (tubo de oscilación) cerca de la conexión rígida ha resultado ser un buen método para acoplar la línea al asentamiento diferencial (vea la **Figura 5.3** y **Figura 5.4**). La longitud mínima del tubo de oscilación debe ser la mayor de 1 DN o 1 metro, mientras que su longitud máxima debe ser la mayor de 2 DN o 2 metros. Para tubos de menor diámetro ($\text{DN} \leq 300\text{mm}$), la longitud del tubo más corto debe estar comprendida entre 300 y 500mm. El tubo de oscilación se utiliza para permitir los asentamientos diferenciales que puedan ocurrir. Este tubo debe estar perfectamente alineado con respecto a la estructura de hormigón en el momento de la instalación para permitir la máxima flexibilidad en movimientos subsiguientes. No se deben usar varios tubos de oscilación o de corta longitud, ya que la escasa separación entre manguitos puede dar lugar a una condición inestable. Los problemas de falta de alineación se deben remediar volviendo a acondicionar el lecho de todas las secciones de la tubería que conducen al tubo de oscilación.

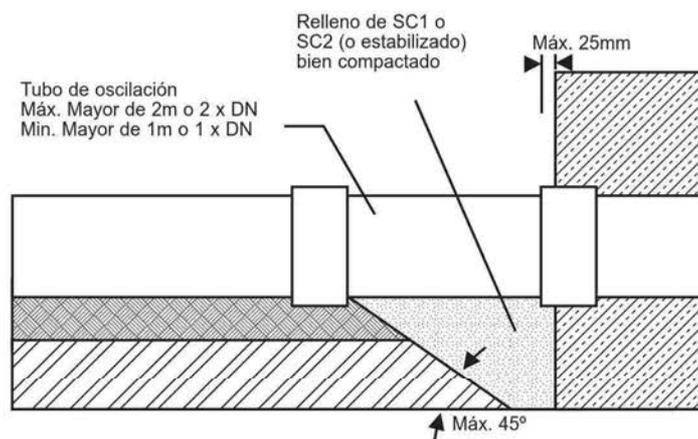


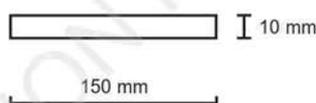
Figura 5.3 Conexión estándar – junta hormigonada

Diámetro	SN 2500 Presión, bar					SN 5000 y superior
	1-3	6	9-10	12	15-16	Todas las presiones
100 - 250	-	-	-	-	-	A
300 - 700	A	A	A	A	A	A
800 - 900	C	C	C	C	C	A
1000 - 1200	C	C	C	C	C	C
1300 - 1400	C	C	C	C	-	C
1500 - 1600	C	C	C	-	-	C
1800 - 2000	C	C	-	-	-	C
2200 - 2400	C	-	-	-	-	C

Tabla 5.4 Cantidad y configuración de revestimientos de caucho

3 Se debe tomar precauciones adicionales para reemplazar y compactar adecuadamente el relleno adyacente a la estructura de hormigón. La construcción de estructuras de hormigón a menudo requiere una sobreexcavación para los encofrados, etc.; a este material excavado se le debe restituir un nivel de densidad compatible con el material de su entorno, de lo contrario se puede dar un exceso de deformación o una rotación de la junta adyacente a la estructura. Los rellenos de tipo SC1 o SC2 compactados al 90% de densidad estándar de compactación deben cubrir el 60% del diámetro del tubo en su unión con la estructura rígida (vea la **Figura 5.3** y **Figura 5.4**) antes de comenzar una disminución progresiva. El relleno estabilizado (cemento) también se puede usar para prevenir excesos de deformación en las juntas de los tubos.

Tipo A:



Tipo C:

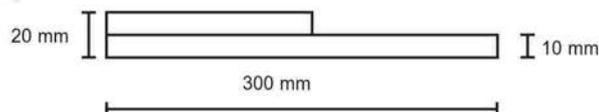


Figura 5.5 Tipo de configuración del revestimiento de caucho –Caucho 50 Durómetro de Neopreno

Colocación del revestimiento de caucho

- 1 Coloque el caucho según se indica en la **Figura 5.4** y **Figura 5.5**.
- 2 Utilice cinta para pegar todas las juntas y bordes con objeto de asegurar que no se cuele el hormigón entre el caucho y el tubo o entre las envolturas de caucho.

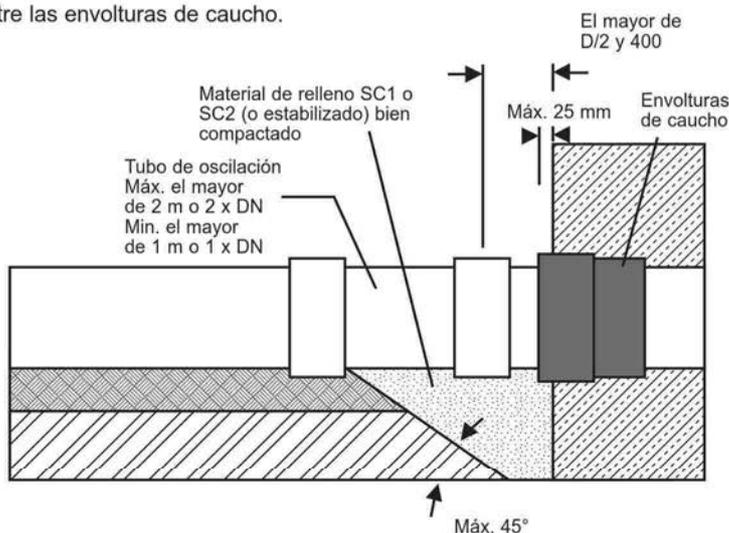


Figura 5.4 Conexión alternativa – revestimiento de caucho hormigonado

5.3 Revestimientos (túneles)

Al instalar una tubería en un revestimiento se debe tener en cuenta las siguientes recomendaciones:

- 1 Los tubos se pueden instalar en el interior del revestimiento ya sea tirando de ellos (método de extracción) o empujándolos (método de hinca).
- 2 Se debe proteger los tubos de los daños que se puedan ocasionar durante el deslizamiento utilizando calzos de madera fijados al tubo mediante flejes, como muestra la **Figura 5.6**, o anillos distanciadores de plástico, como muestra la **Figura 5.7**. Estas piezas deben tener una altura suficiente como para permitir el ensamblaje de los manguitos y dejar espacio entre el manguito y la pared del túnel.
- 3 Se puede facilitar la inserción en el túnel mediante el uso de lubricante entre los calzos y la pared del túnel. No se deben usar lubricantes derivados del petróleo, ya que podrían perjudicar las juntas de los manguitos.
- 4 Se debe rellenar el espacio anular que queda entre el túnel y la tubería con arena, grava o una lechada de cemento. Se deben adoptar las precauciones necesarias para evitar una sobrecarga o un aplastamiento de la tubería durante esta operación, especialmente cuando se utiliza cemento líquido. La **Tabla 5.5** indica la presión máxima de inyección de la lechada.

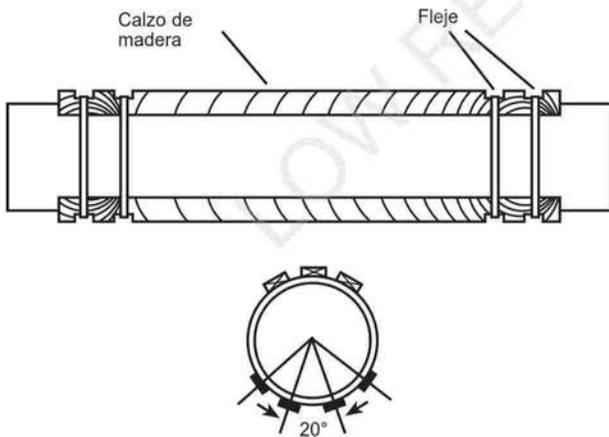


Figura 5.6 Disposición típica de calzos

- Nota:** No calce o apunte el tubo de forma que se puedan originar zonas locales de tensión o concentraciones de cargas sobre la tubería. Consulte con el proveedor antes de dar este paso, para asesorarse sobre la conveniencia del método elegido para su ejecución.
- Nota:** Si el espacio anular no se rellena y la tubería se somete a presiones negativas, la combinación rigidez de la tubería-instalación debe ser suficiente para resistir la carga. Consulte con el proveedor para más información.

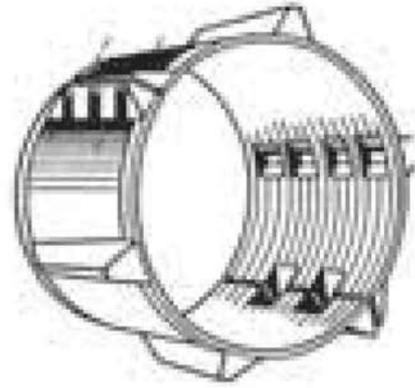


Figura 5.7 Unidad distanciadora de plástico

SN	Presión máxima de lechada (bar)
2500	0,35
5000	0,70
10000	1,35

Tabla 5.5 Presión máxima de inyección de la lechada (parte más baja del tubo) sin apoyos internos

También pueden utilizarse sistemas de tubería con juntas enrasadas.

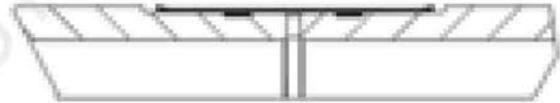


Figura 5.8 Junta enrasada

5.4 Conexiones a paredes de hormigón

Cuando el tubo deba pasar a través de un muro de hormigón, se deberá tomar las precauciones necesarias para garantizar la estanqueidad del sistema.

Los sistemas de conexión se dividen en dos categorías:

- 1 hechos in situ
- 2 prefabricados.

Conexión in situ

Las conexiones in situ tienen lugar cuando el hormigonado se lleva a cabo en la propia obra. En ciertas ocasiones el tubo es encapsulado por completo en la base de hormigón, procediéndose a continuación a cortar la clave del tubo. En estos casos no se requiere una conexión. En otros casos, sin embargo, solo se insertan los extremos del tubo en el encofrado, de forma que el hormigón solo entra en contacto con esa parte del tubo. Para ambos casos, existen anillos de caucho que se fijan a los extremos del tubo antes del hormigonado.

En primer lugar se sujeta el anillo de caucho al tubo utilizando unos flejes de acero inoxidable. A continuación se hormigona todo el conjunto. Debido a la forma del anillo, se consigue un sellado completamente estanco entre el hormigón y el tubo (**Figura 5.9**).

1 Nota: El anillo de estanqueidad no debe ser considerado un punto de anclaje o de transferencia de carga o lo que comúnmente se conoce como un anillo de retención.

Los procedimientos de instalación recomendados para este anillo de estanqueidad son los que siguen:

- 1** Marcar el extremo del tubo Flowtite en el lugar donde se pretende colocar el anillo, así como la pared exterior de hormigón. El anillo se debe colocar en el punto central del muro de hormigón terminado.
- 2** Limpiar la superficie exterior del tubo que va a entrar en contacto con el hormigón, especialmente debajo del área donde se pretende colocar el anillo. Se debe pulir cualquier ranura profunda para garantizar un sellado óptimo del anillo de caucho.
- 3** Colocar el anillo de caucho en el extremo del tubo. Asegurarse de que el anillo quede colocado en el punto central de la pared de hormigón.
- 4** Instalar los flejes de acero inoxidable para ejercer presión sobre el anillo y de esta forma fijarlo. Con objeto de perfeccionar el sellado, por lo general se recomienda que la lechada que entre en contacto directo con el anillo sea de hormigón fino (sin partículas grandes). Estos anillos se pueden usar en combinación con el tubo o con la junta Flowtite. Si lo que se pretende es conseguir una unión flexible, se recomienda usar un manguito Flowtite y montar el anillo directamente sobre este manguito.

Conexión prefabricada

Las conexiones prefabricadas se producen en fábrica y se instalan una vez que ha fraguado el hormigón. Los orificios de entrada y salida son dimensionados por el fabricante de la pieza en el momento de la producción inicial con objeto de adecuarlos al tubo Flowtite. El objetivo es conseguir un sellado estanco entre la pared exterior del tubo Flowtite y el agujero predimensionado en el muro de hormigón.

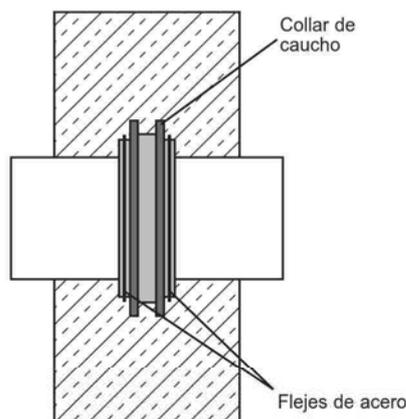


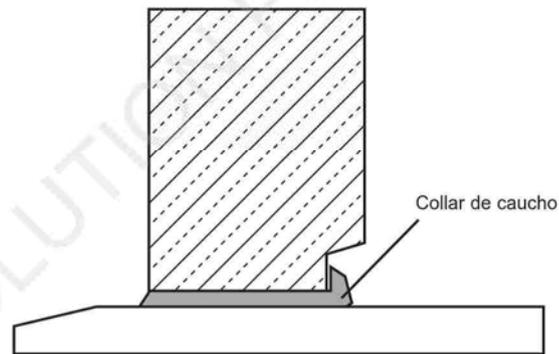
Figura 5.9 Anillo de caucho en muro de hormigón

Existe un fabricante que produce una junta especialmente diseñada para las conexiones de tubos que pasan a través de muros de hormigón. Este producto está disponible para toda la gama de tubos Flowtite. La junta se instala en el orificio de hormigón según muestra la **Figura 5.10**.

El orificio en el muro se puede hacer de dos formas:

- 1** utilizando una fresa de vaso con punta de diamante (solo práctico en el caso de diámetros pequeños), o
- 2** utilizando una molde cilíndrico, con el diámetro exterior requerido, durante la fabricación del orificio.

La junta se mantiene en lugar por compresión. El sellado se lleva a cabo mediante la compresión/deformación de los labios.



Figur 5-10 Collar de caucho en muro de hormigón

6 Ajustes en obra

6.1 Ajuste de la longitud

Una cantidad importante de los tubos suministrados por los fabricantes de la tecnología Flowtite, tienen el diámetro exterior del cuerpo del tubo dentro del rango de tolerancia de la espiga calibradas (**Tabla 6.1**). Estos tubos vienen marcados como 'Tubos de Ajuste' o un nombre similar. Los siguientes procedimientos permiten realizar un ajuste correcto de la longitud:

- 1 Comprobar que el diámetro del tubo está dentro del rango de tolerancia de la espiga.
- 2 Determinar la longitud que se precisa y marcar la línea de corte perpendicular al eje.
- 3 Cortar el tubo en el lugar marcado usando una sierra circular con un disco diamantado. No olvidar utilizar el equipo de protección adecuado para ojos y oídos y una máscara contra el polvo para nariz y boca. Consulte con el proveedor para cualquier recomendación de equipo.
- 4 Limpiar la superficie en la zona de unión, lijar suavemente las zonas rugosas y biselar el extremo del tubo con un disco de piedra para facilitar el montaje (vea la **Figura 6.1**). No se requiere ningún otro tipo de rectificado.

Serie	DN (mm)	DE Mínimo (mm)	DE Máximo (mm)	Ancho espiga (mm)	L (mm)
B2	100	115,5	116,0	110,0	3
B2	150	167,5	168,0	110,0	4
B2	200	220,0	220,5	110,0	4
B2	250	271,6	272,1	110,0	6
B2	300	323,4	324,5	130,0	6
B2	350	375,4	376,4	130,0	8
B2	400	426,3	427,3	130,0	10
B2	500	529,1	530,1	130,0	14
B1	600	616,0	617,0	160,0	17
B1	700	718,0	719,0	160,0	20
B1	800	820,0	821,0	160,0	20
B1	900	922,0	923,0	160,0	20
B1	1000	1024,0	1025,0	160,0	20
B1	1200	1228,0	1229,0	160,0	20
B1	1400	1432,0	1433,0	160,0	20
B1	1600	1636,0	1637,0	160,0	20
B1	1800	1840,0	1841,0	160,0	20
B1	2000	2044,0	2045,0	160,0	20
B1	2400	2452,0	2453,0	160,0	20
B1	2600	2656,0	2657,0	160,0	20
B1	2800	2860,0	2861,0	160,0	20
B1	3000	3064,0	3065,0	160,0	20

Tabla 6.1 Dimensiones y tolerancias de la espiga

Nota: La serie B2 concuerda con el Diámetro Exterior de la Espiga en Fundición Dúctil. La serie B1 es la serie de diámetros correspondientes a las tuberías de PRFV. En algunos países la serie B2 correspondiente a la Fundición Dúctil no se usa.

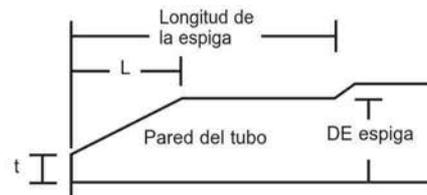


Figura 6.1 Definición de dimensiones de la espiga y el bisel para juntas de manguito

Nota: Para el cierre de carretes en obra, será necesario doblar el ancho de espiga. El diseño de los tubos no requiere ningún tipo de sellado adicional en las espigas o extremos de los tubos después de realizar un corte. Si las leyes nacionales requieren el sellado, por ejemplo debido a mantenimiento de la salud industrial y normas de seguridad, esto debe cumplirse con ello.

Nota: En relación con esto es de gran importancia realizar un correcto chaflanado en el extremo del tubo de ajuste después de realizar un corte.

6.2 Reparaciones y cierres con manguitos Flowtite

Los manguitos Flowtite se pueden usar para realizar reparaciones y cierres de instalación en obra. La longitud mínima del tubo de cierre debe ser de un metro. Además, el tubo de cierre no debe estar situado junto a un tubo de oscilación, es decir, el tubo corto cuyo objetivo es dotar a las conexiones rígidas de flexibilidad (vea la **Figura 5.4**).

Procedimiento

Mida la distancia entre los extremos de los tubos en el lugar donde se vaya a colocar el tubo de cierre de la instalación. El tubo de cierre debe ser de 10mm a 20mm más corto que el espacio medido. Cuanto más estrecho sea el espacio de tubo a tubo, más fácil será realizar el cierre.

Selección del tubo

Escoja un tubo que esté dentro del rango de tolerancia de la espiga. Estos tubos tendrán la dimensión exterior de espiga requerida a lo largo de toda su extensión. En caso de ser posible, escoja un tubo cuya dimensión exterior esté en la parte baja de la gama de la espiga (vea la **Tabla 6.1**).

Preparación del tubo

Determine la longitud de tubo requerida, marque la línea de corte perpendicular al eje y corte el tubo en el lugar marcado usando una sierra circular preferiblemente con disco diamantado. Utilice una herramienta de rectificar para hacer un ángulo oblicuo de 20° en el extremo del tubo y para redondear las



Figura 6.2 Montaje de la sección de cierre

esquinas. Asegúrese de que el grosor resultante en el extremo macho del tubo no sea menor que la mitad del grosor del tubo. También es importante conseguir una longitud mínima de bisel, L , para guiar el extremo del tubo sin dañar la junta. Siga las recomendaciones de longitud que figuran en la **Tabla 6.1**. Después de biselar, utilice papel de lija para eliminar cualquier arista viva de la superficie del tubo que haya podido resultar del corte. Lije y alise cualquier zona rugosa de la espiga.

Nota: El ancho de la espiga debe ser al menos igual al ancho de manguito. Esto será dos veces el valor que aparece en la **Tabla 6.1**.

Asegúrese de que no haya ranuras en la superficie y que el OD de la espiga está dentro de los límites que figuran en la **Tabla 6.1**.

Instalación

- 1 Seleccione dos juntas, retire los topes centrales de montaje y deje las juntas de goma posicionadas. Limpie los manguitos en caso que sea necesario. La ranura de la junta debe estar libre de suciedad para permitir la deformación sin restricciones de la junta.
- 2 Lubrique las juntas abundantemente, incluyendo la zona entre los labios.
- 3 Lubrique también el extremo macho de los tubos de cierre usando una fina capa de lubricante. No olvide las superficies biseladas.
- 4 Monte uno de los manguitos en el extremo del tubo de cierre de forma que la junta entre en contacto con toda la circunferencia. Empuje o tire del manguito uniformemente para verificar que se encuentra perfectamente encajado en el extremo macho del tubo. Puede que sea necesario ayudar a pasar el segundo anillo del manguito sobre el extremo biselado de los tubos. Repita el proceso con el segundo manguito en el otro extremo.
- 5 Marque las líneas de límite de montaje en los extremos macho de los tubos adyacentes para controlar la uniformidad del movimiento hacia atrás de la junta. La ubicación de la línea de base se calcula de la forma que sigue:

$$HL = (Wc - Wg) / 2$$
 Donde HL – línea de límite de montaje
 Wc – Ancho del manguito
 Wg – Ancho del espacio entre el tubo de cierre y el tubo adyacente (medido).
- 6 Coloque el tubo de cierre en la zanja alineándolo con los tubos adyacentes y dejando el mismo espacio libre a ambos lados. Evite cualquier ángulo o inclinación, ya que ello solo dificultará el proceso de montaje.

7 Limpie el extremo macho de los tubos adyacentes y lubríquelos aplicando una fina capa de lubricante. Instale las herramientas especiales para colocar el manguito en posición de cierre (para obtener mayor información sobre estas herramientas, consulte con su proveedor). Se recomienda colocar los manguitos sobre ambos extremos a la vez, mantener el tubo de cierre bien centrado y minimizar el contacto con los extremos de los tubos. Deje de tirar cuando el borde del manguito toque la línea de límite de montaje. En los tubos de grandes dimensiones, puede ser ventajoso que una persona supervise el proceso de montaje desde el interior del tubo.

8 La compactación del material de relleno alrededor de los tubos de cierre de una instalación es muy importante y no debe ser inferior a 90% Próctor Normal. A menudo se excava de más el área de cierre para facilitar su acceso. Se recomienda lograr el nivel mínimo de compactación estipulado para prevenir movimientos excesivos y rotaciones de juntas.

Nota: Una vez que el manguito se encuentra en posición final, se debe comprobar que los labios de la junta están orientados correctamente con una galga.

6.3 Cierres con manguitos distintos de los de Flowtite

Siga el procedimiento general indicado en la sección 6.3 [→](#), con la única variante de que el tubo de cierre no debe por que tener espigas mecanizadas. Se debe seguir al pie de la letra los procedimientos de instalación de la junta que se utilice (vea la sección 4.5 [→](#)).

7 Otros procedimientos y consideraciones de instalación

01

02

03

04

05

06

07

08

09

10

ap.

7.1 Zanjas con varias tuberías

Cuando se instalen dos o más tuberías en paralelo en la misma zanja, la distancia de separación entre ellas deberá ser la que se indica en la **Figura 7.1**, mientras que la distancia entre las tuberías y la pared de la zanja deberá ser la que aparece en la **Figura 3.1**.

Es importante que cuando se instalen tuberías de diámetros distintos en una misma zanja, estas se sitúen de forma que el lecho de las dos tuberías esté al mismo nivel. Cuando ello no sea posible, se debe utilizar un material de relleno de tipo SC1 o SC2 para llenar el espacio entre el fondo de la zanja y la parte baja de la tubería más elevada. El material debe ser llevado a un nivel de compactación adecuado para asegurar el lecho de la tubería (min. 90% PN).

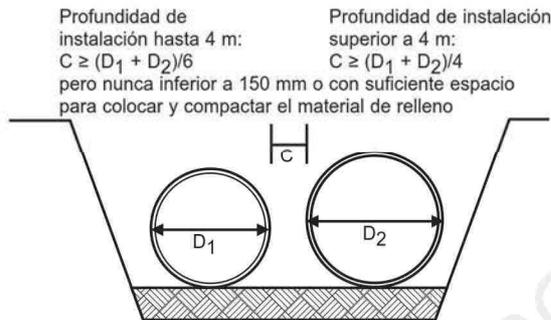


Figura 7.1 Distancia de separación entre tubos en una misma zanja

7.2 Zanjas con cruce de tuberías

Cuando se crucen dos tuberías, de forma que una de ellas pase por encima de la otra, la distancia vertical entre los tubos y la instalación de la tubería inferior se debe realizar según la **Figura 7.2**. En ciertas ocasiones resulta necesario instalar una tubería bajo una línea ya existente. En estos casos se deben tomar precauciones adicionales para no dañar el conducto existente. Para ello se debe fijar la tubería a una viga de acero que cruce la zanja de la nueva instalación. Es recomendable, asimismo, forrar la tubería para protegerla contra posibles daños por impactos. Una vez colocada la

Profundidad de instalación hasta 4 metros

$$f \geq \frac{D_1 + D_2}{6}$$

pero nunca inferior a 150 mm

Profundidad de instalación superior a 4 metros

$$f \geq \frac{D_1 + D_2}{4}$$

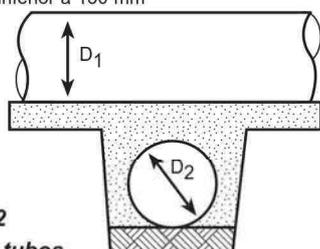


Figura 7.2 Cruce de tubos

Use solo materiales de relleno de tipo SC1 o SC2 compactados a un mínimo de 90% PN

Lecho

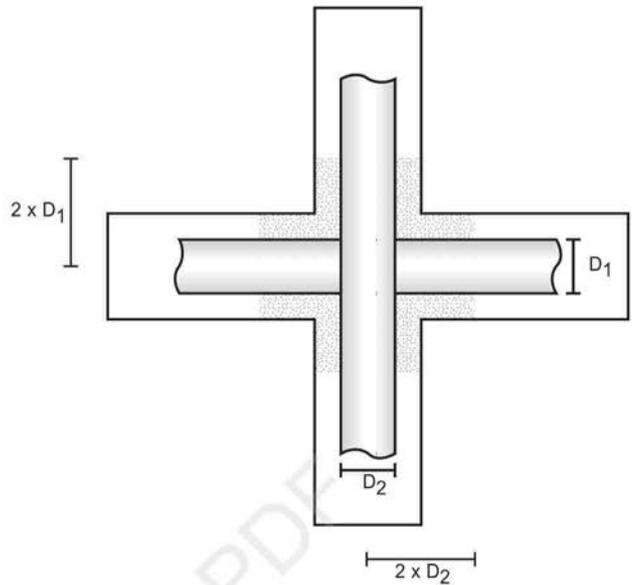


Figura 7.3 Vista en planta del relleno en un cruce de tubos

nueva tubería, el material de relleno de tipo SC1 o SC2 se debe volver a depositar en la zanja y compactar manualmente (nivel de compactación mínimo del 90% PN) con objeto de que el material quede perfectamente distribuido alrededor de las dos tuberías hasta una altura de 300mm por encima de la clave de la tubería superior. Este relleno debe extenderse a ambos lados hasta que ocupe al menos dos veces el diámetro del tubo en cada zanja (vea la **Figura 7.3**).

7.3 Zanjas con fondo inestable

Se considera que el fondo de una zanja es inestable cuando consta de suelos blandos, sueltos o altamente expansivos. Si el fondo de una zanja es inestable, se debe estabilizar antes de colocar la tubería. Alternativamente, se puede construir un cimientado para minimizar las diferencias de asentamiento del fondo de la zanja. En este último caso se recomienda el uso de grava arenosa bien graduada llevada a un nivel de compactación del 90% PN o de piedra triturada.

El espesor de la capa de grava o piedra triturada del cimientado depende de las condiciones en que se encuentre el fondo de la zanja, pero en ningún caso debe ser inferior a 150 mm. Sobre dicho cimientado se construye el lecho normal de la tubería. Cuando se cimienta con piedra triturada, se recomienda el uso de una tela filtrante para envolver el material de cimentación y así impedir que dicho material se mezcle con el del lecho, lo que podría ocasionar una pérdida de soporte debajo de la línea. No es necesario utilizar una tela filtrante cuando se use el mismo material para el cimientado y el lecho, o cuando se utilice una grava arenosa graduada para el cimientado. Adicionalmente, la longitud máxima de los tubos instalados entre manguitos flexibles ha de ser de 6 metros.

7.4 Zanjas inundadas

Cuando el nivel de las aguas freáticas está por encima del fondo de la zanja, se debe bajar como mínimo hasta el fondo de la zanja (preferiblemente 200mm por debajo del mismo) antes de proceder a preparar el lecho. Para ello se puede recurrir a diferentes procedimientos en función de la naturaleza del suelo natural.

Para suelos arenosos o limosos se recomienda un sistema de drenaje por puntos conectado a una tubería principal y una bomba. La distancia entre cada punto de aspiración y la profundidad a la que se debe instalar depende del nivel de las aguas freáticas y la permeabilidad del suelo. Es importante colocar un filtro alrededor del punto de succión (arena de grano grande o grava) para impedir que se tapone por el efecto de las partículas finas del suelo natural.

Cuando el suelo natural consiste en arcilla o roca firme el sistema de aspiración por puntos no es adecuado. En estos casos el drenaje de la zanja es más difícil cuando el nivel de las aguas freáticas es alto. Para conseguirlo se recomienda el uso de bombas y sumideros.

Si no se consigue mantener el agua por debajo de la parte superior del lecho, se debe proceder a instalar un subdrenaje. Los subdrenajes se crean usando áridos de una sola medida (20-25 mm) alojados en un tejido filtrante. La profundidad a la que se debe realizar el subdrenaje por debajo del lecho depende de la cantidad de agua que haya en la zanja. Si aún así no se consigue mantener el nivel de agua por debajo del lecho, se debe utilizar una tela filtrante para rodear el lecho (así como la zona de la tubería si fuera necesario) para impedir que se contamine con el material del suelo natural. Se debe utilizar grava o piedra triturada para el lecho y el relleno.

Durante el drenaje se deben tomar las precauciones que siguen:

- Evitar bombeos de larga distancia a través de los materiales de relleno o del suelo natural, ya que ello podría causar la pérdida de soporte de la tubería ya instalada debido al movimiento de materiales o la migración de suelos.
- No desconectar el sistema de drenaje hasta que la tubería se haya cubierto con material suficiente como para impedir la flotación.

7.5 Entibación de zanjas

Se debe tomar las precauciones necesarias para conseguir un buen nivel de soporte entre el suelo natural y el material de relleno en el momento de retirar las tablietas utilizadas para entibar la zanja. Un procedimiento gradual, por etapas, en el que se vayan retirando las pantallas a la vez

que se compacta el material de relleno de la zona del tubo contra la pared natural de la zanja, es la mejor forma de garantizar el soporte de la tubería y de rellenar los huecos que a menudo se forman detrás del tabliestacado. Si se retira la entibación después de haber concluido el relleno, el material situado en la zona de la tubería tenderá a ocupar el espacio libre dejado por las pantallas, reduciendo el soporte de la tubería. Para minimizar esta pérdida de soporte, durante el proceso de desmontaje y retirada se deben vibrar las pantallas.

Se debe comprobar que no haya huecos u holguras de material de relleno entre la parte exterior de las pantallas y el suelo natural hasta una altura de un metro por encima de la clave del tubo. Use solo materiales de relleno de tipo SC1 o SC2 entre el entibado provisional y el suelo natural, llevado a un nivel de compactación del 90% PN.

En el caso de entibados permanentes, utilice pantallas de longitud suficiente para distribuir adecuadamente las cargas laterales de los tubos al menos 300mm por encima de la clave de la tubería. La calidad de las pantallas de entibación debe ser tal que tenga una vida útil igual a la de la tubería.

Los procedimientos de relleno son los mismos que en las instalaciones estándar. Las entibaciones permanentes tienen la misma consideración que los suelos naturales de tipo 1.

7.6 Zanjas en suelo rocoso

Las dimensiones mínimas para la instalación de tubos en una zanja de roca figuran en la sección 3.1 [→](#). En el lugar donde termina la roca y comienza el suelo (o al revés) se deben usar uniones flexibles como muestra la **Figura 7.4**.

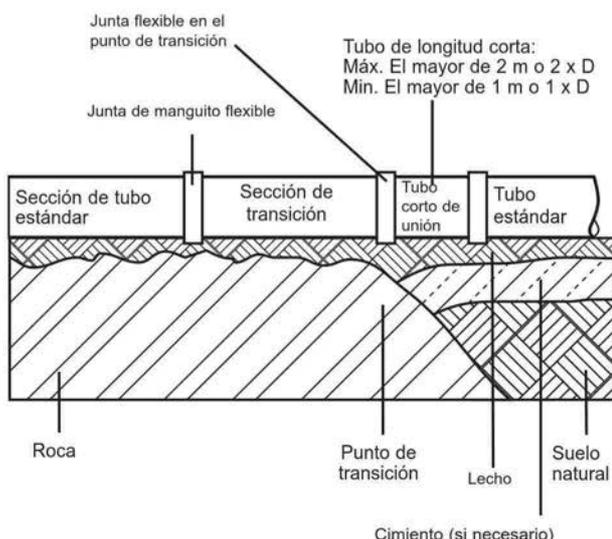


Figura 7.4 Método de construcción de zanja e instalación de tubo en zanja con transición roca-suelo o con cambios abruptos en las condiciones del lecho.

Alternativamente, el uso de un material de relleno estabilizado con cemento (vea la sección 5.2) para el cimientado y el lecho de los tubos en la zona de transición roca-suelo no hace necesario el uso de una junta flexible en este punto. El método de construcción de la zanja depende de las condiciones del suelo natural.

7.7 Sobre excavación accidental

Cualquier sobre excavación de las paredes o del fondo de la zanja en la zona del cimientado, del lecho o del tubo se debe llenar con material de relleno llevado a un nivel de compactación relativa de al menos 90% PN.

7.8 Instalaciones en pendiente

General

- El ángulo en el que una pendiente se vuelve inestable depende de la calidad del suelo. Por regla general cuanto mayor sea el ángulo de inclinación, mayor será el riesgo de inestabilidad.
- En líneas generales, no se debe instalar tubos con pendientes superiores a 15° o en áreas en las que se sospecha que la pendiente es inestable, a menos que se haya realizado una investigación geotécnica para constatar el estado de las condiciones de apoyo del suelo.

Instalación aérea

- El método más utilizado para instalar una tubería en una pendiente pronunciada es el aéreo, ya que las estructuras de instalación necesarias, como los soportes de la tubería, son más fáciles de definir, la calidad de la instalación es más fácil de vigilar y controlar y el asentamiento de la tubería es más fácil de detectar.
- Para más información, consulte el catálogo de instalación de tuberías aéreas [→](#).

Instalación enterrada

Se recomienda consultar con un ingeniero geotécnico antes de proceder a instalar una tubería enterrada en suelos con pendiente superior a 15° . Los tubos Flowtite se pueden instalar enterrados con pendientes superiores a 15° siempre que se cumplan las siguientes condiciones mínimas:

- Un diseño geotécnico adecuado puede garantizar la estabilidad a largo plazo de la instalación.
- En zonas con pendiente superior a 15° se deben utilizar materiales de relleno SC1 o estabilizados con cemento en la zona del tubo.

- En zonas con pendiente superior a 15° se debe utilizar un punto de fijación en la parte central de cada tubo.
- La instalación siempre se debe iniciar en el punto más bajo de la pendiente y progresar hacia arriba. Se debe rellenar adecuadamente hasta el nivel del suelo la zona alrededor de cada tubo antes de proceder a colocar el siguiente tubo en la zanja.
- Se debe proteger la superficie de toda la zanja contra la erosión resultante de la escorrentía del agua.
- Los tubos se deben instalar siguiendo un trazado recto (más o menos $0,2^\circ$) con un espacio mínimo entre las espigas de los tubos.
- El movimiento absoluto a largo plazo del material de relleno en la dirección axial del tubo debe ser menor de 20mm.
- La instalación se debe drenar adecuadamente para evitar la fuga de materiales y asegurar la resistencia del suelo al esfuerzo cortante.
- La estabilidad de cada tubo se debe vigilar y controlar durante las fases de construcción y las primeras fases de funcionamiento. Esto se puede hacer controlando el espacio entre las espigas de los tubos.
- En caso de que sea necesario un diseño especial, consulte con su proveedor de tubos.

Instalación perpendicular a la ladera

Se recomienda consultar con un ingeniero geotécnico cuando los tubos se instalen perpendicularmente a la pendiente natural de una ladera con una inclinación superior a 15° para asegurarse de que la ladera siga siendo estable.

La superficie de la zanja terminada se debe configurar de forma que se elimine cualquier depresión y se excluya la posible formación de charcos de agua. La formación de bolsas de agua en una ladera puede reducir la estabilidad de la misma.

8 Utilización de válvulas y cámaras

Por lo general, la mayoría de las líneas que funcionan a presión suelen llevar válvulas para aislar un sector de la red de abastecimiento o distribución, ventosas en los puntos más altos de la línea para liberar el aire acumulado en la red y así evitar obstrucciones o para permitir la entrada de aire y así prevenir la incidencia de subpresiones, y cámaras de desagüe. Todos estos accesorios se pueden acoplar a los tubos Flowtite. La responsabilidad final del diseño de estos sistemas es del director del proyecto. No obstante, con el paso de los años los ingenieros de Flowtite Technology han podido observar distintos métodos de utilización de estos accesorios en una línea construida a partir de tubos Flowtite. Esta sección pretende ofrecer al ingeniero responsable del diseño del sistema o al contratista ciertas pautas sobre la utilización de válvulas y cámaras con una tubería de presión Flowtite.

8.1 Anclaje de válvulas en la tubería

Los tubos Flowtite han sido diseñados para resistir las cargas axiales nominales según la normativa, pero no para soportar los esfuerzos cortantes y los de empuje que puedan derivarse como consecuencia del montaje de válvulas al sistema de la tubería. Estas cargas se deben contener de forma externa según las especificaciones AWWA C600-93. A continuación se describen los distintos métodos de anclaje de válvulas. El método más adecuado depende de las condiciones específicas de funcionamiento de cada sistema. Por lo general, el mejor método tiene en cuenta el diámetro del tubo y la presión de la línea. Hay dos tipos básicos de válvulas de tubería: las que son accesibles de forma directa (instaladas en cámaras) y las que no lo son (enterradas directamente). Por lo general, las válvulas de diámetro más pequeño se entierran directamente sin utilizar cámaras de hormigón que faciliten su acceso. Las directrices que siguen cubren estos dos casos.

Válvulas enterradas

Tipo 1 La forma más económica y más fácil de instalar una válvula de diámetro pequeño es enterrarla embebida en su propio macizo de anclaje de hormigón (vea la **Figura 8.1**). Este método también se puede utilizar para las válvulas de mayor tamaño siempre que el macizo tenga un diseño razonable. El macizo de hormi-

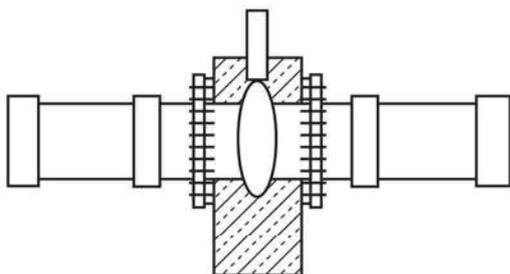


Figura 8.1 Tipo I – Macizo de anclaje con válvula en su interior

gón debe resistir el empuje de una válvula cerrada con un movimiento que no perjudique la estanqueidad de la junta.

Se deben observar las pautas que siguen al diseñar un sistema de tipo I:

- 1 El tamaño del macizo de anclaje de hormigón depende de la rigidez del suelo natural, los materiales de relleno y las condiciones de instalación. Se debe limitar el movimiento de la junta a 15mm.
- 2 Los carretes embridados no deben medir más de 500mm de largo, con un manguito Flowtite en la parte exterior del tubo que conecte el carrete con el tubo de oscilación (vea la **Tabla 5.4**).

Tipo 2 El método de anclaje en este caso es similar al del tipo I, excepto que se puede acceder al cuerpo de la válvula (vea la **Figura 8.2**). Este sistema permite una instalación relativamente fácil y un acceso a la válvula para su revisión, mantenimiento y reparación.

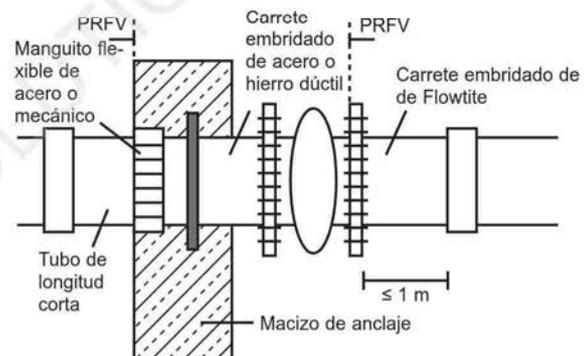


Figura 8.2 Tipo II – Macizo de anclaje contiguo a la válvula

El límite de uso de este método depende de la resistencia del carrete del tubo de acero o fundición dúctil y el collar de anclaje. Para pequeñas cargas de empuje, solo se tiene que anclar un lado de la válvula.

Se deben observar las pautas que siguen al diseñar un sistema de tipo II:

- 1 El tamaño del macizo de anclaje depende de la rigidez del suelo local, los materiales de relleno y las condiciones de instalación. Se debe limitar el movimiento lateral del tubo para mantener la estanqueidad de la junta.
- 2 Los carretes embridados no deben medir más de un metro de largo. El carrete, con el collar de anclaje o brida, se conecta al tubo de longitud corta Flowtite con un manguito estándar Flowtite.
- 3 Si se utilizan carretes de acero o hierro dúctil, se recomienda el uso de manguitos flexibles de acero o mecánicos de transición (de doble cierre).

Cámaras

Tipo 3 Este método se puede utilizar para casi todas las válvulas, salvo las más grandes para mayores presiones. El límite de uso depende de la capacidad de colocar el sistema de apoyo estructural dentro de la cámara de la válvula. El sistema de apoyo se debe diseñar de forma que acepte la totalidad del empuje axial sin poner presión excesiva sobre las bridas de las válvulas o las paredes de la cámara de hormigón reforzado. La cámara actúa como un macizo de anclaje y debe ser diseñado como tal. La contención del empuje se coloca del lado de compresión de la válvula para transferir el empuje directamente a la pared de la cámara. El otro extremo del sistema goza de una libertad relativa de movimiento axial, lo que le permite encajar los movimientos debidos a los cambios de temperatura y los efectos de Poisson.

La suposición inherente en la **Figura 8.3** es que el empuje solo actúa en una dirección. No obstante, también se debe considerar la posibilidad de que una contrapresión sobre una válvula cerrada cree una carga de empuje en la dirección opuesta. Para cubrir esta eventualidad, el sistema de apoyo estructural se puede diseñar para resistir cargas en ambas direcciones. Los detalles dependen del ingeniero proyectista.

Se deben observar las pautas que siguen al diseñar un sistema de tipo III:

- 1 Las cargas de empuje y los esfuerzos cortantes de la válvula se contienen mediante un sistema de apoyo formado por un marco de acero. Se pueden suministrar tubos y bridas estándar de Flowtite para este método.

- 2 El tubo estándar Flowtite debe estar equipado con un envoltorio de caucho o una junta de caucho en la parte de salida del tubo de la pared de hormigón para reducir los esfuerzos locales ocasionados por la contención de la expansión radial durante la presurización.
- 3 La cámara de válvulas debe resistir el empuje axial y el peso vertical de la válvula. Se precisa un refuerzo local de los cimientos y las paredes de la cámara de válvulas para soportar los esfuerzos axiales en los puntos de unión.
- 4 La cámara de válvulas se debe diseñar como un macizo de anclaje para resistir el empuje axial. La selección, colocación y compactación del material de relleno debe ser lo suficiente como para resistir el asentamiento y las fuerzas laterales creadas por el cierre de la válvula. Se debe limitar el movimiento lateral para preservar la estanqueidad de la junta.
- 5 Se debe colocar un tubo de longitud corta fuera de la cámara de válvulas de conformidad con las prácticas normales de instalación.
- 6 El empuje se asume mediante la compresión del sistema de apoyo estructural. No se transmite carga axial alguna al tubo.
- 7 Se debe usar un relleno estabilizado con cemento o grava compactada a una densidad de compactación relativa del 90% para llenar el hueco debajo del tubo que sale de la estructura de la cámara de válvulas (vea la **Figura 5.3** →).

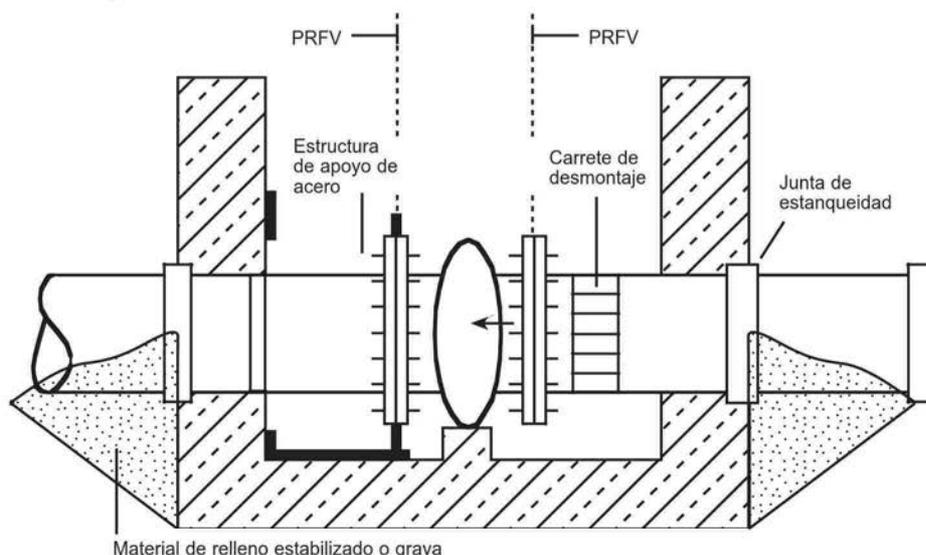


Figura 8.3 Tipo III – Uso de un sistema de apoyo estructural para resistir las fuerzas de empuje

Tipo 4 Este método (*Figura 8.4*) se puede utilizar para anclar cualquier tipo de válvula con presiones de hasta 16 bar. Las limitaciones aplicables al uso de este método derivan de los límites prácticos del refuerzo de los tubos Flowtite y la longitud de las bridas con anillos de retención. Estas bridas se colocan en el lado de compresión de la válvula, cargando la pared de la cámara que funciona como un macizo de anclaje. El otro lado del tubo en la cámara tiene libertad relativa de movimiento axial para absorber los movimientos debidos a los cambios de temperatura y el efecto de Poisson.

Se deben observar las pautas que siguen al diseñar un sistema de tipo IV:

- 1 Un tubo "especial" lleva una brida con anillo de retención de PRFV de fábrica en el lado de compresión que se embebe en la pared de la cámara de válvulas para servir de anclaje.
- 2 La otra parte del tubo tiene libertad de movimiento axial a través de una junta de estanqueidad en la pared de la cámara de válvulas.
- 3 El peso de la válvula recae sobre la base de la cámara de válvulas, que debe ser diseñada para soportar toda la carga del empuje axial de la válvula. Las paredes de la cámara deben reforzarse convenientemente para resistir las cargas axiales de la brida con anillo de retención.

4 La cámara de válvulas se debe diseñar como un macizo de anclaje para resistir el empuje axial. La selección, colocación y compactación del material de relleno debe resistir las fuerzas laterales y de asentamiento creadas por el cierre de la válvula. El movimiento lateral se debe limitar a 15mm.

5 El tubo "especial" incorpora un manguito empotrado en la pared de la cámara. El tubo "especial" dentro de la cámara debe ser reforzado para soportar las cargas axiales y esfuerzos locales sobre la cara interior de la cámara de hormigón. Deberá informar al proveedor de Flowtite de las cargas de empuje máximas que se anticipan con objeto de poder diseñar el refuerzo adecuado para el tubo "especial".

6 Se debe colocar un tubo de longitud corta fuera de la cámara de válvulas de conformidad con las prácticas normales de instalación (vea la *Tabla 5.4*).

7 Se debe usar un relleno estabilizado con cemento o grava compactada a una densidad de compactación relativa del 90% para llenar el hueco debajo del tubo que sale de la estructura de la cámara de válvulas (vea la *Figura 5.3* →).

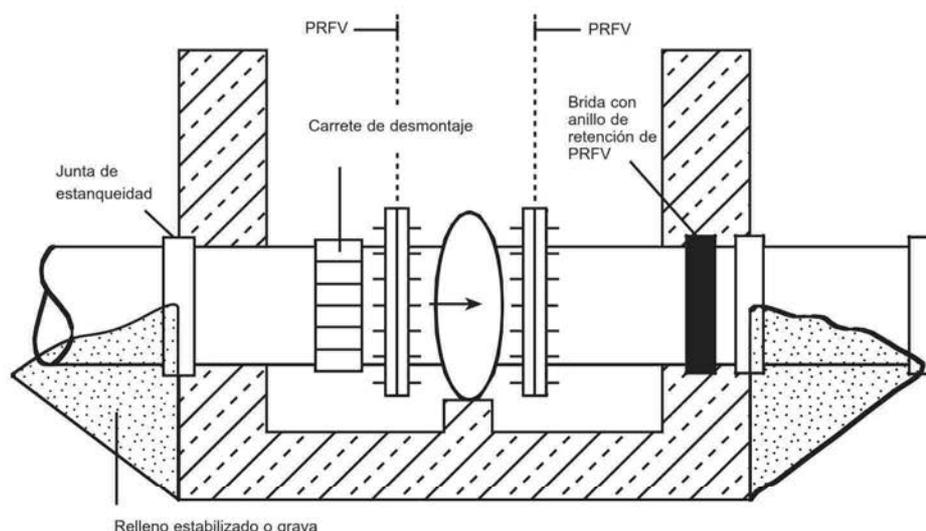


Figura 8.4 Tipo IV – Uso de una brida con anillo de retención para resistir las fuerzas de empuje

Tipo 5 Este método de anclaje (**Figura 8.5**) se puede utilizar para cualquier aplicación. La única limitación de uso deriva del tamaño de la cámara de válvulas. La cámara se debe diseñar como un macizo de anclaje. Cuando las dimensiones del paramento del macizo de anclaje necesario sean superiores a las dimensiones físicas de la cámara de válvulas, se deben ampliar las dimensiones del lado de aguas abajo de la cámara para satisfacer los requisitos del macizo de anclaje. La brida de contención de empuje se coloca en el lado de compresión de la válvula para transferir el empuje directamente a la pared de la cámara, que funciona como un bloque de contención. El otro extremo del sistema de tubería goza de libertad relativa de movimiento axial para encajar los movimientos debidos a los cambios de temperatura y el efecto de Poisson.

Se deben observar las pautas que siguen al diseñar un sistema de tipo V:

- 1 El peso de la válvula debe recaer sobre la base de la cámara de válvulas. El empuje de una válvula cerrada debe ser asumido por el carrete de acero de un tubo anclado en la pared de la cámara de válvulas mediante una brida soldada en el lado de compresión de la válvula.
- 2 Se debe usar un manguito flexible de acero o un manguito mecánico de transición para la transición entre el carrete de acero y el tubo de longitud corta estándar Flowtite fuera de la cámara de válvulas.
- 3 La otra parte del tubo goza de libertad de movimiento axial a través de una junta de estanqueidad en la válvula. Las paredes de la cámara deben reforzarse convenientemente para resistir las cargas axiales de la brida con anillo de retención.
- 4 La cámara de válvulas se debe diseñar como un macizo de anclaje para resistir el empuje axial.

La selección, colocación y compactación del material de relleno debe ser lo suficiente como para resistir el asentamiento y las fuerzas laterales creadas por el cierre de la válvula. Se debe limitar el movimiento lateral a 15mm.

- 5 Se debe colocar un tubo de longitud corta fuera de la cámara de válvulas de conformidad con las prácticas normales de instalación (vea la **Tabla 5.4**).
- 6 Se debe usar un relleno estabilizado con cemento o grava compactada a una densidad de compactación relativa del 90% para llenar el hueco debajo del tubo que sale de la estructura de la cámara de válvulas (vea la **Figura 5.3** →).

8.2 Ventosas

Se suelen colocar ventosas –válvulas de liberación de aire o de aire/vacío– en los puntos más elevados de una larga línea de suministro. Las ventosas de aire deben permitir la liberación gradual del aire que se haya podido acumular en el punto más alto de la línea y que pueda limitar o bloquear el flujo de suministro. De la misma forma, las ventosas de vacío limitan la cantidad de presión negativa que puede experimentar una línea mediante su apertura cuando la válvula detecta una depresión. El diseño y tamaño de estas válvulas está fuera del alcance de esta guía de instalación. No obstante, a continuación se ofrecen ciertas pautas sobre el diseño de accesorios y estructuras para la instalación estos elementos auxiliares. Existen dos formas de insertar este tipo de ventosas en un sistema Flowtite. El método más común consiste en montar la ventosa directamente sobre un ramal vertical embridado. Alternativamente, en el caso de ventosas pesadas, también se puede diseñar un ramal tangencial para facilitar el montaje. A continuación se proporcionan detalles sobre ambos tipos de instalación:

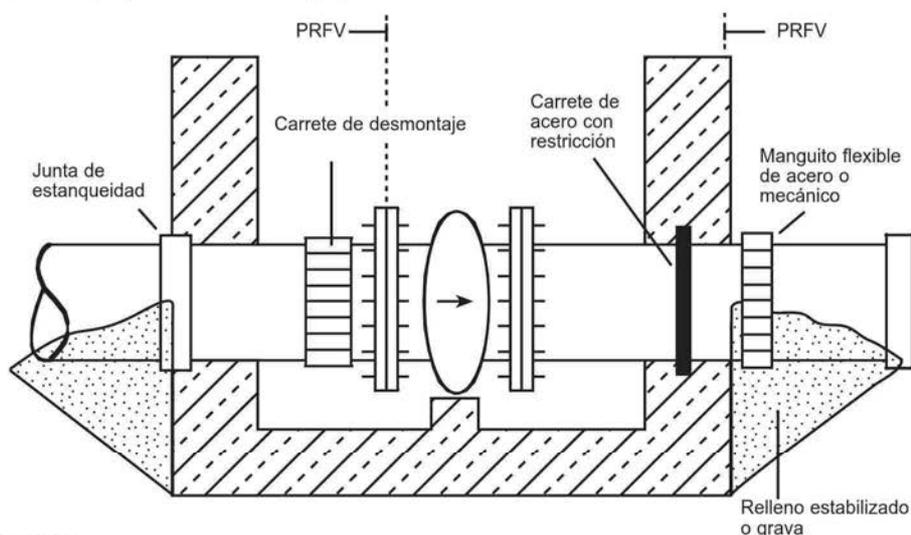


Figura 8.5 Anclaje

Ventosas pequeñas

La manera más fácil de acoplar una ventosa pequeña a un conducto consiste en montar la válvula directamente sobre un ramal vertical embridado que ascienda de la tubería principal. Por lo general, la válvula se alberga en una cámara de hormigón que permite una circulación fácil y segura del aire a través de la unidad. Cuando se diseña y construye la cámara directamente sobre el tubo, es importante comprobar que el peso de la cámara de hormigón no sea transferido al ramal vertical, y por consiguiente al tubo Flowtite más abajo. Esto se puede evitar haciendo que el orificio vertical en la base de la cámara sea más grande que el diámetro exterior del ramal de salida Flowtite. La **Figura 8.6** proporciona una ilustración general de estas características deseables.

Ventosas grandes (> 100mm)

En el caso de las ventosas más grandes, el método más utilizado para instalar estas válvulas más pesadas es a través de un ramal tangencial que evita que su peso recaiga directamente sobre el tubo de subida y lleva a la instalación de la válvula en una cámara contigua. El ramal tangencial puede estar en paralelo al eje horizontal o a un ligero ángulo vertical ($\leq 22,5^\circ$) con un codo. Consulte la **sección 5** , Macizos de anclaje, para averiguar si basta un macizo de anclaje por sí solo o si se requiere una combinación de macizo de anclaje y de contención de la deformación. Por lo general, si el diámetro del ramal tangencial (longitud de la cuerda) es mayor que el 50% del diámetro de la tubería principal se requiere un macizo de anclaje del empuje/deformación. De otra forma, solo se requiere un macizo de anclaje. La **Figura 8.7** proporciona una ilustración general de la forma de acoplar una ventosa grande a un tubo Flowtite.

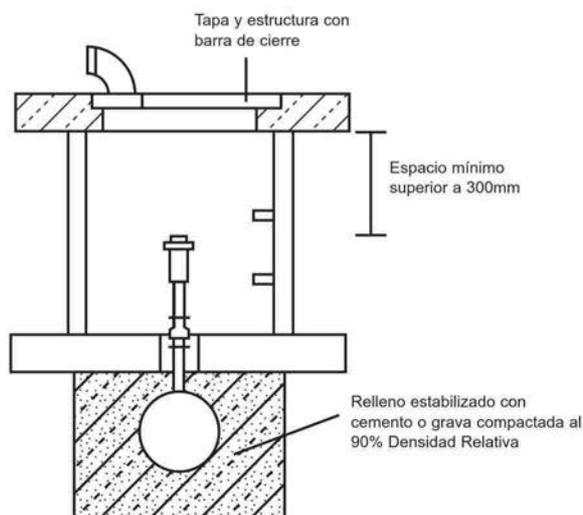


Figura 8.6 Montaje de una ventosa de diámetro pequeño

8.3 Válvulas de limpieza y desagüe

El manguito de las válvulas de limpieza y desagüe es similar al de las ventosas de liberación de aire de gran diámetro, salvo por el hecho de que el tubo ramal es tangencial a la parte inferior del tubo. Son aplicables las mismas reglas de uso de macizos de contención de empuje y de empuje/deformación. Si el diámetro del tubo ramal tangencial (longitud de la cuerda) es mayor que el 50% del diámetro de la tubería principal entonces se requiere un macizo de anclaje de empuje/deformación (sección 5 ) . De otra forma, solo se requiere un macizo de anclaje. La **Figura 8.8** muestra disposiciones típicas de manguito de este tipo de accesorio en una tubería a presión Flowtite.

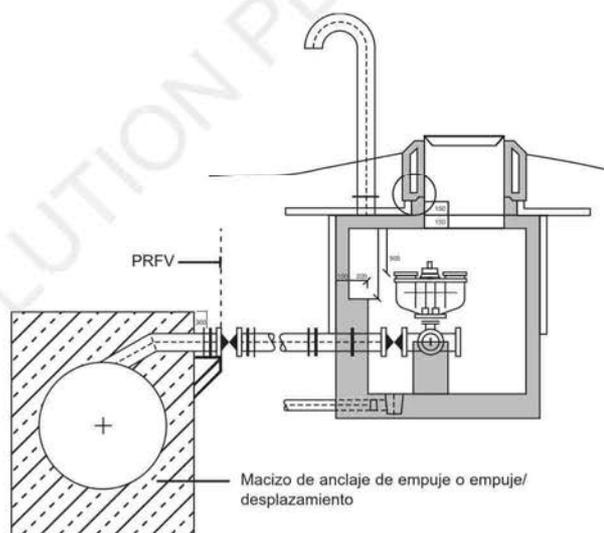


Figura 8.7 Montaje de una ventosa de diámetro grande

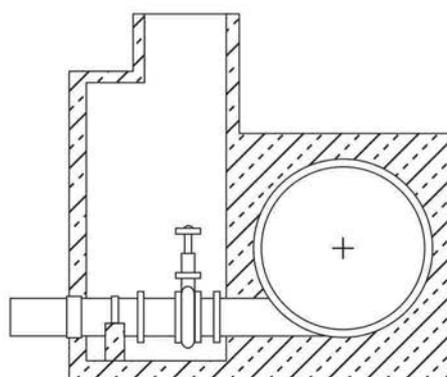


Figura 8.8 Montaje de válvulas de limpieza y desagüe

9 Acciones posteriores a la instalación

9.1 Inspección de la tubería instalada

Los valores de deflexión diametral máxima de la tubería instalada no deben exceder los valores de deflexión inicial y a largo plazo que figuran en la **Tabla 9.1**. No se admiten abultamientos, zonas planas u otros cambios bruscos de la curvatura de la pared del tubo. Si los tubos instalados no se ajustan a estas limitaciones pueden no funcionar según lo previsto.

La verificación del cumplimiento de los requisitos iniciales es fácil de realizar y se debe efectuar inmediatamente después de finalizar la instalación de cada tubo (normalmente en el plazo de las 24 horas siguientes a la consecución de la cobertura máxima).

La deflexión inicial prevista para la mayoría de las instalaciones después de llegar a la máxima cobertura de relleno de la zanja es de aproximadamente el 2%. Por lo tanto, cualquier valor en exceso de este valor es indicativo de que la instalación no se ajusta a lo previsto y que el montaje se debe mejorar en los tubos que siguen (por ejemplo, incrementando la compactación de la zona de relleno de la tubería, utilizando materiales de relleno de grano más grueso en la zona del tubo, cavando zanjas más anchas, etc.).

La verificación de la deflexión se debe comenzar a efectuar tan pronto como se haya rellenado la zona de los primeros tubos hasta el nivel del suelo, y se deben continuar realizando periódicamente a lo largo de todo el proyecto para comprobar la calidad de la instalación. No se debe permitir bajo ninguna circunstancia la instalación de una extensión importante de tubería sin antes verificar su calidad. Ello permite detectar y corregir a tiempo cualquier método inadecuado de instalación y minimizar el número de tubos instalados inadecuadamente.

Los tubos cuya deflexión inicial exceda los valores indicados en la **Tabla 9.1** deberán ser instalados de nuevo de forma que su deflexión inicial se ajuste a los límites marcados en dicha tabla. Consulte la sección 9.2, Corrección de un tubo con deflexión excesiva, para las limitaciones aplicables a este tipo de trabajos.

El procedimiento para verificar la deflexión diametral inicial en tubos ya instalados es el siguiente:

- 1 Complete el relleno hasta el nivel del suelo.
- 2 Complete la retirada de entibaciones (si se han usado).

	Deflexión % del diámetro
Diámetros grandes (DN ≥ 300)	3,0
Diámetros pequeños (DN ≤ 250)	2,5

Tabla 9.1 Deflexión vertical admisible

3 Desconecte el sistema de drenaje (si se ha usado).

4 Mida y registre el valor del diámetro vertical.

Nota: Para tubos de diámetro pequeño, se puede pasar un calibre a través de los tubos para verificar su diámetro vertical.

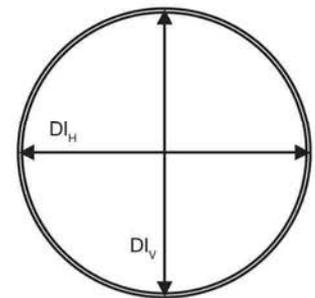
5 Calcule la deflexión vertical

$$\% \text{ deflexión} = \frac{\text{DI Real} - \text{DI Vertical Instalado}}{\text{DI Real}} \times 100$$

El DI Real se puede determinar midiendo los diámetros de un tubo que no ha sido instalado aún depositado sobre un suelo razonablemente plano (y sin tubos apilados). Calcúlese como sigue:

$$\text{DI Real} = \frac{\text{DI vertical} + \text{DI horizontal}}{2}$$

Figura 9.1
Determinación del DI en tubos aún no instalados



9.2 Corrección de un tubo con deflexión excesiva

Cuando la deflexión diametral vertical de un tubo supere los valores indicados en la **Tabla 9.1**, se deberá corregir la instalación para garantizar el rendimiento a largo plazo de la tubería.

Procedimiento:

Tubos con deflexiones de hasta el 8%:

- 1 Excavar hasta la zona de apoyo o un nivel aproximadamente equivalente al 85% del diámetro de la tubería. Las excavaciones que se lleven a cabo en las inmediaciones del tubo se deben realizar con herramientas manuales para evitar el impacto del equipo pesado sobre el tubo (**Figura 9.2**).
- 2 Comprobar que el tubo no ha sido dañado. Si es así, entonces se debe proceder a su reparación o sustitución.
- 3 Volver a compactar el material de relleno de la zona de apoyo, asegurándose de que este no ha sido contaminado por suelo que no cumpla los requisitos del material de relleno.
- 4 Volver a rellenar la zona de la tubería con el material adecuado en capas, compactando cada capa a la densidad de compactación relativa requerida.

- 5 Rellenar hasta el nivel del suelo y verificar que la deflexión del tubo no supere los valores iniciales de la **Tabla 9.1**.

Tubos con deflexiones superiores al 8%: Los tubos con deflexiones que superen el 8% deben ser reemplazados.

- 1 **Precaución:** No se intentará recuperar la redondez de un tubo instalado con deflexión excesiva apretándolo o forzándolo. Ello podría dañar el tubo.

Si se excavan varias tuberías, se debe tener cuidado de no colocar el material excavado de una tubería sobre la adyacente. El peso adicional y la reducción de apoyo lateral pueden aumentar una situación de deflexión excesiva.

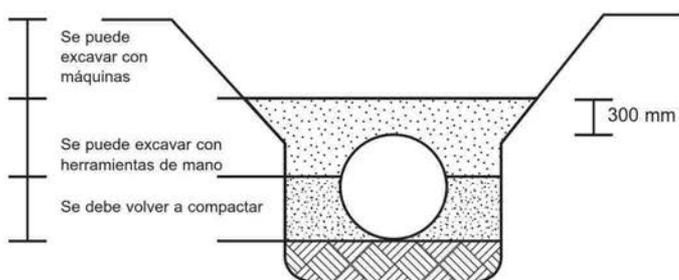


Figura 9.2 Excavación de un tubo con deflexión excesiva

9.3 Ensayo hidráulico

Algunas especificaciones de obra requieren que se realice un ensayo hidrostático de la instalación antes de proceder a su aprobación y puesta en servicio. Este tipo de ensayo resulta muy útil, ya que permite detectar y corregir, antes de la entrada en servicio, los posibles productos dañados, defectos de instalación, etc. En caso de que se especifique un ensayo hidráulico en particular, este se deberá efectuar periódicamente a medida que se realiza la instalación. Se considera buena práctica constructiva realizar dicho ensayo cada 1000 metros, como máximo, con objeto de evaluar adecuadamente la calidad de la instalación. El primer ensayo hidráulico debería incluir al menos una ventosa o una cámara de drenaje con objeto de poder evaluar la totalidad del sistema. Además de los cuidados rutinarios, las precauciones normales y los procedimientos típicos adoptados en este tipo de ensayo, se deben tener en cuenta las siguientes sugerencias.

- 1 Preparación previa al ensayo - Revisar la instalación una vez finalizada para comprobar que todos los trabajos se han terminado correctamente. Los puntos más críticos son:
- La deflexión inicial del tubo debe estar dentro de los límites establecidos en la **Tabla 9.1**.
 - Los manguitos deben estar montados correctamente.

- Los sistemas de sujeción de la tubería (por ejemplo, los macizos de hormigón y otros anclajes) deben estar colocados adecuadamente y fraguados.
- Las bridas deben estar apretadas al par indicado en las instrucciones.
- El relleno se debe haber finalizado (vea la **sección A.6** sobre profundidad mínima de instalación y limitaciones de alta presión y ensayo).
- Las válvulas y bombas deben estar montadas.
- El relleno y la compactación del material de relleno cerca de las estructuras y tubos de cierre se debe haber llevado a cabo adecuadamente.

- 2 Llenar la línea con agua - Abrir las válvulas y ventosas para dejar salir todo el aire durante el llenado de la tubería y evitar sobrepresiones.
- 3 Presurizar la línea lentamente. Cuando una línea está bajo presión, almacena gran cantidad de energía que debe ser tomada en consideración.
- 4 Comprobar que la posición del manómetro indica la presión más alta de la línea, o ajustarlo adecuadamente. Las posiciones más bajas de la línea tendrán presiones más altas debido a la carga estática adicional.
- 5 Verificar que la presión máxima de ensayo no exceda $1,5 \times PN$. Normalmente, la presión de ensayo de campo es o bien un múltiplo de la presión de funcionamiento o la presión de funcionamiento más un cierto incremento de presión. No obstante, la presión de ensayo de campo no debe exceder $1,5 \times PN$ bajo ninguna circunstancia.
- 6 Si después de un breve período de estabilización de la línea ésta no mantiene una presión constante, se debe comprobar que ello no se deba al efecto térmico (un cambio de temperatura), a la expansión del sistema o a la presencia de aire atrapado en la tubería. Si se detecta que la tubería tiene una fuga difícil de localizar, los siguientes métodos pueden contribuir a detectar el origen del problema:
- Verificar las zonas donde hay bridas y válvulas
 - Verificar los puntos de derivación de la tubería
 - Usar un equipo de detección por sonido
 - Conducir ensayos en tramos cortos para aislar la fuga

9.4 Equipo de verificación de manguitos en obra

El cliente puede pedir un equipo portátil de verificación hidráulica de manguitos ya instalados para instalaciones de diámetros de 800mm y superiores.

Este equipo sirve para comprobar los manguitos por su interior. Antes de conducir el ensayo es necesario comprobar que los tubos adyacentes al manguito bajo prueba hayan sido rellenados lo suficiente como para prevenir el movimiento de los tubos durante la prueba. El Servicio de Asistencia Técnica de su proveedor le podrá facilitar información adicional sobre este tipo de verificación.

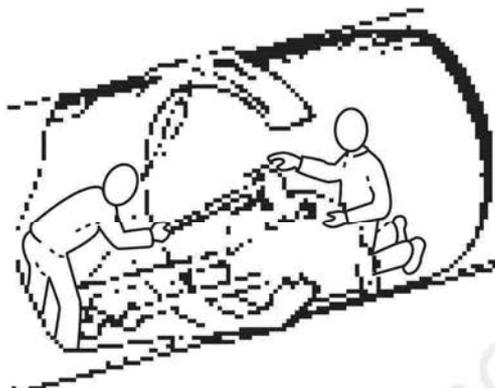


Figura 9.3 Equipo de verificación de manguitos

! **Precaución:** Este equipo ha sido diseñado para verificar que el manguito se ha montado correctamente, con las juntas adecuadas y en la posición indicada. El equipo está limitado a una presión máxima de prueba de 6 bar.

9.5 Ensayo con aire

Para sistemas de tubería por gravedad (PN 1 bar) existe un ensayo alternativo de verificación de fugas que se realiza con aire en lugar de agua. Además de los cuidados rutinarios, las precauciones normales y los procedimientos típicos adoptados durante este ensayo, se deben tener en cuenta las siguientes sugerencias:

- 1** Al igual que en el caso del ensayo hidráulico, se debe ensayar la tubería en tramos cortos, tomándose por lo general el tramo de tubería comprendido entre dos pozos de inspección.
- 2** Comprobar que la tubería y todos los materiales, carretes, accesos, etc., estén convenientemente taponados o conectados y fijados para soportar la presión interna.
- 3** Presurizar lentamente el sistema a 0,24 bar. La presión debe regularse para impedir una sobrepresión (máximo 0,35 bar).
- 4** Dejar que la temperatura del aire se estabilice durante algunos minutos mientras se mantiene la presión a 0,24 bar.

5 Durante el periodo de estabilización se recomienda verificar todos los puntos taponados y conectados con una solución jabonosa para detectar cualquier fuga. Si se encuentra una fuga, se debe desconectar el sistema de presión y proceder a su reparación, volviendo a empezar a continuación desde el punto 3.

6 Después del período de estabilización, ajustar la presión de aire a 0,24 bar y cortar o desconectar el suministro de aire.

7 La tubería pasa el ensayo si la caída de presión es de 0,035 bar o menos durante los períodos indicados en la **Tabla 9.2**.

8 Si la tubería no cumple los requisitos de aceptación del ensayo, se puede acoplar las conexiones neumáticas muy próximas la una de la otra y desplazarlas en ambos sentidos a lo largo de la línea, lo que permite repetir el ensayo en cada punto hasta que se detecta la fuga. Este método de localización es muy preciso y permite localizar fugas en una distancia comprendida entre uno y dos metros. Con ello se minimiza el área a excavar y se reducen los costes de reparación.

! **Precaución:** DURANTE LA PRESURIZACIÓN SE ALMACENA GRAN CANTIDAD DE ENERGÍA EN LA TUBERÍA. ESTO ES ESPECIALMENTE CIERTO CUANDO EL MEDIO DE ENSAYO ES EL AIRE (INCLUSO A BAJAS PRESIONES). DE AHÍ QUE SE DEBA COMPROBAR QUE LA TUBERÍA ESTÉ ADECUADAMENTE ANCLADA EN LOS CAMBIOS DE DIRECCIÓN Y SEGUIR LAS PRECAUCIONES DE SEGURIDAD DEL FABRICANTE EN DISPOSITIVOS TALES COMO OBTURADORES DE AIRE COMPRIMIDO.

! **Nota:** Este ensayo determina la rapidez a la cual el aire a presión se escapa de un tramo aislado de tubería. Este tipo de ensayo se utiliza para determinar la presencia o ausencia de daños en la tubería y/o para determinar si los manguitos han sido montados correctamente.

Diámetro (mm)	Tiempo (min.)	Diámetro (mm)	Tiempo (min.)
100	2,50	1000	25,00
150	3,75	1100	27,50
200	5,00	1200	30,00
250	6,25	1300	32,50
300	7,75	1400	35,00
350	8,75	1500	37,50
400	10,00	1600	40,00
500	12,50	1800	45,00
600	15,00	2000	50,00
700	17,50	2200	55,00
800	20,00	2400	60,00
900	22,50		

Tabla 9.2 Tiempo de ensayo – ensayo con aire

10 Instalaciones alternativas

01

02

03

04

05

06

07

08

09

10

ap.

Si después de seleccionar la rigidez del tubo, el tipo de instalación y el grupo de suelo natural, la profundidad de instalación sobrepasa los límites de compactación, se deberán de considerar procedimientos de instalación alternativos.

Existen tres métodos de instalación alternativos.

- Ensanchado de la zanja
- Tabliestacado permanente (vea la **sección 7.5** →)
- Rellenado con cemento estabilizado

10.1 Ensanchado de la zanja

Este método consiste en incrementar el ancho de la zanja, lo cual permite alejar el suelo natural del tubo, posibilitando así una instalación más profunda y valores más altos de presión negativa admisible (vacío).

10.2 Rellenado con cemento estabilizado

Utilización

Se crea una mezcla de cemento con suelo arenoso húmedo. Esta mezcla se coloca en la zanja y se compacta de la misma forma que cualquier material de relleno. La cantidad de cemento Pórtland de tipo 3 que se debe añadir al suelo arenoso es de aproximadamente 4 a 5 partes por cada 100 de suelo. El nivel de humedad de la mezcla debe ser del 5 al 10%. La densidad de compactación requerida depende de la profundidad de la capa antes de que fragüe el material de relleno. Si se busca una cobertura poco profunda, la densidad requerida será baja. El material estabilizado tiene que fraguar al máximo en un tiempo de 24 a 48 horas antes de que se pueda rellenar la zanja hasta el nivel del suelo. La profundidad máxima de relleno es de 5 metros.

Mezcla

100 partes de suelo (peso seco), 4 a 5 partes de cemento Pórtland tipo 3 y 12% de agua ($\pm 6\%$). Se debe tener en cuenta el contenido de humedad natural del suelo antes de añadir el agua. El suelo puede ser de tipo SC2 o SC3. El tipo de suelo SC2 es más fácil de mezclar; no obstante, también se puede utilizar el tipo SC3. La mezcla se puede realizar en el suelo, extendiendo una fina capa de cemento sobre una capa de material de relleno y mezclando las dos. La mezcla se puede hacer manualmente, con un azadón, o mecánicamente, con un equipo adecuado. El relleno se debe colocar en la zanja dentro del plazo de las dos horas que siguen a la creación de la mezcla.

Compactación

El relleno de cemento estabilizado adquiere un alto nivel de rigidez sin necesidad de un grado de compactación. Se debe colocar el material de relleno por debajo de los riñones de la tubería y se debe compactar con una herramienta adecuada. Para compactar el relleno de cemento estabilizado junto al tubo es necesaria una apisonadora Whacker. Un pase del compactador por cada capa de 300mm basta en la mayoría de los casos en los que la profundidad de la capa es menor de 2 metros. Se ha de revisar la deflexión del tubo para asegurarse de que la compactación es adecuada para sostener el conducto. Si la deflexión inicial es superior a 2,5%, se debe aumentar la cantidad de compactación o usar capas más finas de cobertura hasta que fragüe el material de relleno de cemento estabilizado en uno o dos días. Si lo que se quiere es colocar una cobertura profunda antes de que haya fraguado el relleno de cemento estabilizado, entonces se requerirá un mayor nivel de compactación para evitar una deflexión excesiva del tubo. Asegúrese de que la deflexión inicial no supera el 2,5%. El esfuerzo de compactación requerido varía en función de la profundidad de la cobertura, el grosor de cada capa y el tipo de suelo utilizado en la mezcla.

También se recomienda usar material de relleno estabilizado en las áreas próximas a grandes macizos de hormigón o cámaras de válvulas y en áreas en las que haya habido una sobreexcavación.

Apéndice AWWA M45 o ATV 127

Apéndice A	Diseño de la instalación	40
A.1	Principios de diseño	40
A.2	Grupos de rigidez de suelos naturales	42
A.3	Módulo confinado del material de relleno M_{sb}	42
A.4	Ancho de zanja.....	44
A.5	Presión negativa.....	44
A.6	Profundidad mínima de instalación	45
A.7	Cargas sísmicas.....	45
A.8	Migración de materiales de relleno	46
Apéndice B	Tablas de instalación	46
Apéndice C	Clasificación y características de los suelos naturales	62
Apéndice D	Clasificación y características de los suelos de relleno	62
Apéndice E	Ensayos de clasificación de suelos naturales en obra	65
Apéndice F	Compactación del relleno.....	65
Apéndice G	Definiciones y terminología	67
Apéndice H	Pesos aproximados de tubos y manguitos	68
Apéndice I	Requisitos de lubricante por unión.....	69
Apéndice J	Limpieza de tuberías de saneamiento Flowtite.....	69

01

02

03

04

05

06

07

08

09

10

ap.

Apéndices

Apéndice A Diseño de la instalación

Para asegurar la larga vida y el buen funcionamiento de los tubos Flowtite es preciso manejar e instalar los tubos adecuadamente. Los tubos Flowtite son flexibles y permiten al proyectista del sistema utilizar el lecho y la zona de relleno al lado del tubo como apoyo. Juntos, el tubo y el material del lecho forman un sistema tubería-suelo que garantiza el funcionamiento a largo plazo de la instalación.

Las metodologías de diseño más aceptadas en relación con el diseño de una instalación de tubos de PRFV se basan en el trabajo de la Abwassertechnischen Vereinigung (ATV) de Alemania y la American Water Works Association (AWWA) de Estados Unidos. Ambos métodos han sido utilizados con éxito durante décadas. Este Apéndice se basa en el enfoque actual de la AWWA.

A.1 Principios de diseño

Un tubo flexible como el Flowtite sufre una deflexión cuando es sometido a cargas de suelo y/o de tráfico. Una vez deflexionado, el aumento en su diámetro horizontal desarrolla una resistencia pasiva del suelo que contrarresta la deflexión. La cantidad de deflexión necesaria para generar suficiente presión del suelo para resistir cualquier carga dependerá, principalmente, de la rigidez del material de relleno y del suelo natural, así como del ancho de la zanja. De ahí que la deflexión inicial del tubo medida después de haber rellenado la zanja al nivel final sea considerada como un indicador directo de la calidad de la instalación de la tubería.

El asentamiento y la consolidación de los suelos alrededor de la conducción aumentan la deflexión del tubo con el tiempo. La mayor parte del aumento de deflexión tiene lugar durante los primeros dos años después de finalizar la instalación. Después de este tiempo, la deflexión se estabiliza.

Las deflexiones iniciales no deben superar los valores indicados en la **Tabla A.1**. Si no se respetan estos límites de instalación es probable que los tubos no funcionen como es debido.

El tipo de instalación adecuado para los tubos Flowtite varía en función de las características del suelo natural, la profundidad de instalación, las condiciones de carga y la disponibi-

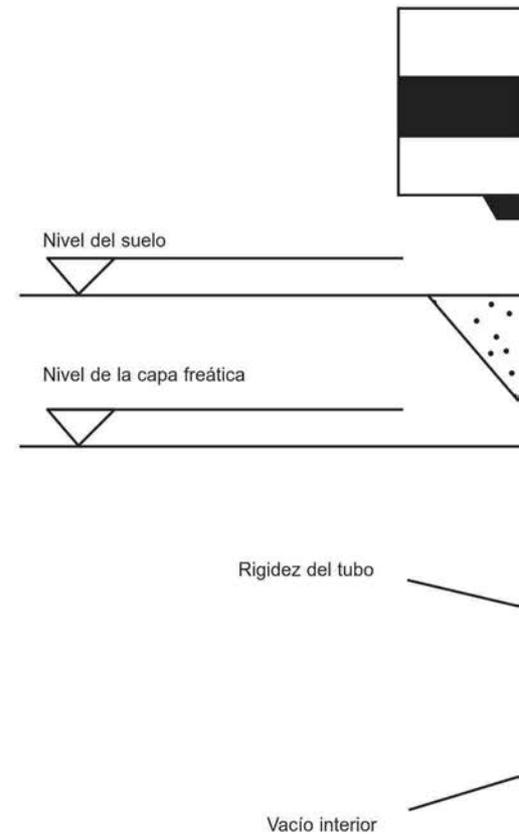
	Deflexión % del diámetro
Diámetros grandes (DN \geq 300) Inicial	3,0
Diámetros pequeños (DN \leq 250) Inicial	2,5

Tabla A.1 Deflexión vertical admisible

lidad de materiales de relleno. El suelo natural y el material de relleno de la zanja deben confinar adecuadamente el tubo para brindar un buen apoyo a la tubería.

El nivel de apoyo del suelo circundante se define en términos del módulo del suelo confinado o uniaxial, M_s , en la zona del tubo. Para determinar el M_s de una tubería enterrada, se deben determinar por separado los coeficientes del suelo natural, M_{sn} , y del material de relleno alrededor del tubo, M_{sb} , y combinarlos en función del ancho de la zanja.

Los parámetros más importantes del diseño de una instalación aparecen en la **Figura A.1**. La rigidez del suelo natural, profundidad de instalación, nivel freático, cargas de superficie (típicamente tráfico) y vacío interior se deben determinar de acuerdo con las condiciones imperantes a lo largo de la instalación prevista. Basándose en esta información y en el material de relleno disponible, se establece el nivel de compactación del relleno, el ancho de la zanja y la rigidez del tubo.



El Apéndice B  incorpora una serie de tablas de diseño de instalación de tuberías en las que figura la compactación mínima de relleno. Estas tablas cubren las instalaciones y condiciones de funcionamiento más comunes. Se incluyen tablas para combinaciones específicas de (1) nivel de capa freática, (2) carga de tráfico, (3) vacío interior y (4) ancho de zanja. Las tablas muestran la compactación mínima del material de relleno necesaria a distintos niveles de instalación para toda una serie de combinaciones prácticas de material de relleno, suelo natural y rigidez de tubo. Todas estas tablas son válidas para presiones de funcionamiento entre la presión atmosférica y la presión nominal del tubo.

En la mayoría de las instalaciones que figuran en el Apéndice B, la deflexión inicial prevista es menor del 2%. Por lo tanto, mientras que las deflexiones iniciales que aparecen en la **Tabla A.1** son aceptables para el funcionamiento de un tubo, un valor en exceso de la cantidad prevista indica que no se ha conseguido el nivel de instalación que se pretendía y que esta se debe mejorar en los siguientes tubos (mediante una mayor compactación del material de relleno

en la zona del tubo, una selección de materiales de relleno de grano menos fino o una zanja más ancha).

Los Apéndices C a G proporcionan información sobre los suelos naturales y de relleno.

- **Apéndice C** – Clasificación y características de los suelos naturales
- **Apéndice D** – Clasificación y características de los suelos de relleno
- **Apéndice E** – Ensayos de clasificación de suelos naturales en obra
- **Apéndice F** – Compactación del relleno
- **Apéndice G** – Definiciones y terminología

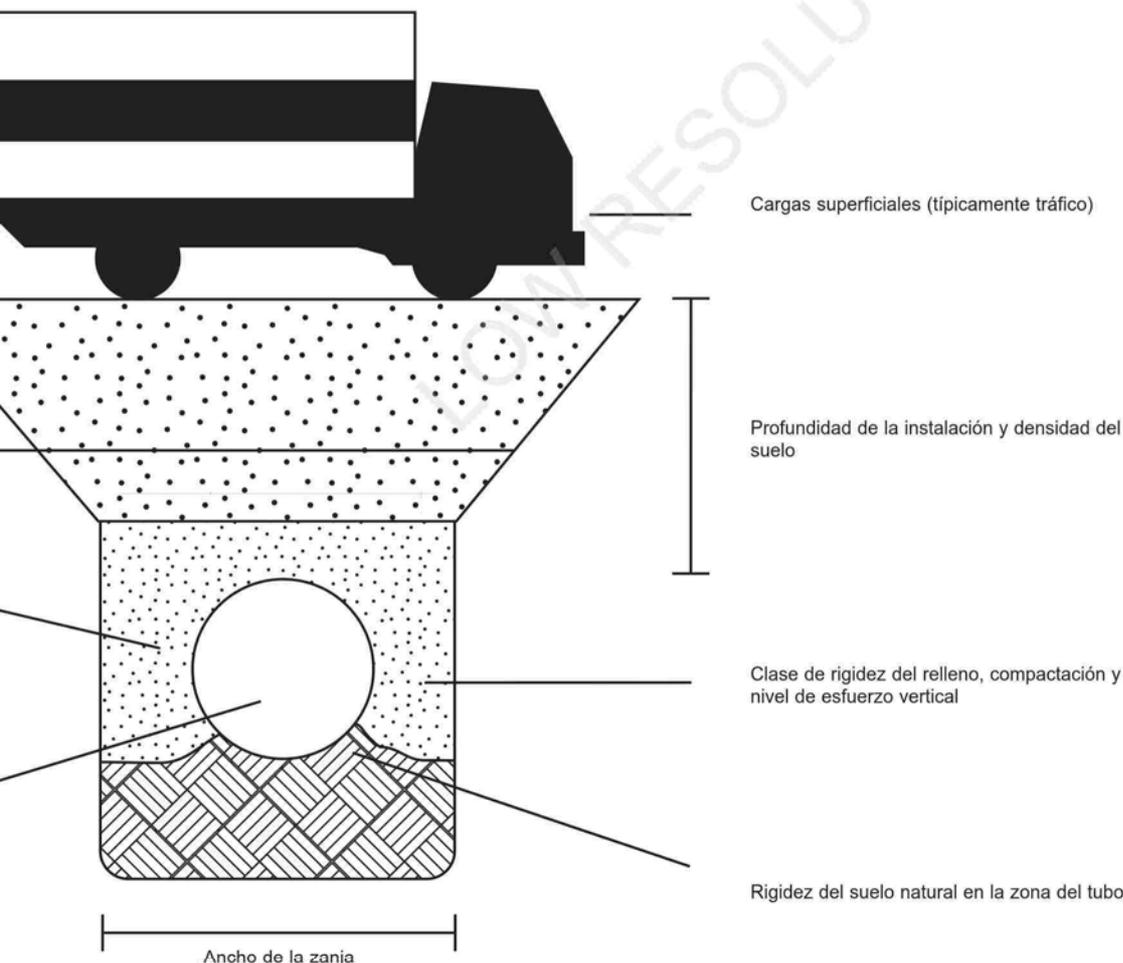


Figura A.1 Parámetros aplicables al diseño de la instalación

A.2 Grupos de rigidez de suelos naturales

El nivel de apoyo que proporciona el suelo natural se define en términos del módulo del suelo confinado o uniaxial M_{sn} en la zona de la tubería. A efectos del diseño de una instalación, los suelos se agrupan por clases de rigidez. La **Tabla A.2** proporciona una breve descripción de los grupos de rigidez de los suelos naturales. El Apéndice C da definiciones más detalladas de estos grupos.

Se deben realizar ensayos del suelo natural con cierta frecuencia y muy en especial en los sitios en que se sospeche que se puedan producir cambios. Son particularmente importantes los resultados obtenidos en la zona del lecho y de la tubería. El recuento del número de golpes debe mostrar la condición más adversa (débil) que se pueda encontrar durante un periodo de tiempo representativo. Por lo general, la condición más adversa tiene lugar cuando el la capa freática alcanza su máximo nivel.

A.3 Módulo confinado del material de relleno, M_{sb}

El nivel de apoyo que proporciona el material de relleno se expresa en forma del módulo confinado M_{sb} en M_{Pa} .

A efectos del diseño de una instalación, los materiales adecuados de relleno se dividen en 4 categorías de rigidez: SC1, SC2, SC3 y SC4. La **Tabla A.3** proporciona una breve descripción de estas categorías.

Con independencia de la categoría de rigidez del material de relleno, cuánto más alta sea la compactación más elevado será el módulo del suelo y el nivel de apoyo. Adicionalmente, el módulo del suelo también aumenta con el nivel de presión vertical del suelo, es decir, con la profundidad de la instalación.

Las **Tablas A.4 a Tabla A.7** muestran los valores M_{sb} para las categorías de rigidez SC1, SC2, SC3 y SC4 en función del % PN (densidad próctor normal) y del nivel de carga vertical. Estos valores son aplicables a tubos instalados por encima del nivel de la capa freática. En el caso de los tubos instalados por debajo de este nivel, el módulo del suelo se reduce para los suelos de menor rigidez y menor compactación (vea los valores que aparecen entre paréntesis). El nivel de carga vertical es la carga vertical efectiva del suelo en la clave del tubo. Por lo general se calcula tomando el peso unitario del suelo multiplicado por la profundidad del relleno. El empuje del agua sobre el suelo se debe utilizar en las instalaciones situadas por debajo del nivel freático.

Para una descripción de las categorías de rigidez de los materiales de relleno, consulte en Apéndice D [→](#).

Grupo de suelo natural	Suelos granulares		Suelos cohesivos		Módulo M_{sn}
	Número de golpes ¹	Descripción	q_u kPa	Descripción	
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 A.2 Clasificación de suelos naturales. Valores del módulo confinado, M_{sn}

Categoría de rigidez del suelo de relleno	Descripción del suelo de relleno
SC1	Roca triturada con menos de 15% arena, máximo 25% menor de 9,5mm y máximo 5% de finos ²
SC2	Suelos de partículas gruesas limpios: SW, SP ¹ , 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 más de finos 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 menos 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 (0,15mm), 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 de 200 con apertura de malla de 0,076mm.

Tabla A.3 Clasificación de materiales de relleno

Profundidad de instalación (densidad del suelo 18,8 kN/m ³)	Nivel de carga vertical	Compactación, % máximo del PN	
		Compactado	Tirado
m	kPa	MPa	MPa
0,4	6,9	16,2	13,8
1,8	34,5	23,8	17,9
3,7	69,0	29,0	20,7
7,3	138,0	37,9	23,8
14,6	276,0	51,7	29,3
22,0	414,0	64,1	34,5

Tabla A.4 M_{sb} de los suelos de relleno SC1

Profundidad de instalación (densidad del suelo 18,8 kN/m ³)	Nivel de carga vertical	Compactación, % máximo de PN			
		100	95	90	85
m	kPa	MPa	MPa	MPa	MPa
0,4	6,9	16,2	13,8	8,8 (7,5)	3,2 (2,4)
1,8	34,5	23,8	17,9	10,3 (8,8)	3,6 (2,7)
3,7	69,0	29,0	20,7	11,2 (9,5)	3,9 (2,9)
7,3	138,0	37,9	23,8	12,4 (10,5)	4,5 (3,4)
14,6	276,0	51,7	29,3	14,5 (12,3)	5,7 (4,3)
22,0	414,0	64,1	34,5	17,2 (14,6)	6,9 (5,2)

Tabla A.5 M_{sb} de los suelos de relleno SC2 (valores reducidos aplicables por debajo del nivel freático entre paréntesis)

Profundidad de instalación (densidad del suelo 18,8 kN/m ³)	Nivel de carga vertical	Compactación, % máximo de PN			
		100	95	90	85
m	kPa	MPa	MPa	MPa	MPa
0,4	6,9	-	9,8 (4,9)	4,6 (2,3)	2,5 (1,3)
1,8	34,5	-	11,5 (5,8)	5,1 (2,6)	2,7 (1,4)
3,7	69,0	-	12,2 (6,1)	5,2 (2,6)	2,8 (1,4)
7,3	138,0	-	13,0 (6,5)	5,4 (2,7)	3,0 (1,5)
14,6	276,0	-	14,4 (7,2)	6,2 (3,1)	3,5 (1,8)
22,0	414,0	-	15,9 (8,0)	7,1 (3,6)	4,1 (2,1)

Tabla A.6 M_{sb} de los suelos de relleno SC3 (valores reducidos aplicables por debajo del nivel freático entre paréntesis)

Profundidad de instalación (densidad del suelo 18,8 kN/m ³)	Nivel de carga vertical	Compactación, % máximo de PN			
		100	95	90	85
m	kPa	MPa	MPa	MPa	MPa
0,4	6,9	-	3,7 (1,11)	1,8 (0,54)	0,9 (0,27)
1,8	34,5	-	4,3 (1,29)	2,2 (0,66)	1,2 (0,36)
3,7	69,0	-	4,8 (1,44)	2,5 (0,75)	1,4 (0,42)
7,3	138,0	-	5,1 (1,53)	2,7 (0,81)	1,6 (0,48)
14,6	276,0	-	5,6 (1,68)	3,2 (0,96)	2,0 (0,60)
22,0	414,0	-	6,2 (1,86)	3,6 (1,08)	2,4 (0,72)

Tabla A.7 M_{sb} de los suelos de relleno SC4 (valores reducidos aplicables por debajo del nivel freático entre paréntesis)

1 Nota: Los valores de M_{sb} en los niveles intermedios de carga vertical que no figuran en Tablas A.4 a Tabla A.7 se pueden obtener por interpolación.

1 Nota: El % máximo de densidad próctor normal indica la densidad seca del suelo compactado como porcentaje de la densidad seca máxima determinada con arreglo a la norma ASTM D698.

A.4 Ancho de zanja

El nivel de apoyo que precisa una instalación de tubería, expresado en forma del módulo compuesto confinado del suelo, M_S , depende del módulo confinado tanto del material de relleno como del suelo natural, M_{SB} y M_{SN} , así como del ancho de la zanja.

El las instalaciones de tubería realizadas en suelos naturales blandos en los que el M_{SN} es inferior al M_{SB} , el módulo compuesto, M_S , es menor que el módulo del material de relleno, M_{SB} . El efecto es menos pronunciado en las zanjas más anchas y se puede obviar en zanjas que midan más de 5 veces el ancho del conducto en la línea de la generatriz del tubo sobre el diámetro horizontal. Esto significa que una zanja más ancha ofrece un soporte mayor de suelo.

En las instalaciones realizadas en suelos naturales firmes en donde el M_{SN} es superior al M_{SB} , el módulo compuesto es mayor que el del material de relleno. Este efecto es menos pronunciado en las zanjas más anchas, que en este caso proporcionan menos apoyo de suelo.

La zanja siempre debe ser lo suficientemente ancha como para permitir una adecuada colocación y compactación del material de relleno en la zona de enriñonado. También debe ser lo bastante ancha como para permitir el funcionamiento seguro del equipo de compactación sin ocasionar daños a la tubería.

A.5 Presión negativa

Con objeto de proporcionar el apoyo necesario a la tubería, se recomienda una profundidad mínima de instalación de 1,0 metro en situaciones de presión negativa (vacío) de más de 0,25 bar para tubos de SN 2500 o de 0,5 bar para tubos de SN 5000.

La máxima presión negativa (vacío) admisible en una tubería está en función de la profundidad de instalación, el suelo natural, la rigidez del suelo tanto natural como de relleno y el ancho de la zanja. Vea el Apéndice B [B](#) para los requisitos de compactación de material de relleno en el caso de tuberías con vacío.

Secciones de tubería no enterrada

Algunas secciones de la tubería enterrada, cómo pueden ser los registros o las cámaras de válvulas, no tienen el apoyo del suelo. Dado que no se cuenta con el apoyo estabilizador del suelo, la capacidad de estas partes de soportar una presión negativa es limitada y se debe establecer por separado. La **Tabla A.8** presenta las máximas presiones negativas admitidas en tubos de longitudes libres comprendidas entre los 3, 6 y 12 metros.

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
1200	0,95	0,46	0,26	1,00	0,77	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
2400	1,00	0,94	0,45	1,00	1,00	0,76	1,00	1,00	1,00

Tabla A.8 Máxima presión negativa admisible (bar) en secciones de tubo no enterradas. Longitud de tubo libre de 3, 6 y 12 metros

A.6 Profundidad mínima de instalación

General

La profundidad mínima de instalación recomendada para tubos con una presión de funcionamiento de 10 bar o menos es de 0,5 metros, siempre que estén unidos sin desviación angular vertical alguna. Los requisitos para condiciones de instalación y funcionamiento con cargas de tráfico, presión negativa, alta presión, nivel freático alto o helada se exponen en las secciones que siguen.

Cargas de tráfico rodado

En situaciones que requieran enterrar los tubos bajo un camino, o en que se prevean condiciones de carga de tráfico continuado, se debe compactar el material de relleno hasta al nivel del suelo. Consulte los códigos de construcción de caminos para los requisitos y recomendaciones locales. Las restricciones de profundidad mínima se pueden reducir mediante el uso de instalaciones especiales como revestimientos de hormigón, losas de hormigón de reparto, guardas, etc.

Tipo de carga	Carga (kN) de tráfico (por rueda)	Profundidad mínima de instalación (metros)
ATV LKW 12	40	0,6
ATV SLW 30	50	0,6
AASHTO HS20	72	0,8
AASHTO HS25	90	1,0
BS153 HA	90	1,0
ATV SLW 60	100	1,0
MOC	160	1,5
Máquina de ferrocarril Cooper E80		3,0

Tabla A.9 Profundidades mínimas de instalación con cargas de tráfico en condiciones estándar

Las tablas de instalación que figuran en el Apéndice B se basan en una carga AASHTO HS20. Por lo general, en lo que se refiere a cargas de tráfico las buenas prácticas de construcción recomiendan una profundidad de instalación mínima de un metro utilizando suelos granulares bien compactados como material de relleno. La **Tabla A.9** muestra la profundidad mínima de instalación para otras cargas de tráfico.

Cargas de tráfico propio de la construcción

En algunos casos, se encuentran equipos pesados de movimiento de tierras o grúas de construcción en o cerca del área de instalación. Este tipo de equipo puede dar lugar a cargas de superficie localizadas muy elevadas. Se debe analizar y evaluar los efectos de dichas cargas caso por caso para establecer los procedimientos y las limitaciones pertinentes.

Presión negativa

Se recomienda una profundidad de instalación mínima de un metro en situaciones de presión negativa (vacío) donde la presión negativa sea mayor de 0,25 bar para tubos de SN 2500 y de 0,5 bar para tubos de SN 5000.

Alta presión

La presión alta requiere que se tenga en cuenta el efecto de las potenciales fuerzas ascensionales sobre las juntas durante el funcionamiento y cualquier ensayo hidrostático efectuado en la obra.

Para presiones de funcionamiento iguales o superiores a 16 bar, la profundidad de instalación mínima debe ser de 1,2 metros para tubos de DN \geq 300mm y de 0,8 metros para tubos de DN < 300mm.

Durante los ensayos hidrostáticos realizados a presiones de hasta 16 bar se deben rellenar las juntas al menos hasta la clave y los tubos hasta la profundidad mínima de cobertura. Durante los ensayos hidrostáticos realizados a presiones iguales o superiores a 16 bar en tubos que estén alineados, se deben rellenar las juntas al menos hasta la clave y los tubos hasta la profundidad mínima de cobertura antes de realizar el ensayo. En los tubos con desviación angular, se debe rellenar tanto el tubo como la junta hasta el nivel final antes de realizar el ensayo de presión.

Nivel freático alto

Se requiere nivel de cobertura mínimo del 0,75 del diámetro del tubo (nivel mínimo de densidad aparente del suelo seco de 19 kN/m³) para evitar que flote un tubo sumergido. Alternativamente, se pueden anclar los tubos durante la instalación. Si se escoge esta última vía, se deben usar flejes de un material plano de 25 mm de ancho colocados a intervalos de un máximo de 4 metros. Para obtener más información sobre el anclaje y las profundidades mínimas de instalación con anclajes, consulte con su proveedor.

Línea de penetración de helada

El nivel mínimo de cobertura que se requiere para los tubos Flowtite, al igual que para los de cualquier otro material, es aquel que permita enterrar el tubo por DEBAJO de la línea de penetración de helada prevista. Conviene consultar los códigos de práctica locales para obtener más información sobre las técnicas utilizadas para instalar tubos dentro del nivel de penetración de helada.

A.7 Cargas sísmicas

Debido a su flexibilidad, los tubos Flowtite han demostrado un excelente comportamiento sísmico. El análisis estructural de los tubos bajo una carga sísmica es específico a cada lugar de instalación, siendo las principales variables a tener en cuenta la magnitud del momento, las características del suelo y la probabilidad de un terremoto. Para obtener más información sobre las consideraciones de diseño y los análisis específicos a tener en cuenta, consulte con su proveedor.

A.8 Migración de materiales de relleno

Cuando se coloca un material de relleno abierto de tamaño uniforme junto a un material con partículas más finas, este último puede migrar hacia el material más grueso por la acción del gradiente hidráulico de las aguas subterráneas. En una zanja de tubería se pueden dar gradientes hidráulicos significativos durante la construcción, cuando los niveles de agua se controlan mediante bombeo, o después de la construcción, cuando los materiales permeables del lecho o relleno actúan como drenajes cuando suben los niveles de agua subterránea. La experiencia de campo muestra que la migración puede ocasionar pérdidas significativas en el apoyo de la tubería y aumentos en la deflexión de tubo.

La graduación y el tamaño relativo de las partículas del relleno deben ser compatibles con los de los materiales colindantes con objeto de minimizar la migración. Por lo general, en los lugares donde se prevea un flujo significativo de aguas subterráneas, se debe evitar colocar materiales con gruesos de tamaño uniforme, como SC1, por debajo o al lado de materiales más finos a menos que se utilicen métodos especiales para impedir la migración, como puede ser el uso de un filtro de suelo o una tela geotextil filtrante en la frontera marcada por los materiales incompatibles.

Los siguientes criterios de graduación se pueden usar para restringir la migración de finos hacia los huecos de materiales más gruesos bajo un gradiente hidráulico:

- $D_{15}/d_{85} < 5$ en donde D_{15} es la apertura de la malla del tamiz que permite el paso del 15% en peso del material más grueso y d_{85} la apertura de la malla del tamiz que permite el paso del 85% en peso del material más fino.
- $D_{50}/d_{50} < 25$ en donde D_{50} es la apertura de la malla del tamiz que permite el paso del 50% en peso del material más grueso y d_{50} la apertura de la malla que permite el paso del 50% en peso del material más fino. Este criterio no es de aplicación obligatoria cuando el material más grueso está bien graduado (vea la norma ASTM D 2487).

Si el material fino es una arcilla con una plasticidad media a alta (CL o CH), entonces se puede usar el criterio que sigue en lugar del criterio D_{15}/d_{85} : $D_{15} < 0,5\text{mm}$ en donde D_{15} es la apertura de la malla del tamiz que permite el paso del 15% en peso del material más grueso.

Este criterio puede necesitar ser modificado si uno de los materiales está graduado escalonadamente. Los materiales seleccionados para ser utilizados basándose en un criterio de graduación de filtraje deben ser manipulados y colocados de forma que se minimice la segregación.

Cuando no se pueda evitar el uso de materiales incompatibles, estos deberán separarse con una tela filtrante de vida útil equivalente a la de la tubería que impida el lavado o migración de materiales. La tela filtrante debe recubrir la

totalidad del lecho y de la zona de relleno y debe cerrarse en la parte superior de la zona de la tubería para impedir la contaminación del material de relleno seleccionado.

Apéndice B

Tablas de instalación

Las tablas de diseño de instalaciones que figuran en este Apéndice incluyen los niveles mínimos de compactación a los que se tiene que llevar el material de relleno. Se proporcionan datos de esta naturaleza para distintas profundidades de instalación y combinaciones prácticas de categoría de rigidez de relleno, grupo de rigidez de suelo natural y rigidez de tubo. Se cubren tanto zanjas estándar $Bd/D = 1,8$ como zanjas anchas $Bd/D = 3,0$. Las tablas también muestran combinaciones de (1) nivel de capa freática, (2) carga de tráfico y (3) vacío interior. Estas tablas son válidas para presiones de funcionamiento que van desde la presión atmosférica hasta la presión nominal del tubo.

La compactación mínima del material de relleno se expresa en forma de porcentaje de densidad Próctor Normal para las categorías de material de relleno SC2, SC3 y SC4. En cuanto al uso de piedra triturada como material de relleno, la categoría SC1, la compactación mínima se expresa para el material simplemente tirado (D) o compactado (C). Conviene tomar nota de que el material de relleno SC1 debe ser colocado adecuadamente en la zona de enriñonado para condiciones de instalación en las que no se requiere otro tipo de compactación.

Los valores de compactación recomendados deben ser considerados como los valores mínimos y las densidades de campo deben ser iguales o superiores a las que se especifican. No olvide tener en cuenta las variaciones estacionales al evaluar el contenido de humedad potencial tanto de los suelos naturales como de los materiales de relleno.

Las tablas de compactación de material de relleno se calculan de acuerdo al enfoque actual del AWWA, que presupone las propiedades de suelo y material de relleno que siguen:

- Factor de retardo de la deflexión, $DL = 1,5$
- Peso unitario en seco del relleno, $gs, \text{ seco} = 18,8 \text{ kN/m}^3$
- Peso unitario húmedo del relleno, $gs, \text{ húmedo} = 11,5 \text{ kN/m}^3$
- Coeficiente del lecho (instalación enterrada típica), $kx = 0,1$

Las tablas de compactación se han calculado para las condiciones de carga e instalación que figuran en las **Tablas B.1**, **Tabla B.2** y **Tabla B.3**.

La **Tabla B.1** muestra combinaciones para tubos de diámetro grande, $DN \geq 300\text{mm}$, instalados con una configuración de relleno de tipo 1 (vea la **Figura 3.4** →).

! **Nota:** Para instalaciones con la capa freática por debajo del tubo en las que pueden darse tanto cargas de tráfico como vacío, use el requisito de compactación más alto

de la **Tabla B.5** y **Tabla B.6**. Para instalaciones con la capa freática a nivel del suelo, con los mismos requisitos de tráfico y vacío utilice el más alto de las **Tablas B.8** y **B.9**.

Carga de tráfico	Vacío interior	Del suelo freático	Ancho de zanja en el punto medio del tubo	Tabla de instalación
AASTHO	Bar		B_d/D	
0	0	Por debajo del tubo	1,8 y 3,0	Tabla B-4
HS 20	0	Por debajo del tubo	1,8 y 3,0	Tabla B-5
0	1	Por debajo del tubo	1,8 y 3,0	Tabla B-6
0	0	A nivel del suelo	1,8 y 3,0	Tabla B-7
HS 20	0	A nivel del suelo	1,8 y 3,0	Tabla B-8
0	1	A nivel del suelo	1,8 y 3,0	Tabla B-9

Tabla B.1 Combinaciones de carga para instalaciones de tipo 1 con tubos de $DN \geq 300mm$

La **Tabla B.2** muestra combinaciones para tubos de diámetro pequeño, $DN \leq 250mm$, instalados con una configuración de relleno de tipo 1, vea la **Figura 3.4** →.

Carga de tráfico	Vacío interior	Del suelo freático	Ancho de zanja en el punto medio del tubo	Tabla de instalación
AASTHO	Bar		B_d/D	
0	0	Por debajo del tubo	1,8 y 3,0	Tabla B-10
HS 20	0	Por debajo del tubo	1,8 y 3,0	Tabla B-10
0	1	Por debajo del tubo	1,8 y 3,0	Tabla B-10
0	0	A nivel del suelo	1,8 y 3,0	Tabla B-11
HS 20	0	A nivel del suelo	1,8 y 3,0	Tabla B-11
0	1	A nivel del suelo	1,8 y 3,0	Tabla B-11

Tabla B.2 Combinaciones de carga para instalaciones del tipo 1 con tubos de $DN \leq 250mm$

! **Nota:** En las instalaciones en las que se puede dar tanto una carga de tráfico como un vacío, se debe usar el requisito de compactación más elevado de los que figuran en los dos casos de carga.

La **Tabla B.2** muestra combinaciones para tubos de diámetro grande, $DN \geq 300mm$, instalados con una configuración de relleno de tipo 2 (dividida), vea la **Figura 3.5** →.

Vacío interior	Del suelo freático	Ancho de zanja en el punto medio del tubo	Relleno debajo de 0,6 x DN	Relleno encima de 0,6 x DN		Tabla de instalación
Bar		B_d/D	Categoría	Categoría	% PD	
0	Por debajo del tubo	1,8 y 3,0	SC1, SC2	SC3	85	Tabla B-12
0	Por debajo del tubo	1,8 y 3,0	SC1, SC2	SC4	90	Tabla B-12
0.5	Por debajo del tubo	1,8 y 3,0	SC1, SC2	SC3	85	Tabla B-13
0.5	Por debajo del tubo	1,8 y 3,0	SC1, SC2	SC4	90	Tabla B-13
1	Por debajo del tubo	1,8 y 3,0	SC1, SC2	SC3	85	Tabla B-14
1	Por debajo del tubo	1,8 y 3,0	SC1, SC2	SC4	90	Tabla B-14
0	A nivel del suelo	1,8 y 3,0	SC1, SC2	SC3	85	Tabla B-15
0	A nivel del suelo	1,8 y 3,0	SC1, SC2	SC4	95	Tabla B-15
0.5	A nivel del suelo	1,8 y 3,0	SC1, SC2	SC3	85	Tabla B-16
0.5	A nivel del suelo	1,8 y 3,0	SC1, SC2	SC4	95	Tabla B-16
1	A nivel del suelo	1,8 y 3,0	SC1, SC2	SC3	85	Tabla B-17
1	A nivel del suelo	1,8 y 3,0	SC1, SC2	SC4	95	Tabla B-17

Tabla B.3 Combinaciones de carga para instalaciones de tipo 2 con tubos de $DN \geq 300mm$

Para información sobre otras instalaciones y/o condiciones de funcionamiento, consulte los documentos pertinentes de la AWWA o la ATV relativos al diseño de instalaciones.

01
02
03
04
05
06
07
08
09
10
ap.

Tipo 1 DN ≥ 300		Sin carga de tráfico – sin vacío interior – nivel freático por debajo del tubo																								
		Zanja estándar, Bd/D = 1,8												Zanja ancha, Bd/D = 3,0												
Relleno		SC1			SC2			SC3			SC4			SC1			SC2			SC3			SC4			<= Suelo natural
Profundidad instalación (m)	SN	2500	5000	10000	2500	5000	10000	2500	5000	10000	2500	5000	10000	2500	5000	10000	2500	5000	10000	2500	5000	10000	2500	5000	10000	
		1.0	D	D	D	85	85	85	85	85	85	90	90	90	D	D	D	85	85	85	85	85	85	90	90	90
1.5	D	D	D	85	85	85	85	85	85	90	90	90	D	D	D	85	85	85	85	85	85	90	90	90		
2.0	D	D	D	85	85	85	85	85	85	90	90	90	D	D	D	85	85	85	85	85	85	90	90	90		
3.0	D	D	D	85	85	85	85	85	85	90	90	90	D	D	D	85	85	85	85	85	85	90	90	90		
5.0	D	D	D	85	85	85	85	85	85	90	90	90	D	D	D	85	85	85	85	85	85	95	95	90		
8.0	D	D	D	85	85	85	85	85	85	95	95	95	D	D	D	90	90	90	90	90	90	95	95	95		
12.0	D	D	D	90	90	85	90	90	85			95	D	D	D	90	90	90	95	95	95					
20.0	D	D	D	90	90	90	95	95	95				D	D	D	90	90	90	95							
30.0	C	C	C	95	95	95							C	C	C	95	95	95								
1.0	D	D	D	85	85	85	85	85	85	90	90	90	D	D	D	85	85	85	85	85	85	90	90	90		
1.5	D	D	D	85	85	85	85	85	85	90	90	90	D	D	D	85	85	85	85	85	85	90	90	90		
2.0	D	D	D	85	85	85	85	85	85	90	90	90	D	D	D	85	85	85	85	85	85	90	90	90		
3.0	D	D	D	85	85	85	85	85	85	90	90	90	D	D	D	85	85	85	85	85	85	90	90	90		
5.0	D	D	D	85	85	85	85	85	85	90	90	90	D	D	D	85	85	85	85	85	85	95	95	90		
8.0	D	D	D	85	85	85	85	85	85	95	95	95	D	D	D	90	90	90	95	90	90			95		
12.0	D	D	D	90	90	90	95	95	90				D	D	D	90	90	90	95	95	95					
20.0	C	D	D	95	90	90			95				C	C	C	95	95	95								
30.0	C	C	C	100	100	100							C	C	C	95	95	95								
1.0	D	D	D	85	85	85	85	85	85	90	90	90	D	D	D	85	85	85	85	85	85	90	90	90		
1.5	D	D	D	85	85	85	85	85	85	90	90	90	D	D	D	85	85	85	85	85	85	90	90	90		
2.0	D	D	D	85	85	85	85	85	85	90	90	90	D	D	D	85	85	85	85	85	85	90	90	90		
3.0	D	D	D	85	85	85	85	85	85	90	90	90	D	D	D	85	85	85	85	85	85	90	90	90		
5.0	D	D	D	85	85	85	85	85	85	90	90	90	D	D	D	85	85	85	85	85	85	95	95	95		
8.0	D	D	D	90	90	85	90	90	85	95	95	95	D	D	D	90	90	90	95	95	95					
12.0	D	D	D	90	90	90	95	95	95				D	D	D	90	90	90	95	95	95					
20.0	C	C	C	100	100	100							C	C	C	95	95	95								
30.0	C	C	C	100	100	100							C	C	C	100	95	95								
1.0	D	D	D	85	85	85	85	85	85	90	90	90	D	D	D	85	85	85	85	85	85	90	90	90		
1.5	D	D	D	85	85	85	85	85	85	90	90	90	D	D	D	85	85	85	85	85	85	90	90	90		
2.0	D	D	D	85	85	85	85	85	85	90	90	90	D	D	D	85	85	85	85	85	85	90	90	90		
3.0	D	D	D	85	85	85	85	85	85	90	90	90	D	D	D	85	85	85	85	85	85	90	90	90		
5.0	D	D	D	85	85	85	85	85	85	95	95	90	D	D	D	90	85	85	90	85	85	95	95	95		
8.0	C	D	D	95	90	90	95	95	95				D	D	D	90	90	90	95	95	95					
12.0	C	C	C	100	100	95							D	D	D	90	90	90	95	95	95					
20.0	C	C	C										C	C	C	95	95	95								
30.0	C	C	C										C	C	C	100	100	100								
1.0	D	D	D	85	85	85	85	85	85	90	90	90	D	D	D	85	85	85	85	85	85	90	90	90		
1.5	D	D	D	90	85	85	90	85	85	95	90	90	D	D	D	85	85	85	85	85	85	90	90	90		
2.0	D	D	D	90	90	85	95	90	85			90	D	D	D	85	85	85	85	85	85	90	90	90		
3.0	C	C	D	95	95	90			95				D	D	D	90	85	85	90	85	85	95	95	90		
5.0	C	C	C			100							D	D	D	90	90	90	95	95	95					
8.0	C	C	C	100	100	100							D	D	D	90	90	90	95	95	95					
12.0													C	C	C	95	95	95								
20.0													C	C	C	100	100	100								
30.0													C	C	C											

Tabla B.4 Instalación de tipo 1, DN ≥ 300mm, nivel freático por debajo del tubo
Compactación de relleno mínima, % PN (D = tirado, C = compactado)

- 01
- 02
- 03
- 04
- 05
- 06
- 07
- 08
- 09
- 10
- ap.

Tipo 1 DN ≥ 300		Carga de tráfico AASHTO HS 20 – sin vacío interior – nivel freático por debajo del tubo																													
		Zanja estándar, Bd/D = 1,8												Zanja ancha, Bd/D = 3,0												≤ Suelo natural					
Relleno		SC1			SC2			SC3			SC4			SC1			SC2			SC3			SC4								
Profundidad instalación (m)	SN	2500	5000	10000	2500	5000	10000	2500	5000	10000	2500	5000	10000	2500	5000	10000	2500	5000	10000	2500	5000	10000	2500	5000	10000		2500	5000	10000		
	1.0		D	D	D	85	85	85	85	85	85							D	D	D	85	85	85	85	85	85					
1.5		D	D	D	85	85	85	85	85	85							D	D	D	85	85	85	85	85	85						
2.0		D	D	D	85	85	85	85	85	85							D	D	D	85	85	85	85	85	85						
3.0		D	D	D	85	85	85	85	85	85							D	D	D	85	85	85	85	85	85						
5.0		D	D	D	85	85	85	85	85	85							D	D	D	85	85	85	85	85	85						
8.0		D	D	D	85	85	85	85	85	85							D	D	D	90	90	90	90	90	90						
12.0		D	D	D	90	90	85	90	90	85							D	D	D	90	90	90	95	95	95						
20.0		D	D	D	90	90	90	95	95	95							D	D	D	90	90	90									
30.0		C	C	C	95	95	95										C	C	C	95	95	95									
1.0		D	D	D	85	85	85	85	85	85							D	D	D	85	85	85	85	85	85						
1.5		D	D	D	85	85	85	85	85	85							D	D	D	85	85	85	85	85	85						
2.0		D	D	D	85	85	85	85	85	85							D	D	D	85	85	85	85	85	85						
3.0		D	D	D	85	85	85	85	85	85							D	D	D	85	85	85	85	85	85						
5.0		D	D	D	85	85	85	85	85	85							D	D	D	85	85	85	85	85	85						
8.0		D	D	D	85	85	85	85	85	85							D	D	D	90	90	90	95	90	90						
12.0		D	D	D	90	90	90	95	95	90							D	D	D	90	90	90	95	95	95						
20.0		C	D	D	95	90	90			95							C	C	C	95	95	95									
30.0		C	C	C	100	100	100										C	C	C	95	95	95									
1.0		D	D	D	85	85	85	85	85	85							D	D	D	85	85	85	85	85	85						
1.5		D	D	D	85	85	85	85	85	85							D	D	D	85	85	85	85	85	85						
2.0		D	D	D	85	85	85	85	85	85							D	D	D	85	85	85	85	85	85						
3.0		D	D	D	85	85	85	85	85	85							D	D	D	85	85	85	85	85	85						
5.0		D	D	D	85	85	85	85	85	85							D	D	D	85	85	85	85	85	85						
8.0		D	D	D	90	90	85	90	90	85							D	D	D	90	90	90	95	95	95						
12.0		D	D	D	90	90	90	95	95	95							D	D	D	90	90	90	95	95	95						
20.0		C	C	C	100	100	100										C	C	C	95	95	95									
30.0		C	C	C	100	100	100										C	C	C	100	95	95									
1.0		D	D	D	85	85	85	85	85	85							D	D	D	85	85	85	85	85	85						
1.5		D	D	D	85	85	85	85	85	85							D	D	D	85	85	85	85	85	85						
2.0		D	D	D	85	85	85	85	85	85							D	D	D	85	85	85	85	85	85						
3.0		D	D	D	85	85	85	85	85	85							D	D	D	85	85	85	85	85	85						
5.0		D	D	D	90	85	85	90	85	85							D	D	D	90	85	85	90	85	85						
8.0		C	D	D	95	90	90	95	95	95							D	D	D	90	90	90	95	95	95						
12.0		C	C	C	100	100	95										D	D	D	90	90	90	95	95	95						
20.0																	C	C	C	95	95	95									
30.0																	C	C	C	100	100	100									
1.0		D	D	D	90	85	85	95	90	85							D	D	D	85	85	85	90	90	85						
1.5		D	D	D	85	85	85	85	85	85							D	D	D	85	85	85	85	85	85						
2.0		D	D	D	85	85	85	90	85	85							D	D	D	85	85	85	85	85	85						
3.0		D	D	D	90	90	85	95	95	85							D	D	D	85	85	85	85	85	85						
5.0		C	C	D	95	95	90			95							D	D	D	90	90	90	95	90	90						
8.0		C	C	C	100	100	100										D	D	D	90	90	90	95	95	95						
12.0																	C	C	C	95	95	95									
20.0																	C	C	C	95	95	95									
30.0																	C	C	C	100	100	100									
1.0		C	D	D	95	90	90			95							D	D	D	85	85	85	90	90	85						
1.5		D	D	D	90	90	85	95	95	90							D	D	D	85	85	85	85	85	85						
2.0		C	D	D	95	90	90			95	90						D	D	D	85	85	85	85	85	85						
3.0		C	C	D	95	95	90			95							D	D	D	90	85	85	90	90	85						
5.0			C			100											D	D	D	90	90	90	95	95	95						
8.0																	C	C	D	95	95	90		95	95						
12.0																	C	C	C	95	95	95									
20.0																	C	C	C	100	100	100									
30.0																	C	C		100	100										

Tabla B.5 Instalación de tipo 1, DN ≥ 300, carga de tráfico - nivel freático por debajo del tubo
 Compactación de relleno mínima, % PN (D = tirado, C = compactado)

01
02
03
04
05
06
07
08
09
10
ap.

Tipo 1 DN ≥ 300		Sin carga de tráfico – vacío interior de 1,0 bar – nivel freático por debajo del tubo																							
		Zanja estándar, Bd/D = 1,8												Zanja ancha, Bd/D = 3,0											
Relleno		SC1			SC2			SC3			SC4			SC1			SC2			SC3			SC4		
Profundidad instalación (m)	SN	2500	5000	10000	2500	5000	10000	2500	5000	10000	2500	5000	10000	2500	5000	10000	2500	5000	10000	2500	5000	10000	2500	5000	10000
		<= Suelo natural																							
1.0		D	D	D	85	85	85	85	85	85	90	90	90	D	D	D	85	85	85	85	85	85	95	90	90
1.5		D	D	D	85	85	85	85	85	85	90	90	90	D	D	D	85	85	85	85	85	85	95	90	90
2.0		D	D	D	85	85	85	85	85	85	90	90	90	D	D	D	85	85	85	85	85	85	95	90	90
3.0		D	D	D	85	85	85	85	85	85	95	90	90	D	D	D	85	85	85	85	85	85	95	95	90
5.0		D	D	D	85	85	85	85	85	85	95	90	90	D	D	D	90	85	85	90	85	85	95	95	90
8.0		D	D	D	90	85	85	90	85	85	95	95	95	D	D	D	90	90	90	95	90	90		95	95
12.0		D	D	D	90	90	85	95	90	85			95	D	D	D	90	90	90	95	95	95			
20.0		C	D	D	95	90	90			95				C	D	D	95	90	90			95			
30.0		C	C	C	100	95	95							C	C	C	100	95	95						
1.0		D	D	D	85	85	85	85	85	85	90	90	90	D	D	D	85	85	85	85	85	85	95	90	90
1.5		D	D	D	85	85	85	85	85	85	90	90	90	D	D	D	85	85	85	85	85	85	95	90	90
2.0		D	D	D	85	85	85	85	85	85	90	90	90	D	D	D	85	85	85	85	85	85	95	90	90
3.0		D	D	D	85	85	85	85	85	85	95	90	90	D	D	D	85	85	85	85	85	85	95	95	90
5.0		D	D	D	85	85	85	85	85	85	95	90	90	D	D	D	90	85	85	90	85	85		95	90
8.0		D	D	D	90	85	85	90	85	85		95	95	D	D	D	90	90	90	95	90	90			95
12.0		D	D	D	90	90	90	95	95	90				D	D	D	90	90	90	95	95	95			
20.0		C	D	D	95	90	90			95				C	C	C	95	95	95						
30.0			C	C		100	100							C	C	C	100	95	95						
1.0		D	D	D	85	85	85	85	85	85	90	90	90	D	D	D	85	85	85	85	85	85	95	90	90
1.5		D	D	D	85	85	85	85	85	85	90	90	90	D	D	D	85	85	85	85	85	85	95	90	90
2.0		D	D	D	85	85	85	85	85	85	90	90	90	D	D	D	85	85	85	85	85	85	95	90	90
3.0		D	D	D	85	85	85	85	85	85	95	90	90	D	D	D	90	85	85	90	85	85		95	90
5.0		D	D	D	90	85	85	90	85	85	95	95	90	D	D	D	90	85	85	95	85	85			95
8.0		D	D	D	90	90	85	95	90	85		95	95	D	D	D	90	90	90	95	85	85			95
12.0		C	D	D	95	90	90			95	95			C	D	D	95	90	90		95	95			
20.0			C	C		100	100							C	C	C	95	95	95						
30.0														C	C	C	100	100	95						
1.0		D	D	D	85	85	85	85	85	85	95	90	90	D	D	D	85	85	85	90	85	85	95	90	90
1.5		D	D	D	85	85	85	85	85	85	95	90	90	D	D	D	85	85	85	85	85	85	95	95	90
2.0		D	D	D	85	85	85	85	85	85	95	90	90	D	D	D	90	85	85	90	85	85	95	95	90
3.0		D	D	D	90	85	85	90	85	85	95	90	90	D	D	D	90	85	85	90	85	85	95	95	90
5.0		D	D	D	90	90	85	95	90	85		95	90	D	D	D	90	90	85	95	90	85		95	95
8.0		C	D	D	95	90	90			95	95			D	D	D	90	90	90	95	95	95			95
12.0			C	C		100	95							C	D	D	95	90	90		95	95			
20.0														C	C	C	100	95	95						
30.0															C	C		100	100						
1.0		D	D	D	90	90	85	95	90	85			90	D	D	D	90	85	85	90	85	85	95	95	90
1.5		C	D	D	95	90	85	95	95	85			95	D	D	D	90	85	85	90	85	85		95	90
2.0		C	D	D	95	90	85			95	85		95	D	D	D	90	85	85	90	85	85		95	90
3.0		C	D	D	95	90	90			95	90			D	D	D	90	90	85	95	90	85		95	95
5.0		C	C	D	100	95	90			95				D	D	D	90	90	85	95	95	85			95
8.0			C	C		100	100							C	D	D	95	90	90		95	95			
12.0														C	C	C	95	95	95						
20.0														C	C	C	100	95	95						
30.0															C	C		100	100						
1.0			C	D		95	90			95				D	D	D	90	90	85	95	90	85		95	95
1.5			C	D		95	90			95				D	D	D	90	90	85	95	90	85		95	95
2.0			C	C		95	95			95				D	D	D	90	90	85	95	90	85		95	95
3.0			C	C		100	95							D	D	D	90	90	85	95	95	85			95
5.0				C			100							C	D	D	95	90	90	95	95	95			
8.0														C	D	D	95	90	90		95	95			
12.0														C	C	C	100	95	95						
20.0														C	C	C	100	100	100						
30.0															C				100						

Tabla B.6 Instalación de tipo 1, DN ≥ 300mm, vacío 1,0 bar, nivel freático por debajo del tubo
Compactación de relleno mínima, % PN (D = tirado, C = compactado)

Tipo 1 DN ≥ 300		Sin carga de tráfico – sin vacío interior – nivel freático a nivel del suelo																																
Relleno	SN	Zanja estándar, Bd/D = 1,8												Zanja ancha, Bd/D = 3,0												<= Suelo natural								
		SC1			SC2			SC3			SC4			SC1			SC2			SC3			SC4											
Profundidad instalación (m)		2500	5000	10000	2500	5000	10000	2500	5000	10000	2500	5000	10000	2500	5000	10000	2500	5000	10000	2500	5000	10000	2500	5000	10000	2500	5000	10000						
1.0		D	D	D	85	85	85	85	85	85	95	95	95	D	D	D	85	85	85	85	85	85	95	95	95	D	D	D	85	85	85	95	95	95
1.5		D	D	D	85	85	85	85	85	85	95	95	95	D	D	D	85	85	85	85	85	85	95	95	95	D	D	D	85	85	85	95	95	95
2.0		D	D	D	85	85	85	85	85	85	95	95	95	D	D	D	85	85	85	85	85	85	95	95	95	D	D	D	85	85	85	95	95	95
3.0		D	D	D	85	85	85	85	85	85			95	95	D	D	D	85	85	85	85	85	85			D	D	D	85	85	85			95
5.0		D	D	D	85	85	85	85	85	85					D	D	D	90	90	85	95	95	85			D	D	D	90	90	85			95
8.0		D	D	D	90	90	90	95	95	95					D	D	D	90	90	90	95	95	95			D	D	D	90	90	90			95
12.0		C	D	D	90	90	90	95	95	95					D	D	D	90	90	90						C	D	D	90	90	90			
20		C	D	D	95	90	90								C	C	C	95	95	95						C	C	C	95	95	95			
30.0		C	C	C	100	95	95								C	C	C	100	95	95						C	C	C	100	95	95			
1.0		D	D	D	85	85	85	85	85	85	95	95	95	D	D	D	85	85	85	85	85	85	95	95	95	D	D	D	85	85	85	95	95	95
1.5		D	D	D	85	85	85	85	85	85	95	95	95	D	D	D	85	85	85	85	85	85	95	95	95	D	D	D	85	85	85	95	95	95
2.0		D	D	D	85	85	85	85	85	85	95	95	95	D	D	D	85	85	85	85	85	85	95	95	95	D	D	D	85	85	85	95	95	95
3.0		D	D	D	85	85	85	85	85	85			95	95	D	D	D	85	85	85	85	85	85			D	D	D	85	85	85			95
5.0		D	D	D	85	85	85	85	85	85					D	D	D	90	90	85	95	95	85			D	D	D	90	90	85			95
8.0		D	D	D	90	90	90	95	95	95					D	D	D	90	90	90	95	95	95			D	D	D	90	90	90			95
12.0		D	D	D	90	90	90	95	95	95					D	D	D	90	90	90						C	D	D	95	90	90			
20.0		C	C	C	95	95	95								C	C	C	95	95	95						C	C	C	95	95	95			
30.0		C	C	C	100	100									C	C	C	100	95	95						C	C	C	100	100	100			
1.0		D	D	D	85	85	85	85	85	85	95	95	95	D	D	D	85	85	85	85	85	85	95	95	95	D	D	D	85	85	85	95	95	95
1.5		D	D	D	85	85	85	85	85	85	95	95	95	D	D	D	85	85	85	85	85	85	95	95	95	D	D	D	85	85	85	95	95	95
2.0		D	D	D	85	85	85	85	85	85	95	95	95	D	D	D	85	85	85	85	85	85	95	95	95	D	D	D	85	85	85	95	95	95
3.0		D	D	D	85	85	85	85	85	85			95	95	D	D	D	85	85	85	85	85	85			D	D	D	85	85	85			95
5.0		D	D	D	85	85	85	85	85	85					D	D	D	90	90	85	95	95	85			D	D	D	90	90	90			95
8.0		D	D	D	90	90	90	95	95	95					D	D	D	90	90	90						D	D	D	90	90	90			95
12.0		D	D	D	95	90	90								D	D	D	95	90	90						C	D	D	95	95	95			
20.0		C	C	C	100	100									C	C	C	100	95	95						C	C	C	100	95	95			
30.0		C	C	C	100	100									C	C	C	100	100	100						C	C	C	100	100	100			
1.0		D	D	D	85	85	85	85	85	85	95	95	95	D	D	D	85	85	85	85	85	85	95	95	95	D	D	D	85	85	85	95	95	95
1.5		D	D	D	85	85	85	85	85	85	95	95	95	D	D	D	85	85	85	85	85	85	95	95	95	D	D	D	85	85	85	95	95	95
2.0		D	D	D	85	85	85	85	85	85			95	95	D	D	D	85	85	85	85	85	85			D	D	D	85	85	85			95
3.0		D	D	D	90	90	85	95	95	85					D	D	D	85	85	85	85	85	85			D	D	D	85	85	85			95
5.0		C	C	D	95	95	95								D	D	D	90	90	90	95	95	95			D	D	D	90	90	90			95
8.0				C			100								D	D	D	95	90	90						D	D	D	95	90	90			
12.0															C	C	C	95	95	95						C	C	C	95	95	95			
20.0															C	C	C	100	100	100						C	C	C	100	100	100			
30.0															C	C	C	100	100	100						C	C	C	100	100	100			
1.0		D	D	D	85	85	85	90	85	85			95	95	D	D	D	85	85	85	85	85	85			D	D	D	85	85	85	95	95	95
1.5		D	D	D	90	85	85	95	85	85					D	D	D	85	85	85	85	85	85			D	D	D	85	85	85			95
2.0		D	D	D	90	90	85		95	85					D	D	D	85	85	85	85	85	85			D	D	D	85	85	85			95
3.0		C	C	D	95	95	90								D	D	D	90	90	85	95	95	85			D	D	D	90	90	85			95
5.0				C			100								D	D	D	90	90	90						D	D	D	90	90	90			95
8.0															C	C	D	95	95	95						C	C	D	95	95	95			
12.0															C	C	C	95	95	95						C	C	C	95	95	95			
20.0															C	C	C	100	100	100						C	C	C	100	100	100			
30.0															C	C	C	100	100	100						C	C	C	100	100	100			

Tabla B.7 Instalación de tipo 1, DN ≥ 300mm, nivel freático a nivel del suelo
Compactación de relleno mínima, % PN (D = tirado, C = compactado)

01
02
03
04
05
06
07
08
09
10
ap.

Tipo 1 DN ≥ 300		Carga de tráfico AASHTO HS 20 – sin vacío interior – nivel freático a nivel del suelo																										
		Zanja estándar, Bd/D = 1,8												Zanja ancha, Bd/D = 3,0												<= Suelo natural		
Relleno		SC1			SC2			SC3			SC4			SC1			SC2			SC3			SC4					
Profundidad instalación (m)	SN	2500	5000	10000	2500	5000	10000	2500	5000	10000	2500	5000	10000	2500	5000	10000	2500	5000	10000	2500	5000	10000	2500	5000	10000		2500	5000
	1,0		D	D	D	85	85	85	90	85	85							D	D	D	85	85	85	90	90	85		
1,5		D	D	D	85	85	85	85	85	85							D	D	D	85	85	85	85	85	85			
2,0		D	D	D	85	85	85	85	85	85							D	D	D	85	85	85	85	85	85			
3,0		D	D	D	85	85	85	85	85	85							D	D	D	85	85	85	85	85	85			
5,0		D	D	D	85	85	85	85	85	85							D	D	D	90	90	85	95	95	85			
8,0		D	D	D	90	90	90	95	95	95							D	D	D	90	90	90	95	95	95			
12,0		D	D	D	90	90	90	95	95	95							D	D	D	90	90	90						
20,0		C	D	D	95	90	90										C	C	C	95	95	95						
30,0		C	C	C	100	95	95										C	C	C	100	95	95						
1,0		D	D	D	85	85	85	90	85	85							D	D	D	85	85	85	90	90	85			
1,5		D	D	D	85	85	85	85	85	85							D	D	D	85	85	85	85	85	85			
2,0		D	D	D	85	85	85	85	85	85							D	D	D	85	85	85	85	85	85			
3,0		D	D	D	85	85	85	85	85	85							D	D	D	85	85	85	85	85	85			
5,0		D	D	D	85	85	85	85	85	85							D	D	D	90	90	85	95	95	85			
8,0		D	D	D	90	90	90	95	95	95							D	D	D	90	90	90	95	95	95			
12,0		D	D	D	90	90	90	95	95	95							D	D	D	90	90	90						
20,0		C	C	C	95	95	95										C	C	C	95	95	95						
30,0		C	C	C	100	100											C	C	C	100	95	95						
1,0		D	D	D	85	85	85	90	85	85							D	D	D	85	85	85	90	90	85			
1,5		D	D	D	85	85	85	85	85	85							D	D	D	85	85	85	85	85	85			
2,0		D	D	D	85	85	85	85	85	85							D	D	D	85	85	85	85	85	85			
3,0		D	D	D	85	85	85	85	85	85							D	D	D	85	85	85	85	85	85			
5,0		D	D	D	85	85	85	85	85	85							D	D	D	90	90	85	95	95	85			
8,0		D	D	D	90	90	90	95	95	95							D	D	D	90	90	90	95	95	95			
12,0		D	D	D	95	95	90										D	D	D	95	90	90						
20,0		C	C	C	100	100											C	C	C	95	95	95						
30,0		C	C	C	100	100											C	C	C	100	100	100						
1,0		D	D	D	90	85	85	95	90								D	D	D	85	85	85	95	90	90			
1,5		D	D	D	90	85	85	95	85	85							D	D	D	85	85	85	85	85	85			
2,0		D	D	D	90	85	85	95	85	85							D	D	D	85	85	85	85	85	85			
3,0		D	D	D	90	90	85	95	85								D	D	D	90	85	85	95	85	85			
5,0		C	C	D	95	95	95										D	D	D	90	90	90	95	95	95			
8,0		C	C	C	100												D	D	D	95	90	90						
12,0		C	C	C	100	100											C	C	C	95	95	95						
20,0		C	C	C	100	100											C	C	C	100	100	100						
30,0		C	C	C	100	100											C	C	C	100	100	100						
1,0		C	D	D	95	95	90										D	D	D	90	90	85	95	95	90			
1,5		C	D	D	95	90	90	95									D	D	D	90	85	85	95	85	85			
2,0		C	D	D	95	95	90	95									D	D	D	90	85	85	95	95	85			
3,0		C	C	D	95	95	95										D	D	D	90	90	85	95	95	85			
5,0		C	C	C	100												D	D	D	90	90	90			95			
8,0		C	C	C	100												C	C	D	95	95	95						
12,0		C	C	C	100	100											C	C	C	95	95	95						
20,0		C	C	C	100	100											C	C	C	100	100	100						
30,0		C	C	C	100	100											C	C	C	100	100	100						

Tabla B.8 Instalación de tipo 1, DN ≥ 300mm, carga de tráfico - nivel freático a nivel del suelo
Compactación de relleno mínima, % PN (D = tirado, C = compactado)

Tipo 1 DN ≥ 300		Sin carga de tráfico – vacío interior de 1,0 bar – nivel freático a nivel del suelo																										
		Zanja estándar, Bd/D = 1,8												Zanja ancha, Bd/D = 3,0												≤ Suelo natural		
Relleno		SC1			SC2			SC3			SC4			SC1			SC2			SC3			SC4					
Profundidad instalación (m)	SN	2500	5000	10000	2500	5000	10000	2500	5000	10000	2500	5000	10000	2500	5000	10000	2500	5000	10000	2500	5000	10000	2500	5000	10000		2500	5000
		1,0		D	D	D	85	85	85	90	85	85			95	D	D	D	90	85	85	95	90	85				
1,5		D	D	D	85	85	85	85	85	85			95	D	D	D	90	85	85	95	85	85						
2,0		D	D	D	85	85	85	85	85	85			95	D	D	D	90	85	85	95	85	85						
3,0		D	D	D	90	85	85	95	85	85				D	D	D	90	90	85	95	95	85						
5,0		D	D	D	90	85	85	95	85	85				D	D	D	90	90	85	95	95	85						
8,0		D	D	D	90	90	90	95	95	95				D	D	D	90	90	90		95	95						
12,0		D	D	D	90	90	90		95	95				C	D	D	95	90	90									
20,0		C	C	D	100	95	90							C	C	C	100	95	95									
30,0		C	C		100	95								C	C	C	100	100	95									
1,0		D	D	D	85	85	85	90	85	85			95	D	D	D	90	85	85	95	90	85						
1,5		D	D	D	85	85	85	85	85	85			95	D	D	D	90	85	85	95	85	85						
2,0		D	D	D	85	85	85	85	85	85			95	D	D	D	90	85	85	95	85	85						
3,0		D	D	D	90	85	85	95	85	85				D	D	D	90	90	85	95	95	85						
5,0		D	D	D	90	85	85	95	85	85				D	D	D	90	90	85	95	95	85						
8,0		D	D	D	90	90	90		95	95				D	D	D	95	90	90			95						
12,0		C	D	D	95	90	90			95				C	D	D	95	95	90									
20,0			C	C		95	95							C	C	C	100	95	95									
30,0				C		100									C	C		100	95									
1,0		D	D	D	85	85	85	90	85	85			95	D	D	D	90	85	85	95	90	85						
1,5		D	D	D	85	85	85	85	85	85			95	D	D	D	90	85	85	95	85	85						
2,0		D	D	D	85	85	85	85	85	85			95	D	D	D	90	85	85	95	85	85						
3,0		D	D	D	90	85	85	95	85	85				D	D	D	90	90	85	95	95	85						
5,0		D	D	D	90	85	85	95	85	85				D	D	D	90	90	85		95	95						
8,0		D	D	D	95	90	90		95	95				D	D	D	95	90	90			95						
12,0		C	C	D	100	95	90							C	D	D	95	95	90									
20,0			C	C		100								C	C	C	100	95	95									
30,0				C		100									C	C		100	100									
1,0		D	D	D	85	85	85	95	90	85			95	D	D	D	90	85	85	95	90	90						
1,5		D	D	D	90	85	85	95	85	85			95	D	D	D	90	85	85	95	85	85						
2,0		D	D	D	90	85	85	95	85	85			95	D	D	D	90	90	85	95	95	85						
3,0		D	D	D	90	90	85	95	95	85				D	D	D	90	90	85	95	95	85						
5,0		C	D	D	95	90	90		95	95				D	D	D	90	90	90		95	95						
8,0			C	D		95	90							C	D	D	95	90	90			95						
12,0			C	C		100	100							C	C	D	95	95	95									
20,0				C										C	C	C	100	100	95									
30,0															C	C		100	100									
1,0		C	D	D	95	90	85		95	90				D	D	D	90	90	85	95	95	90						
1,5		C	D	D	95	90	90			95				D	D	D	90	90	85	95	95	85						
2,0		C	D	D	95	90	90			95				D	D	D	90	90	85	95	95	85						
3,0		C	C	D	100	95	90							D	D	D	90	90	90		95	95						
5,0			C	C		100	95							D	D	D	95	90	90			95						
8,0				C			100							C	D	D	95	95	90									
12,0														C	C	C	100	95	95									
20,0															C	C		100	100									
30,0																C			100									
1,0			C	D		95	95							D	D	D	90	90	85		95	95						
1,5			C	C		100	95							D	D	D	90	90	90		95	95						
2,0			C	C		100	95							D	D	D	90	90	90		95	95						
3,0				C			95							D	D	D	95	90	90			95						
5,0														C	D	D	95	90	90									
8,0														C	C	D	100	95	95									
12,0														C	C	C	100	100	95									
20,0																C			100									
30,0																	C		100									

Tabla B.9 Instalación de tipo 1, DN ≥ 300mm, vacío de 1,0 bar - nivel freático a nivel del suelo
Compactación de relleno mínima, % PN (D = tirado, C = compactado)

01
02
03
04
05
06
07
08
09
10
ap.

Tipo 1 DN ≤ 250	Sin carga de tráfico								Carga de tráfico AASHTO HS 20								Sin carga de tráfico																
	Sin vacío interior								Sin vacío interior								Vacío interior de 1,0 bar																
	Nivel freático por debajo del tubo								Nivel freático por debajo del tubo								Nivel freático por debajo del tubo																
Zanja	Bd/D = 1,8				Bd/D = 3,0				Bd/D = 1,8				Bd/D = 3,0				Bd/D = 1,8				Bd/D = 3,0				<= Suelo natural								
Relleno	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4		1	2	3	4				
Profundidad instalación (m)	10000				10000				10000				10000				10000				10000												
1,0	D	85	85	90	D	85	85	90	D	85	85		D	85	85		D	85	85	90	D	85	85	90	D	85	85	90	D	85	85	90	Grupo 1
1,5	D	85	85	90	D	85	85	90	D	85	85		D	85	85		D	85	85	90	D	85	85	90	D	85	85	90	D	85	85	90	
2,0	D	85	85	90	D	85	85	90	D	85	85		D	85	85		D	85	85	90	D	85	85	90	D	85	85	90	D	85	85	90	
3,0	D	85	85	90	D	85	85	90	D	85	85		D	85	85		D	85	85	90	D	85	85	90	D	85	85	90	D	85	85	90	
5,0	D	85	85	90	D	85	85	95	D	85	85		D	85	85		D	85	85	90	D	85	85	90	D	85	85	95	D	85	85	95	
8,0	D	85	85	95	D	90	95		D	85	85		D	90	95		D	85	85	95	D	90	95		D	90	95		D	90	95		
12,0	D	90	95		D	90	95		D	90	95		D	90	95		D	90	95		D	90	95		D	90	95		D	90	95		
20,0	D	90	95		C	95			D	90	95		C	95			D	90	95		D	90	95		C	95			D	90	95		
30,0	C	95			C	95			C	95			C	95			C	95			C	95			C	95			C	95			
1,0	D	85	85	90	D	85	85	90	D	85	85		D	85	85		D	85	85	90	D	85	85	90	D	85	85	90	D	85	85	90	
1,5	D	85	85	90	D	85	85	90	D	85	85		D	85	85		D	85	85	90	D	85	85	90	D	85	85	90	D	85	85	90	
2,0	D	85	85	90	D	85	85	90	D	85	85		D	85	85		D	85	85	90	D	85	85	90	D	85	85	90	D	85	85	90	
3,0	D	85	85	90	D	85	85	90	D	85	85		D	85	85		D	85	85	90	D	85	85	90	D	85	85	90	D	85	85	90	
5,0	D	85	85	90	D	85	85	95	D	85	85		D	85	85		D	85	85	90	D	85	85	90	D	85	85	95	D	85	85	95	
8,0	D	85	85	95	D	90	95		D	85	85		D	90	95		D	85	85	95	D	90	95		D	90	95		D	90	95		
12,0	D	90	95		D	90	95		D	90	95		D	90	95		D	90	95		D	90	95		D	90	95		D	90	95		
20,0	C	95			C	95			C	95			C	95			C	95			C	95			C	95			C	95			
30,0	C	95			C	100			C	95			C	100			C	95			C	95			C	95			C	100			
1,0	D	85	85	90	D	85	85	90	D	85	85		D	85	85		D	85	85	90	D	85	85	90	D	85	85	90	D	85	85	90	Grupo 3
1,5	D	85	85	90	D	85	85	90	D	85	85		D	85	85		D	85	85	90	D	85	85	90	D	85	85	90	D	85	85	90	
2,0	D	85	85	90	D	85	85	90	D	85	85		D	85	85		D	85	85	90	D	85	85	90	D	85	85	90	D	85	85	90	
3,0	D	85	85	90	D	85	85	90	D	85	85		D	85	85		D	85	85	90	D	85	85	90	D	85	85	90	D	85	85	90	
5,0	D	85	85	90	D	85	85	95	D	85	85		D	85	85		D	85	85	90	D	85	85	90	D	85	85	95	D	85	85	95	
8,0	D	90	95		D	90	95		D	90	95		D	90	95		D	90	95		D	90	95		D	90	95		D	90	95		
12,0	C	95			D	90	95		C	95			D	90	95		C	95			D	90	95		C	95			D	90	95		
20,0	C	100			C	95			C	100			C	95			C	95			C	95			C	95			C	95			
30,0	C	100			C	100			C	100			C	100			C	95			C	100			C	95			C	100			
1,0	D	85	85	90	D	85	85	90	D	85	85		D	85	85		D	85	85	90	D	85	85	90	D	85	85	90	D	85	85	90	
1,5	D	85	85	90	D	85	85	90	D	85	85		D	85	85		D	85	85	90	D	85	85	90	D	85	85	90	D	85	85	90	
2,0	D	85	85	90	D	85	85	90	D	85	85		D	85	85		D	85	85	90	D	85	85	90	D	85	85	90	D	85	85	90	
3,0	D	85	85	90	D	85	85	90	D	85	85		D	85	85		D	85	85	90	D	85	85	90	D	85	85	90	D	85	85	90	
5,0	D	90	90	95	D	90	90	95	D	90	90		D	90	90		D	90	90	95	D	90	90	95	D	90	90	95	D	90	90	95	
8,0	C	95			D	90	95		C	95			D	90	95		C	95			D	90	95		C	95			D	90	95		
12,0	C	100			C	95			C	100			C	95			C	100			C	95			C	95			C	95			
20,0	C	100			C	95			C	100			C	95			C	95			C	95			C	95			C	95			
30,0	C	100			C	100			C	100			C	100			C	95			C	100			C	95			C	100			
1,0	D	85	85	90	D	85	85	90	D	85	90		D	85	85		D	85	85	90	D	85	85	90	D	85	85	90	D	85	85	90	Grupo 5
1,5	D	85	85	90	D	85	85	90	D	85	85		D	85	85		D	85	85	95	D	85	85	95	D	85	85	90	D	85	85	90	
2,0	D	85	85	90	D	85	85	90	D	85	85		D	85	85		D	85	85	95	D	85	85	95	D	85	85	90	D	85	85	90	
3,0	D	90	90	95	D	85	85	90	D	90	95		D	85	85		D	90	90		D	85	85	95	D	85	85	95	D	85	85	95	
5,0	C	95			D	90	95		C	95			D	90	95		C	95			D	90	95		C	95			D	90	95		
8,0	C	95			D	90	95		C	95			D	90	95		C	95			D	90	95		C	95			D	90	95		
12,0	C	95			C	95			C	95			C	95			C	95			C	95			C	95			C	95			
20,0	C	95			C	100			C	95			C	100			C	95			C	100			C	95			C	100			
30,0	C	95			C	100			C	95			C	100			C	95			C	100			C	95			C	100			
1,0	D	85	85	90	D	85	85	90	D	90			D	85	90		D	90	95		D	85	85	95	D	85	85	95	D	85	85	95	
1,5	D	85	85	90	D	85	85	90	D	90	95		D	85	85		D	90	95		D	85	85	95	D	85	85	95	D	85	85	95	
2,0	D	85	85	95	D	85	85	90	D	90	95		D	85	85		D	90	95		C	95	95		D	85	85	95	D	85	85	95	
3,0	C	95			D	85	85	95	C	95			D	90	90		C	95			C	95			D	85	85	95	D	85	85	95	
5,0	C	95			D	90	95		C	95			D	90	95		C	95			C	95			D	90	95		D	90	95		
8,0	C	95			C	95			C	95			C	95			C	95			C	95			C	95			C	95			
12,0	C	95			C	95			C	95			C	95			C	95			C	95			C	95			C	95			
20,0	C	95			C	100			C	95			C	95			C	95			C	95			C	95			C	95			
30,0	C	95			C	100			C	95			C	100			C	95			C	95			C	95			C	100			

Tabla B.10 Instalación de tipo 1, DN ≤ 250mm, nivel freático por debajo del tubo
Compactación de relleno mínima, % PN (D = tirado, C = compactado)

Tipo 1 DN ≤ 250	Sin carga de tráfico Sin vacío interior Nivel freático a nivel del suelo								Carga de tráfico AASHTO HS 20 Sin vacío interior Nivel freático a nivel del suelo								Sin carga de tráfico Vacío interior de 1,0 bar Nivel freático a nivel del suelo								<= Suelo natural								
	Bd/D = 1,8				Bd/D = 3,0				Bd/D = 1,8				Bd/D = 3,0				Bd/D = 1,8				Bd/D = 3,0												
	Zanja		Relleno		Zanja		Relleno		Zanja		Relleno		Zanja		Relleno		Zanja		Relleno		Zanja		Relleno										
Profun- didad insta- lación (m)	1		2		3		4		1		2		3		4		1		2		3		4		1		2		3		4		SN
	10000		10000		10000		10000		10000		10000		10000		10000		10000		10000		10000		10000		10000		10000		10000				
1,0	D	85	85	95	D	85	85	95	D	85	85		D	85	90	D	85	85	95	D	85	85									Grupo 1		
1,5	D	85	85	95	D	85	85	95	D	85	85		D	85	85	D	85	85	95	D	85	85											
2,0	D	85	85	95	D	85	85	95	D	85	85		D	85	85	D	85	85	95	D	85	85											
3,0	D	85	85	95	D	85	85		D	85	85		D	85	85	D	85	85		D	85	85											
5,0	D	85	85		D	90	95		D	85	85		D	90	95	D	85	85		D	85	85											
8,0	D	90	95		D	90	95		D	90	95		D	90	95	D	90	95		D	90	95											
12,0	D	90			D	90			D	90			D	90		D	90			D	90												
20,0	C	95			C	95			C	95			C	95		C	95			C	95												
30,0	C	100			C	100			C	100			C	100		C	100			C	100												
1,0	D	85	85	95	D	85	85	95	D	85	85		D	85	90	D	85	85	95	D	85	85										Grupo 2	
1,5	D	85	85	95	D	85	85	95	D	85	85		D	85	85	D	85	85	95	D	85	85											
2,0	D	85	85	95	D	85	85	95	D	85	85		D	85	85	D	85	85	95	D	85	85											
3,0	D	85	85	95	D	85	85		D	85	85		D	85	85	D	85	85		D	85	85											
5,0	D	85	85		D	90	95		D	85	85		D	90	95	D	85	85		D	85	85											
8,0	D	90	95		D	90			D	90	95		D	90		D	90	95		D	90	95											
12,0	D	90			D	95			D	90			D	95		D	90			D	90												
20,0	C	95			C	95			C	95			C	95		C	95			C	95												
30,0					C	100							C	100						C	100												
1,0	D	85	85	95	D	85	85	95	D	85	85		D	85	90	D	85	85	95	D	85	85									Grupo 3		
1,5	D	85	85	95	D	85	85	95	D	85	85		D	85	85	D	85	85	95	D	85	85											
2,0	D	85	85	95	D	85	85	95	D	85	85		D	85	85	D	85	85	95	D	85	85											
3,0	D	85	85	95	D	85	85		D	85	85		D	85	85	D	85	85		D	85	85											
5,0	D	85	85		D	90	95		D	85	85		D	90	95	D	85	85		D	85	85											
8,0	D	90			D	90			D	90			D	90		D	90	95		D	90												
12,0	C	95			C	95			C	95			C	95		C	95			C	95												
20,0					C	95							C	95						C	95												
30,0					C	100							C	100						C	100												
1,0	D	85	85	95	D	85	85	95	D	85	85		D	85	90	D	85	85	95	D	85	85										Grupo 4	
1,5	D	85	85	95	D	85	85	95	D	85	85		D	85	85	D	85	85	95	D	85	85											
2,0	D	85	85	95	D	85	85	95	D	85	85		D	85	85	D	85	85	95	D	85	85											
3,0	D	85	85	95	D	85	85		D	85	85		D	85	85	D	85	85		D	85	85											
5,0	D	90	95		D	90	95		D	90	95		D	90	95	D	90	95		D	90	95											
8,0	C	95			D	90			C	95			D	90		C	95			C	95												
12,0					C	95							C	95						C	95												
20,0					C	100							C	100						C	100												
30,0					C	100							C	100						C	100												
1,0	D	85	85	95	D	85	85	95	D	85	95		D	85	90	D	85	90		D	85	90									Grupo 5		
1,5	D	85	85	95	D	85	85	95	D	85	85		D	85	85	D	85	85		D	90	95											
2,0	D	85	85	95	D	85	85	95	D	85	85		D	85	85	D	85	85		D	90	95											
3,0	D	90	95		D	85	85		D	90			D	90	95	D	90	95		D	90												
5,0	C	95			D	90	95		C	95			D	90	95	C	95			C	95												
8,0					C	95							C	95						C	95												
12,0					C	95							C	95						C	95												
20,0					C	100							C	100						C	100												
30,0					C	100							C	100						C	100												
1,0	D	85	85	95	D	85	85	95	D	95			D	85	95	D	95			D	85	95										Grupo 6	
1,5	D	85	85	95	D	85	85	95	D	90			D	85	85	C	95			D	90	95											
2,0	D	90	95		D	85	85		D	90			D	85	85	C	95			D	90	95											
3,0	C	95			D	90	95		C	95			D	90	95	C	95			C	95												
5,0					D	90							D	90						D	90												
8,0					C	95							C	95						C	95												
12,0					C	100							C	100						C	100												
20,0																																	
30,0																																	

Tabla B.11 Instalación de tipo 1, DN ≤ 250mm, nivel freático a nivel del suelo
Compactación de relleno mínima, % PN (D = tirado, C = compactado)

01
02
03
04
05
06
07
08
09
10
ap.

Tipo 2		Sin carga de tráfico – sin vacío interior – Nivel freático por debajo del tubo																							
DN ≥ 300		Zanja estándar, Bd/D = 1,8												Zanja ancha, Bd/D = 3,0											
Relleno superior		SC3 85% SPD						SC4 90% SPD						SC3 85% SPD						SC4 90% SPD					
Relleno		SC1			SC2			SC1			SC2			SC1			SC2			SC1			SC2		
Profundidad instalación (m)	SN	2500	5000	10000	2500	5000	10000	2500	5000	10000	2500	5000	10000	2500	5000	10000	2500	5000	10000	2500	5000	10000	2500	5000	10000
		1,0	D	D	D	85	85	85	D	D	D	85	85	85	D	D	D	85	85	85	D	D	D	85	85
1,5	D	D	D	85	85	85	D	D	D	85	85	85	D	D	D	85	85	85	D	D	D	85	85	85	
2,0	D	D	D	85	85	85	D	D	D	85	85	85	D	D	D	85	85	85	D	D	D	85	85	85	
3,0	D	D	D	85	85	85	D	D	D	85	85	85	D	D	D	85	85	85	D	D	D	85	85	85	
5,0	D	D	D	85	85	85	D	D	D	85	85	85	D	D	D	85	85	85	D	D	D	85	85	85	
8,0	D	D	D	85	85	85	D	D	D	85	85	85	D	D	D	85	85	85	D	D	D	90	90	90	
12,0	D	D	D	90	90	85			D			90		D	D			90	90						
20,0		D	D		90	90									C			95							
1,0	D	D	D	85	85	85	D	D	D	85	85	85	D	D	D	85	85	85	D	D	D	85	85	85	
1,5	D	D	D	85	85	85	D	D	D	85	85	85	D	D	D	85	85	85	D	D	D	85	85	85	
2,0	D	D	D	85	85	85	D	D	D	85	85	85	D	D	D	85	85	85	D	D	D	85	85	85	
3,0	D	D	D	85	85	85	D	D	D	85	85	85	D	D	D	85	85	85	D	D	D	85	85	85	
5,0	D	D	D	85	85	85	D	D	D	85	85	85	D	D	D	85	85	85	D	D	D	85	85	85	
8,0	D	D	D	85	85	85	D	D	D	85	85	85	D	D	D	90	90	90	D	D	D		90	90	
12,0	D	D	D	90	90	90			D			90		D	D			90	90						
20,0			C			95																			
1,0	D	D	D	85	85	85	D	D	D	85	85	85	D	D	D	85	85	85	D	D	D	85	85	85	
1,5	D	D	D	85	85	85	D	D	D	85	85	85	D	D	D	85	85	85	D	D	D	85	85	85	
2,0	D	D	D	85	85	85	D	D	D	85	85	85	D	D	D	85	85	85	D	D	D	85	85	85	
3,0	D	D	D	85	85	85	D	D	D	85	85	85	D	D	D	85	85	85	D	D	D	85	85	85	
5,0	D	D	D	85	85	85	D	D	D	85	85	85	D	D	D	85	85	85	D	D	D	85	85	85	
8,0	D	D	D	90	90	85	D	D	D	90	90	90	D	D	D	90	90	90	D	D	D	90	90	90	
12,0		D	D		90	90			D			90		D	D			90	90						
20,0			C			100									C			95							
1,0	D	D	D	85	85	85	D	D	D	85	85	85	D	D	D	85	85	85	D	D	D	85	85	85	
1,5	D	D	D	85	85	85	D	D	D	85	85	85	D	D	D	85	85	85	D	D	D	85	85	85	
2,0	D	D	D	85	85	85	D	D	D	85	85	85	D	D	D	85	85	85	D	D	D	85	85	85	
3,0	D	D	D	90	90	85	D	D	D	90	90	85	D	D	D	85	85	85	D	D	D	85	85	85	
5,0	C	C	C	100	95	95		C	C		95	95	D	D	D	90	90	85	D	D	D	90	90	90	
8,0														D	D			90	90		D			90	
12,0															C			95							
20,0																									
1,0	D	D	D	85	85	85	D	D	D	85	85	85	D	D	D	85	85	85	D	D	D	85	85	85	
1,5	D	D	D	90	85	85	D	D	D	90	85	85	D	D	D	85	85	85	D	D	D	85	85	85	
2,0	D	D	D	90	90	85	D	D	D	90	90	85	D	D	D	85	85	85	D	D	D	85	85	85	
3,0	C	C	D	100	95	90		C	D		95	90	D	D	D	90	85	85	D	D	D	90	85	85	
5,0													D	D	D	90	90	90	D	D			90	90	
8,0															C			95							
12,0																									
20,0																									

Tabla B.12 Instalación de tipo 2, DN ≥ 300mm, sin vacío, nivel freático por debajo del tubo
Compactación de relleno mínima, % PN (D = tirado, C = compactado)

Tipo 2 DN ≥ 300		Sin carga de tráfico – vacío interior de 0,5 bar – nivel freático por debajo del tubo																								
		Zanja estándar, Bd/D = 1,8												Zanja ancha, Bd/D = 3,0												Suelo natural <=
Relleno superior		SC3 85% SPD						SC4 90% SPD						SC3 85% SPD						SC4 90% SPD						
Relleno		SC1			SC2			SC1			SC2			SC1			SC2			SC1			SC2			
Profundidad instalación (m)		2500	5000	10000	2500	5000	10000	2500	5000	10000	2500	5000	10000	2500	5000	10000	2500	5000	10000	2500	5000	10000	2500	5000	10000	
Grupo 1	1,0	D	D	D	85	85	85	D	D	D	85	85	85	D	D	D	85	85	85	D	D	D	85	85	85	
	1,5	D	D	D	85	85	85	D	D	D	85	85	85	D	D	D	85	85	85	D	D	D	85	85	85	
	2,0	D	D	D	85	85	85	D	D	D	85	85	85	D	D	D	85	85	85	D	D	D	85	85	85	
	3,0	D	D	D	85	85	85	D	D	D	85	85	85	D	D	D	85	85	85	D	D	D	85	85	85	
	5,0	D	D	D	85	85	85	D	D	D	85	85	85	D	D	D	85	85	85	D	D	D	85	85	85	
	8,0	D	D	D	85	85	85	D	D	D	85	85	85	D	D	D	85	85	85	D	D	D	85	85	85	
	12,0	D	D	D	85	85	85	D	D	D	85	85	85	D	D	D	85	85	85	D	D	D	85	85	85	
Grupo 2	20,0	D	D	D	85	85	85	D	D	D	85	85	85	D	D	D	85	85	85	D	D	D	85	85	85	
	1,0	D	D	D	85	85	85	D	D	D	85	85	85	D	D	D	85	85	85	D	D	D	85	85	85	
	1,5	D	D	D	85	85	85	D	D	D	85	85	85	D	D	D	85	85	85	D	D	D	85	85	85	
	2,0	D	D	D	85	85	85	D	D	D	85	85	85	D	D	D	85	85	85	D	D	D	85	85	85	
	3,0	D	D	D	85	85	85	D	D	D	85	85	85	D	D	D	85	85	85	D	D	D	85	85	85	
	5,0	D	D	D	85	85	85	D	D	D	85	85	85	D	D	D	85	85	85	D	D	D	85	85	85	
	8,0	D	D	D	85	85	85	D	D	D	85	85	85	D	D	D	85	85	85	D	D	D	85	85	85	
Grupo 3	12,0	D	D	D	85	85	85	D	D	D	85	85	85	D	D	D	85	85	85	D	D	D	85	85	85	
	20,0	D	D	D	85	85	85	D	D	D	85	85	85	D	D	D	85	85	85	D	D	D	85	85	85	
	1,0	D	D	D	85	85	85	D	D	D	85	85	85	D	D	D	85	85	85	D	D	D	85	85	85	
	1,5	D	D	D	85	85	85	D	D	D	85	85	85	D	D	D	85	85	85	D	D	D	85	85	85	
	2,0	D	D	D	85	85	85	D	D	D	85	85	85	D	D	D	85	85	85	D	D	D	85	85	85	
	3,0	D	D	D	85	85	85	D	D	D	85	85	85	D	D	D	85	85	85	D	D	D	85	85	85	
	5,0	D	D	D	85	85	85	D	D	D	85	85	85	D	D	D	85	85	85	D	D	D	85	85	85	
Grupo 4	8,0	D	D	D	85	85	85	D	D	D	85	85	85	D	D	D	85	85	85	D	D	D	85	85	85	
	12,0	D	D	D	85	85	85	D	D	D	85	85	85	D	D	D	85	85	85	D	D	D	85	85	85	
	20,0	D	D	D	85	85	85	D	D	D	85	85	85	D	D	D	85	85	85	D	D	D	85	85	85	
	1,0	D	D	D	85	85	85	D	D	D	85	85	85	D	D	D	85	85	85	D	D	D	85	85	85	
	1,5	D	D	D	85	85	85	D	D	D	85	85	85	D	D	D	85	85	85	D	D	D	85	85	85	
	2,0	D	D	D	85	85	85	D	D	D	85	85	85	D	D	D	85	85	85	D	D	D	85	85	85	
	3,0	D	D	D	85	85	85	D	D	D	85	85	85	D	D	D	85	85	85	D	D	D	85	85	85	
Grupo 5	5,0	D	D	D	85	85	85	D	D	D	85	85	85	D	D	D	85	85	85	D	D	D	85	85	85	
	8,0	D	D	D	85	85	85	D	D	D	85	85	85	D	D	D	85	85	85	D	D	D	85	85	85	
	12,0	D	D	D	85	85	85	D	D	D	85	85	85	D	D	D	85	85	85	D	D	D	85	85	85	
	20,0	D	D	D	85	85	85	D	D	D	85	85	85	D	D	D	85	85	85	D	D	D	85	85	85	
	1,0	D	D	D	85	85	85	D	D	D	85	85	85	D	D	D	85	85	85	D	D	D	85	85	85	
	1,5	D	D	D	85	85	85	D	D	D	85	85	85	D	D	D	85	85	85	D	D	D	85	85	85	
	2,0	D	D	D	85	85	85	D	D	D	85	85	85	D	D	D	85	85	85	D	D	D	85	85	85	
Grupo 6	3,0	D	D	D	85	85	85	D	D	D	85	85	85	D	D	D	85	85	85	D	D	D	85	85	85	
	5,0	D	D	D	85	85	85	D	D	D	85	85	85	D	D	D	85	85	85	D	D	D	85	85	85	
	8,0	D	D	D	85	85	85	D	D	D	85	85	85	D	D	D	85	85	85	D	D	D	85	85	85	
	12,0	D	D	D	85	85	85	D	D	D	85	85	85	D	D	D	85	85	85	D	D	D	85	85	85	
	20,0	D	D	D	85	85	85	D	D	D	85	85	85	D	D	D	85	85	85	D	D	D	85	85	85	
	1,0	D	D	D	85	85	85	D	D	D	85	85	85	D	D	D	85	85	85	D	D	D	85	85	85	
	1,5	D	D	D	85	85	85	D	D	D	85	85	85	D	D	D	85	85	85	D	D	D	85	85	85	

Tabla B.13 Instalación de tipo 2, DN ≥ 300mm, vacío de 0,5 bar, nivel freático por debajo del tubo
Compactación de relleno mínima, % PN (D = tirado, C = compactado)

Tipo 2 DN ≥ 300		Sin carga de tráfico – vacío interior de 1,0 bar – nivel freático por debajo del tubo																							
		Zanja estándar, Bd/D = 1,8												Zanja ancha, Bd/D = 3,0											
Relleno superior		SC3 85% SPD						SC4 90% SPD						SC3 85% SPD						SC4 90% SPD					
Relleno		SC1			SC2			SC1			SC2			SC1			SC2			SC1			SC2		
Profundidad instalación (m)	SN	2500	5000	10000	2500	5000	10000	2500	5000	10000	2500	5000	10000	2500	5000	10000	2500	5000	10000	2500	5000	10000	2500	5000	10000
	1,0		D	D	D	85	85	85	D	D	D	85	85	85	D	D	D	85	85	85	D	D	D	85	85
1,5		D	D	D	85	85	85	D	D	D	85	85	85	D	D	D	85	85	85	D	D	D	85	85	85
2,0		D	D	D	85	85	85	D	D	D	85	85	85	D	D	D	85	85	85	D	D	D	85	85	85
3,0		D	D	D	85	85	85		D	D		85	85	D	D	D	85	85	85		D				85
5,0		D	D	D	85	85	85		D	D		85	85		D	D		85	85		D				85
8,0			D	D		85	85			D			85			D			90						
12,0			D	D		90	85																		
20,0				D			90																		
1,0		D	D	D	85	85	85	D	D	D	85	85	85	D	D	D	85	85	85	D	D	D	85	85	85
1,5		D	D	D	85	85	85	D	D	D	85	85	85	D	D	D	85	85	85	D	D	D	85	85	85
2,0		D	D	D	85	85	85	D	D	D	85	85	85	D	D	D	85	85	85	D	D	D	85	85	85
3,0		D	D	D	85	85	85		D	D		85	85	D	D	D	85	85	85		D				85
5,0		D	D	D	85	85	85		D	D		85	85		D	D		85	85		D				85
8,0			D	D		85	85			D			85			D			90						
12,0				D			90																		
20,0																									
1,0		D	D	D	85	85	85	D	D	D	85	85	85	D	D	D	85	85	85	D	D	D	85	85	85
1,5		D	D	D	85	85	85	D	D	D	85	85	85	D	D	D	85	85	85	D	D	D	85	85	85
2,0		D	D	D	85	85	85	D	D	D	85	85	85	D	D	D	85	85	85	D	D	D	85	85	85
3,0		D	D	D	85	85	85		D	D		85	85	D	D	D	85	85	85		D				85
5,0		D	D	D	85	85	85		D	D		85	85		D	D		85	85		D				85
8,0			D	D		90	85			D			90			D			90						
12,0				D			90																		
20,0																									
1,0		D	D	D	85	85	85		D	D		85	85	D	D	D	85	85	85	D	D	D	85	85	85
1,5		D	D	D	85	85	85		D	D		85	85	D	D	D	85	85	85	D	D	D	85	85	85
2,0		D	D	D	85	85	85		D	D		85	85	D	D	D	85	85	85	D	D	D	85	85	85
3,0			D	D		85	85		D	D		85	85		D	D		85	85		D				85
5,0				D			85			D			85			D			85						85
8,0					D		90						90						90						
12,0																									
20,0																									
1,0				D			85			D			85			D	D		85	85		D			85
1,5					D		85						85			D	D		85	85		D			85
2,0						D	85						85			D	D		85	85		D			85
3,0																	D		85						85
5,0																		D		85					85
8,0																									85
12,0																									
20,0																									
1,0																									
1,5																									
2,0																									
3,0																									
5,0																									
8,0																									
12,0																									
20,0																									

Tabla B.14 Instalación de tipo 2, DN ≥ 300mm, vacío de 1,0 bar, nivel freático por debajo del tubo
Compactación de relleno mínima, % PN (D = tirado, C = compactado)

01
02
03
04
05
06
07
08
09
10
ap.

Tipo 2		Sin carga de tráfico – vacío interior de 0,5 bar – nivel freático a nivel del suelo																							
DN ≥ 300		Standardgrøft, Bd/D = 1,8												Bred grøft, Bd/D = 3,0											
Relleno superior		SC3 85% SPD						SC4 95% SPD						SC3 85% SPD						SC4 95% SPD					
Relleno		SC1			SC2			SC1			SC2			SC1			SC2			SC1			SC2		
Profundidad instalación (m)	SN	2500	5000	10000	2500	5000	10000	2500	5000	10000	2500	5000	10000	2500	5000	10000	2500	5000	10000	2500	5000	10000	2500	5000	10000
		1,0		D	D	D	85	85	85	D	D	D	85	85	85	D	D	D	85	85	85	D	D	D	85
1,5		D	D	D	85	85	85	D	D	D	85	85	85	D	D	D	85	85	85	D	D	D	85	85	85
2,0		D	D	D	85	85	85	D	D	D	85	85	85	D	D	D	85	85	85	D	D	D	85	85	85
3,0		D	D	D	85	85	85		D	D		85	85	D	D	D	85	85	85		D				85
5,0		D	D	D	85	85	85			D			85	D	D		90	85							
8,0				D			90																		
12,0																									
20,0																									
1,0		D	D	D	85	85	85	D	D	D	85	85	85	D	D	D	85	85	85	D	D	D	85	85	85
1,5		D	D	D	85	85	85	D	D	D	85	85	85	D	D	D	85	85	85	D	D	D	85	85	85
2,0		D	D	D	85	85	85	D	D	D	85	85	85	D	D	D	85	85	85	D	D	D	85	85	85
3,0		D	D	D	85	85	85		D	D		85	85	D	D	D	85	85	85		D				85
5,0		D	D	D	85	85	85			D			85	D	D		90	85							
8,0				D			90																		
12,0																									
20,0																									
1,0		D	D	D	85	85	85	D	D	D	85	85	85	D	D	D	85	85	85	D	D	D	85	85	85
1,5		D	D	D	85	85	85	D	D	D	85	85	85	D	D	D	85	85	85	D	D	D	85	85	85
2,0		D	D	D	85	85	85	D	D	D	85	85	85	D	D	D	85	85	85	D	D	D	85	85	85
3,0		D	D	D	85	85	85		D	D		85	85	D	D	D	85	85	85		D				85
5,0			D	D		85	85			D			85	D	D		90	85							
8,0				D			90																		
12,0																									
20,0																									
1,0		D	D	D	85	85	85	D	D	D	85	85	85	D	D	D	85	85	85	D	D	D	85	85	85
1,5		D	D	D	85	85	85	D	D	D	85	85	85	D	D	D	85	85	85	D	D	D	85	85	85
2,0		D	D	D	85	85	85	D	D	D	85	85	85	D	D	D	85	85	85	D	D	D	85	85	85
3,0		D	D	D	85	85	85		D	D		85	85	D	D	D	85	85	85		D				85
5,0			D	D		90	85								D			90							
8,0																									
12,0																									
20,0																									
1,0			D	D		85	85		D	D		85	85		D	D		85	85		D	D		85	85
1,5			D	D		85	85			D			85		D	D	D	85	85	85		D			85
2,0			D	D		85	85			D			85		D	D	D	85	85	85		D			85
3,0				D			85								D	D		85	85						
5,0																D			90						
8,0																	D								
12,0																									
20,0																									
1,0																D			85		D				85
1,5																D	D		85	85		D			85
2,0																D	D		85	85					85
3,0																	D			85					85
5,0																									
8,0																									
12,0																									
20,0																									

Tabla B.16 Instalación de tipo 2, DN ≥ 300mm, con vacío de 0,5 bar, nivel freático a nivel del suelo
Compactación de relleno mínima, % PN (D = tirado, C = compactado)

Tipo 2 DN ≥ 300		Sin carga de tráfico – vacío interior de 1,0 bar – nivel freático a nivel del suelo																								
		Zanja estándar, Bd/D = 1,8												Zanja ancha, Bd/D = 3,0									≤ Suelo natural			
Relleno superior		SC3 85% PD						SC4 95% PD						SC3 85% PD						SC4 95% PD						
Relleno		SC1			SC2			SC1			SC2			SC1			SC2			SC1				SC2		
Profundidad instalación (m)	SN	2500	5000	10000	2500	5000	10000	2500	5000	10000	2500	5000	10000	2500	5000	10000	2500	5000	10000	2500	5000	10000		2500	5000	10000
		1,0		D	D		85	85			D		85				D		85				D		85	
1,5		D	D	D	85	85	85			D		85			D	D		85	85			D	D		85	85
2,0		D	D	D	85	85	85			D		85			D	D		85	85			D	D		85	85
3,0			D	D		85	85									D			85							
5,0			D	D		85	85									D			85							
8,0				D			90																			
12,0																										
20,0																										
Grupo 1																										
1,0			D	D		85	85			D		85				D		85								
1,5		D	D	D	85	85	85			D		85			D	D		85	85							
2,0		D	D	D	85	85	85			D		85			D	D		85	85							
3,0			D	D		85	85									D			85							
5,0				D		85	85									D			85							
8,0					D		90																			
12,0																										
20,0																										
Grupo 2																										
1,0			D	D		85	85			D		85				D		85								
1,5		D	D	D	85	85	85			D		85			D	D		85	85							
2,0		D	D	D	85	85	85			D		85			D	D		85	85							
3,0			D	D		85	85									D			85							
5,0				D			85												85							
8,0					D		85																			
12,0																										
20,0																										
Grupo 3																										
1,0				D		85				D		85				D		85								
1,5		D	D	D	85	85	85			D		85			D	D		85	85							
2,0		D	D	D	85	85	85			D		85			D	D		85	85							
3,0			D	D		85	85									D			85							
5,0					D		85												85							
8,0																										
12,0																										
20,0																										
Grupo 4																										
1,0				D		85				D		85				D		85								
1,5			D	D		85	85			D		85			D	D		85	85							
2,0			D	D		85	85			D		85				D		85								
3,0				D			85									D			85							
5,0																										
8,0																										
12,0																										
20,0																										
Grupo 5																										
1,0																										
1,5																D		85								
2,0															D		85									
3,0																										
5,0																										
8,0																										
12,0																										
20,0																										
Grupo 6																										
1,0																										
1,5																										
2,0																										
3,0																										
5,0																										
8,0																										
12,0																										
20,0																										

Tabla B.17 Instalación de tipo 2, DN ≥ 300mm, con vacío de 1,0 bar, nivel freático a nivel del suelo
Compactación de relleno mínima, % PN (D = tirado, C = compactado)

Apéndice C

Clasificación y características de los suelos naturales

A los efectos del análisis de los requisitos de una instalación, los suelos naturales se dividen en seis grupos en función de la densidad o rigidez del suelo. Esta se determina en función del recuento de golpes por pie, según el ensayo de penetración estándar de la norma ASTM D1586. Los suelos naturales, que forman las paredes de las zanjas, pueden variar desde suelos muy estables, suelos granulares densos y suelos cohesivos muy duros hasta suelos orgánicos relativamente pobres con partículas finas. Estos suelos naturales pueden ser considerados para utilizarlos como material de relleno.

- 1 Golpes por pie conforme al ensayo de penetración estándar de la norma ASTM D1586.
- 2 Para recuentos superiores, los valores de M_{sn} aumentan hasta 345 MPa para la roca.
- 3 El uso de geotextiles en el área de la tubería incrementa los valores de M_{sn} de los suelos pobres.
- 4 Si se utiliza un tabliestacado permanente en el área del tubo con vida útil igual a la de la línea, el módulo del suelo se debe basar únicamente en el módulo del relleno.

Correlación con otros métodos de ensayo

Existen distintos canos para ensayos de penetración alrededor del mundo. Dada la variación que existe entre ellas, se puede obtener una correlación aproximada al recuento de golpes del penetrómetro estándar, N , basándose en la norma ASTM D1586. Dado un resultado de prueba de penetración, q_u , expresado en Kg/cm^2 , el recuento de golpes del penetrómetro estándar, N , es:

$N = qu/4$ para penetrómetros mecánicos

$N = qu/3$ para penetrómetros eléctricos

La **Tabla C.1** presenta una clasificación de suelos naturales siguiendo las recomendaciones de la normativa AWWA M45. El recuento del número de golpes debe mostrar la condición más adversa que se pueda encontrar durante un periodo de tiempo representativo (el menor valor encontrado durante un periodo de tiempo prolongado). Por lo general, la condición más adversa tiene lugar cuando el suelo ha estado expuesto a condiciones húmedas durante un periodo prolongado.

Apéndice D

Clasificación y características de los suelos de relleno

La consecución de un buen sistema tubería-suelo depende del uso de un material de relleno que brinde un buen apoyo a la tubería tanto en el momento de la instalación como a largo plazo. La serie de suelos que se pueden utilizar como material de relleno es ilimitada. El material de relleno puede ser el propio suelo que se ha excavado para crear la zanja o un material importado (cuando los suelos naturales que provienen de la zanja no son adecuados). La elección práctica del material de relleno depende del esfuerzo de compactación necesario para lograr la densidad requerida y la disponibilidad de materiales.

Los suelos que se pueden utilizar como material de relleno se dividen en cuatro categorías de rigidez.

Categoría de rigidez de suelos 1, SC1

Los materiales de tipo SC1 son los que mayor nivel de apoyo ofrecen a una tubería a un nivel de compactación dado debido a su bajo contenido de arena y partículas finas. Con un nivel de esfuerzo mínimo, estos suelos se colocan y llevan a niveles relativamente altos de rigidez con un amplio rango de contenidos de humedad. Adicionalmente, la alta permeabilidad de los materiales de tipo SC1 puede ayudar a controlar el contenido de agua en una zanja, por lo que suelen ser usados para la formación de lechos en zanjas de piedra en las que a menudo se encuentra agua. No obstante, si se prevé un flujo de aguas subterráneas, se debe considerar la posibilidad de una migración de finos de los materiales adyacentes hacia el material SC1, vea la sección A.8. 

Grupo de suelo natural	Suelos granulares		Suelos cohesivos		Módulo M_{sn}
	Número de golpes ¹	Descripción	q_u kPa	Descripción	
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 de la norma ASTM D1586

Tabla C.1 Grupos de rigidez de los suelos naturales. Valores del módulo del suelo M_{sn}

Categoría de rigidez de suelos 2, SC2

Los materiales de tipo SC2 ofrecen un nivel relativamente alto de apoyo a la tubería cuando han sido compactados. No obstante, estos grupos con agregados de tamaño uniforme pueden ser susceptibles a la migración, por lo que se debe verificar su compatibilidad con los materiales colindantes, vea la sección A.8 [→](#).

Categoría de rigidez de suelos 3, SC3

Los materiales de tipo SC3 proporcionan un nivel de apoyo menor a una densidad específica que los materiales de tipo SC1 o SC2. Requieren un mayor nivel de esfuerzo de compactación y un nivel de humedad casi óptimo para lograr el nivel de densidad necesario. No obstante, una vez que se ha logrado el nivel de densidad requerido, estos materiales ofrecen un nivel de apoyo razonable a la tubería.

Categoría de rigidez de suelos 4, SC4

Los materiales de tipo SC4 requieren ser sometidos a una evaluación geotécnica antes de ser utilizados. El nivel de humedad debe ser casi óptimo para lograr el nivel de densidad necesario. Cuando son colocados y compactados adecuadamente, los materiales SC4 pueden proporcionar un nivel de apoyo razonable a la tubería. Estos materiales, no obstante, no son adecuados para instalaciones profundas con cargas de tráfico o para compactaciones con compactadores vibratorios y apisonadoras de alto esfuerzo. Los materiales de tipo SC4 no se deben usar en zanjas en las que cimientan anegados de agua impidan una colocación y compactación adecuadas.

La **Tabla D.1** proporciona una serie de pautas generales para clasificar los materiales de relleno en distintas categorías de rigidez.

Para cualquier categoría de rigidez, una mayor compactación redonda en un mayor módulo del suelo y apoyo. Adicionalmente, el módulo del suelo también aumenta con el nivel de carga vertical del suelo, es decir, con la profundidad de instalación. Las **Tablas D.2 a Tabla D.5** proporcionan los valores M_{sb} (módulo de resistencia pasiva del material de relleno) para las categorías de rigidez SC1, SC2, SC3 y SC4 en función del % de densidad próctor normal (PN) y el nivel de carga vertical. Los valores son aplicables a tubos instalados por encima del nivel freático. Para los tubos instalados por debajo del nivel freático, el módulo del suelo se reducirá para los suelos con menor nivel de rigidez y menor compactación, vea los valores entre paréntesis. El nivel de carga vertical se refiere a la carga vertical efectiva del suelo sobre la clave del tubo. Por lo general se calcula como el peso unitario del suelo multiplicado por la profundidad del relleno. El peso unitario sumergido se debe utilizar cuando la tubería esté por debajo del nivel de la capa freática.

A menudo se utiliza el método alemán de cálculo estático para tuberías enterradas ATV 127A. A continuación figura la correlación entre las categorías de rigidez de los suelos de relleno indicadas en esta guía de instalación y los grupos de suelo G1 a G4 de la ATV 127A:

SC1 corresponde a los mejores suelos G1. SC2 corresponde a los suelos G1 y los mejores suelos G2. SC3 corresponde a los suelos G2 más débiles y los mejores suelos G3. SC4 corresponde a los suelos G3 más débiles y los mejores suelos G4.

Categoría de rigidez del suelo de relleno	Descripción del suelo de relleno
SC1	Roca triturada con menos de 15% arena, máximo 25% menor de 9,5mm y máximo 5% de finos ²
SC2	Suelos de partículas gruesas limpios: SW, SP ¹ , 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 más 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 menos 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 (0,15mm), 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 de 200 con apertura de malla de 0,076mm.

Tabla D.1 Clasificación de materiales de relleno

Profundidad de instalación (densidad del suelo 18,8 kN/m ³)	Nivel de carga vertical	Compactación, % máximo del PN	
		Compactado	Tirado
m	kPa	MPa	MPa
0,4	6,9	16,2	13,8
1,8	34,5	23,8	17,9
3,7	69,0	29,0	20,7
7,3	138,0	37,9	23,8
14,6	276,0	51,7	29,3
22,0	414,0	64,1	34,5

Tabla D.2 M_{sb} de los suelos de relleno SC1

Profundidad de instalación (densidad del suelo 18,8 kN/m ³)	Nivel de carga vertical	Compactación, % máximo del PN			
		100	95	90	85
m	kPa	MPa	MPa	MPa	MPa
0,4	6,9	16,2	13,8	8,8 (7,5)	3,2 (2,4)
1,8	34,5	23,8	17,9	10,3 (8,8)	3,6 (2,7)
3,7	69,0	29,0	20,7	11,2 (9,5)	3,9 (2,9)
7,3	138,0	37,9	23,8	12,4 (10,5)	4,5 (3,4)
14,6	276,0	51,7	29,3	14,5 (12,3)	5,7 (4,3)
22,0	414,0	64,1	34,5	17,2 (14,6)	6,9 (5,2)

Tabla D.3 M_{sb} de los suelos de relleno SC2 (valores reducidos aplicables por debajo del nivel freático entre paréntesis)

Profundidad de instalación (densidad del suelo 18,8 kN/m ³)	Nivel de carga vertical	Compactación, % máximo del PN			
		100	95	90	85
m	kPa	MPa	MPa	MPa	MPa
0,4	6,9	-	9,8 (4,9)	4,6 (2,3)	2,5 (1,3)
1,8	34,5	-	11,5 (5,8)	5,1 (2,6)	2,7 (1,4)
3,7	69,0	-	12,2 (6,1)	5,2 (2,6)	2,8 (1,4)
7,3	138,0	-	13,0 (6,5)	5,4 (2,7)	3,0 (1,5)
14,6	276,0	-	14,4 (7,2)	6,2 (3,1)	3,5 (1,8)
22,0	414,0	-	15,9 (8,0)	7,1 (3,6)	4,1 (2,1)

Tabla D.4 M_{sb} de los suelos de relleno SC3 (valores reducidos aplicables por debajo del nivel freático entre paréntesis)

Profundidad de instalación (densidad del suelo 18,8 kN/m ³)	Nivel de carga vertical	Compactación, % máximo del PN			
		100	95	90	85
m	kPa	MPa	MPa	MPa	MPa
0,4	6,9	-	3,7 (1,11)	1,8 (0,54)	0,9 (0,27)
1,8	34,5	-	4,3 (1,29)	2,2 (0,66)	1,2 (0,36)
3,7	69,0	-	4,8 (1,44)	2,5 (0,75)	1,4 (0,42)
7,3	138,0	-	5,1 (1,53)	2,7 (0,81)	1,6 (0,48)
14,6	276,0	-	5,6 (1,68)	3,2 (0,96)	2,0 (0,60)
22,0	414,0	-	6,2 (1,86)	3,6 (1,08)	2,4 (0,72)

Tabla D.5 M_{sb} de los suelos de relleno SC4 (valores reducidos aplicables por debajo del nivel freático entre paréntesis)

! Nota: Los valores de M_{sb} en los niveles intermedios de carga vertical que no figuran en Tablas D.2 a Tabla D.5 se pueden obtener por interpolación. El % máximo de densidad próctor normal indica la densidad seca del suelo compactado como un porcentaje de la máxima densidad seca determinada con arreglo a la norma ASTM D698.

Apéndice E

Ensayos de clasificación de suelos naturales en obra

Grupo de suelo natural	Característica medible
1	Difícilmente penetrable con el pulgar
2	Penetrable con el pulgar hasta 4 mm
3	Penetrable con el pulgar hasta 10 mm
4	Penetrable con el pulgar hasta 25 mm
5	Penetrable con el pulgar hasta 50 mm
6	Penetrable con el puño hasta 25 mm

Tabla E.1 Ensayo de campo para determinar el grupo de suelo¹

1. Basado en Peck, Hanson y Thornburn, Foundation Engineering, 2ª edición, John Wiley & Sons, Inc., 1974 y ASTM D2488.

Apéndice F

Compactación del relleno

Este apéndice incluye una serie de consejos útiles sobre la compactación de los distintos tipos de suelo de relleno. Las profundidades de instalación permitidas, tanto máximas y mínimas, varían en función de la selección y compactación del material de relleno en la zona de la tubería. Cuanto más firme sea el suelo, más profunda puede ser la instalación para lograr un nivel limitado de deflexión o vacío. Este manual ofrece información general sobre el comportamiento de los suelos para facilitar la comprensión de estos criterios de instalación. Al evaluar el contenido de humedad potencial del suelo natural local y los materiales de relleno se deben tener en cuenta las variaciones estacionales. El valor de compactación recomendado para obtener un valor del módulo específico debe considerarse como el valor de compactación mínimo y las densidades obtenidas en la instalación deben ser iguales o mayores a ese requisito.

Para "calibrar" un método de instalación con un tipo de relleno específico, recomendamos que preste atención especial a las técnicas y resultados de la compactación durante la colocación de las primeras secciones de la tubería. Mediante la correlación de la compactación relativa (en función del tipo de suelo), el método de colocación del material en las áreas de enriñonado y laterales, los métodos de compactación en dichas áreas, la altura de las capas de suelo, el contenido de humedad y el número de pasadas se puede obtener una idea bastante precisa del esfuerzo que requiere la

instalación. Una vez instalados los primeros tubos, se deben conducir ensayos con cierta frecuencia para garantizar que se cumplan los criterios de compactación relativa y deflexión del tubo. Gracias a esta correlación, se puede "calibrar" una técnica para la compactación de un tipo de suelo específico y se puede reducir la frecuencia de los ensayos. Asimismo, con esta correlación, los trabajadores adquirirán un buen entendimiento de los requisitos de una instalación cuando se utiliza un tipo de relleno específico para un conjunto de requisitos específicos (ASTM D5080 ofrece un método razonable para medir la densidad y humedad de los suelos de forma rápida in situ). Existen muchos métodos para medir la densidad del relleno compactado en el lugar de la instalación.

El cálculo del incremento del diámetro vertical del tubo proporciona un indicio razonable del esfuerzo de compactación utilizado durante la instalación y es otra buena herramienta de "calibración". Si el material de relleno ha sido colocado y compactado adecuadamente en las áreas de enriñonado de la tubería, la medición del diámetro vertical una vez que el relleno ha llegado a la clave del tubo (o en cualquier etapa si se vigila consistentemente) es una buena forma de evaluar la compactación. No obstante, se debe tener presente que grandes esfuerzos de compactación pueden dar lugar a un aumento excesivo del diámetro vertical del tubo. Si esto ocurre, solicite ayuda del fabricante y no continúe instalando los tubos con el método que ha dado lugar a este aumento excesivo.

Los materiales de relleno se deben colocar y compactar en capas uniformes a ambos lados del tubo. Para la colocación y compactación del relleno en las áreas de enriñonado, se debe empezar a compactar la tierra debajo del tubo y continuar haciéndolo del tubo hacia afuera. En los laterales del tubo la compactación suele progresar mejor cuando se comienza compactando el relleno desde la pared de la zanja hacia el tubo. Por lo general cuantas más pasadas o aplicaciones repetidas del equipo de compactación se hagan (a una velocidad constante de movimiento), mayor será la compactación relativa. Una buena forma de determinar un método de compactación adecuado consiste en medir la compactación relativa y otras respuestas en función del número de pasadas de un equipo de compactación determinado. Use el número de pasadas y otros criterios, como el contenido de humedad del suelo y la deflexión vertical del tubo, como medio de control del procedimiento de instalación. Recuerde que si cambia de equipo de compactación, puede llegar a ser necesario cambiar el número de pasadas requeridas para alcanzar un grado de compactación específico. Las bandejas vibrantes más pesadas y anchas por lo general compactan más a fondo que las más ligeras y estrechas. De igual forma, los compactadores de impacto ligeros y pequeños son menos eficaces que los compactadores de mayor tamaño y peso.

Al compactar la zona por encima del tubo se debe comprobar que haya suficiente material de relleno por encima del tubo como para no dañar la tubería. Una capa de 150mm

debería bastar en los casos en que se use una bandeja vibrante; sin embargo, se recomiendan capas de 300mm cuando se utilice un compactador de impacto manual. No es realista esperar alcanzar un grado de compactación relativa superior al 85% PN al terminar de compactar la primera capa de 300mm sobre el tubo. Los materiales granulares proporcionan un alto grado de rigidez con un esfuerzo mínimo de compactación. Los suelos granulares compactos tienen poca tendencia a migrar o consolidarse con el paso del tiempo. Los suelos granulares también son menos sensibles a la humedad, tanto en el momento de su colocación como a largo plazo. Cuando se utilizan suelos de grano más fino como relleno, por lo general se reduce el apoyo dado a la tubería. Los suelos granulares con más del 12% de finos (suelos con tamaños de partículas de menos de 75 micras) se ven afectados por las características de los materiales más finos. Si los finos son limos en su mayor parte (de 37 a 75 micras), los suelos serán sensibles a la humedad, tendrán tendencia a migrar con el agua y requerirán un esfuerzo adicional de compactación. Si los finos son arcillas en su mayor parte (menos de 37 micras y cohesivos), los suelos serán más sensibles a la humedad, lo que reducirá su rigidez, y se deslizarán con el paso del tiempo. Además, por lo general requerirán un mayor esfuerzo de compactación para alcanzar la densidad especificada. La no utilización de suelos con un contenido de humedad (límite líquido) superior al 40% elimina el uso de suelos demasiado sensibles a la humedad y suelos plásticos.

Los materiales de relleno de tipo SC1 y SC2 son fáciles de utilizar y muy fiables. Estos suelos tienen una baja sensibilidad a la humedad. La compactación del relleno se puede realizar con una bandeja vibrante en capas de 200mm o 300mm. Ocasionalmente se tiene que usar una tela filtrante junto con el suelo de grava para evitar la migración de finos y así evitar la consiguiente pérdida de soporte de la tubería (vea la sección A.8 [→](#) para criterios).

Los suelos de tipo SC3 son aceptables y fácilmente utilizables como material de relleno en las instalaciones de tubería. Muchos de los suelos locales en los que se instalan estas líneas son del tipo SC3, por lo que el suelo de la zanja puede ser reutilizado como material de relleno. No obstante, al hacerlo se deben tomar ciertas precauciones, ya que estos suelos pueden ser sensibles a la humedad. Las características de los suelos de tipo SC3 a menudo vienen dictadas por las propiedades de sus finos, por lo que puede llegar a ser necesario controlar la humedad al compactar el suelo para lograr la densidad deseada. Por lo general se puede lograr el grado de compactación relativa requerido usando un compactador de impacto en capas de 100mm a 200mm.

Los suelos de tipo SC4 sólo se pueden usar como material de relleno si se toman las siguientes precauciones:

- Se debe controlar la humedad durante la colocación y la compactación del suelo.

- No se pueden usar en instalaciones que tengan cimientos inestables o agua estancada en la zanja.
- Se debe tener en cuenta que las técnicas de compactación pueden llegar a requerir un esfuerzo considerable. Asimismo, se tienen que considerar las limitaciones de la compactación relativa y la rigidez del suelo resultante.
- Se tiene que compactar en capas de 100mm o 150mm con una apisonadora de impacto (tipo Whacker) o un pisón de aire comprimido (Pogo stick).
- Se deben llevar a cabo pruebas de compactación periódicamente para comprobar que se esté alcanzando el nivel de compactación adecuado. Para mayor información, consulte el Apéndice D [→](#).

La compactación con materiales arenosos resulta mucho más fácil cuando el material está en o se encuentra próximo a su punto óptimo de humedad.

Cuando el relleno llegue a la altura media del tubo, la compactación se deberá realizar desde las proximidades de las paredes de la zanja hacia el tubo.

Se recomienda colocar y compactar la zona de relleno de forma que provoque una ligera ovalación del tubo en sentido vertical. Dicha ovalación vertical, medida una vez que el material de relleno ha alcanzado la clave del tubo, no debe ser superior al 1,5% del diámetro del tubo. La cantidad de ovalación inicial obtenida estará relacionada con el esfuerzo requerido para lograr el nivel de compactación relativa necesario. Los elevados niveles de esfuerzo que pueden llegar a ser necesarios con rellenos de tipo SC3 y SC4 pueden sobrepasar el límite. Si esto ocurre, considere utilizar un grado de rigidez superior, otros materiales de relleno o ambos.

Apéndice G

Definiciones y terminología

Término	Descripción
Diámetro nominal, DN	La clasificación del diámetro de un tubo expresada en milímetros
Presión nominal, PN	La clase de presión de un tubo expresada en bar
Rigidez nominal, SN	La rigidez inicial mínima, EI/D^3 , de un tubo medida en función de la carga necesaria para deflexionar un anillo de tubo, expresada en N/m^2
Clave del tubo	La parte superior del tubo
Profundidad de relleno	La profundidad de cobertura sobre la clave del tubo
Deflexión	El cambio en el diámetro vertical expresado en forma de porcentaje del diámetro nominal del tubo
Altura media del tubo	La altura en las posiciones de 90° y 270° de un tubo en relación con la parte superior central del tubo
Módulo del suelo confinado, M_s	Módulo secante del suelo medido en un ensayo de compresión unidimensional que se utiliza para describir la rigidez del suelo.
Densidad próctor normal, PN	La máxima densidad seca que se obtiene en condiciones de humedad óptima cuando se aplica el ensayo de la normativa ASTM D698, usado para definir el 100% de compactación próctor normal
Porcentaje de densidad próctor normal	La densidad seca alcanzada/máxima densidad seca expresada en forma porcentual
Recuento de golpes	El número de impactos de un martillo de 64 kg (140 lbs) que cae desde una altura de 76 cm (30") para clavar un sacatestigos 30 cm (12") según la normativa ASTM D1586

Apéndice H

Pesos aproximados de tubos y manguitos

DN	Gravedad				PN 6				PN 10				PN 16			
	SN 2500	SN 5000	SN 10000	Junta	SN 2500	SN 5000	SN 10000	Junta	SN 2500	SN 5000	SN 10000	Junta	SN 2500	SN 5000	SN 10000	Junta
mm	kg/m	kg/m	kg/m	kg	kg/m	kg/m	kg/m	kg	kg/m	kg/m	kg/m	kg	kg/m	kg/m	kg/m	kg
100					-	-	2,5	2,0	-	-	2,5	2,0	-	-	2,5	2,0
150					-	-	4,9	3,0	-	-	4,9	3,0	-	-	4,9	3,0
200					-	-	7,2	4,0	-	-	7,2	4,0	-	-	7,2	4,0
250					-	-	10,8	6,0	-	-	10,8	6,0	-	-	10,8	6,0
300	9,1	11,3	14,1	7,0	8,2	10,4	12,7	13,0	7,9	10,3	12,7	13,7	7,5	9,5	12,2	14,1
350	12,2	15,1	18,9	8,0	11,1	14,3	17,3	15,0	10,6	13,8	17,3	15,8	10,0	12,6	16,3	16,4
400	15,5	19,4	25,0	9,0	14,5	18,5	23,0	16,8	13,5	17,6	23,0	17,9	12,6	16,1	21,0	18,5
450	19,4	25,0	30,0	10,1	18,4	24,0	29,0	18,8	16,8	22,0	29,0	19,6	15,8	19,9	26,0	21,0
500	24,0	30,0	37,0	11,1	23,0	30,0	35,0	21,0	21,0	27,0	35,0	22,0	19,3	25,0	32,0	23,0
600	33,0	41,0	50,0	12,8	32,0	40,0	48,0	32,0	28,0	37,0	48,0	34,0	26,0	33,0	44,0	35,0
700	44,0	55,0	67,0	15,2	43,0	54,0	66,0	37,0	38,0	49,0	66,0	39,0	35,0	45,0	59,0	42,0
800	57,0	71,0	87,0	18,1	55,0	69,0	86,0	42,0	49,0	64,0	86,0	46,0	45,0	58,0	76,0	50,0
900	72,0	88,0	115,0	21,0	70,0	87,0	110	48,0	61,0	81,0	110,0	53,0	56,0	73,0	95,0	58,0
1000	88,0	110,0	140,0	24,0	86,0	110,0	135,0	54,0	75,0	100,0	135,0	60,0	69,0	89,0	120,0	66,0
1200	130,0	160,0	200,0	30,0	125,0	155,0	195,0	66,0	110,0	145,0	195,0	74,0	98,0	130,0	170,0	81,0
1400	175,0	215,0	270,0	37,0	170,0	210,0	260,0	78,0	145,0	195,0	260,0	88,0	135,0	175,0	230,0	100,0
1600	230,0	280,0	345,0	44,0	220,0	270,0	340,0	90,0	190,0	255,0	340,0	105,0	175,0	225,0	295,0	125,0
1800	290,0	355,0	440,0	51,0	275,0	345,0	425,0	105,0	240,0	320,0	425,0	120,0	220,0	285,0	375,0	,
2000	355,0	435,0	540,0	61,0	340,0	420,0	530,0	120,0	295,0	390,0	530,0	135,0	270,0	350,0	460,0	,
2200	425,0	530,0	650,0	71,0	410,0	510,0	640,0	130,0	355,0	470,0	640,0	155,0	320,0	420,0	560,0	,
2400	510,0	630,0	770,0	82,0	485,0	610,0	750,0	145,0	420,0	560,0	750,0	170,0	380,0	495,0	660,0	,
2600	600,0	740,0	910,0	110,0	570,0	710,0	890,0	280,0	490,0	660,0	890,0	325,0	445,0	580,0	770,0	,
2800	690,0	850,0	1050,0	120,0	660,0	820,0	1030,0	310,0	570,0	760,0	1030,0	355,0	520,0	680,0	900,0	,
3000	790,0	970,0	1210,0	135,0	760,0	940,0	1170,0	335,0	650,0	870,0	1170,0	385,0	580,0	770,0	1030,0	,

DN	PN 20				PN 25				PN 32			
	SN 2500	SN 5000	SN 10000	Junta	SN 2500	SN 5000	SN 10000	Junta	SN 2500	SN 5000	SN 10000	Junta
mm	kg/m	kg/m	kg/m	kg	kg/m	kg/m	kg/m	kg	kg/m	kg/m	kg/m	kg
300	7,4	9,3	11,8	16,7	-	9,2	11,5	16,7	-	-	11,3	16,7
350	9,9	12,3	15,6	19,3	-	12,2	15,4	19,3	-	-	15,0	19,3
400	12,6	15,8	21,0	19,3	-	15,5	19,6	19,9	-	-	19,0	22,0
450	15,5	19,6	26,0	22,0	-	19,1	25,0	22,0	-	-	24,0	25,0
500	18,9	24,0	31,0	23,0	-	24,0	30,0	24,0	-	-	29,0	27,0
600	26,0	32,0	42,0	36,0	-	32,0	40,0	39,0	-	-	39,0	44,0
700	34,0	43,0	56,0	45,0	-	42,0	54,0	47,0	-	-	52,0	56,0
800	44,0	56,0	72,0	53,0	-	55,0	70,0	54,0	-	-	68,0	66,0
900	55,0	70,0	91,0	60,0	-	68,0	88,0	64,0	-	-	85,0	95,0
1000	67,0	86,0	115,0	68,0	-	84,0	110,0	79,0	-	-	105,0	115,0
1200	96,0	125,0	160,0	90,0	-	120,0	155,0	110,0	-	-	150,0	135,0
1400	130,0	165,0	220,0	120,0	-	165,0	210,0	145,0	-	-	205,0	170,0

Apéndice I

Requisitos de lubricante por unión

Diámetro nominal del tubo (mm)	Cantidad nominal de lubricante (kg) por unión
100 a 250	0,050
300 a 500	0,075
600 a 800	0,10
900 a 1000	0,15
1100 a 1200	0,20
1300 a 1400	0,25
1500 a 1600	0,30
1800	0,35
2000	0,40
2200	0,45
2400	0,50
2600	0,55
2800	0,60
3000	0,65

1 Nota: La cantidad de lubricante tiene en cuenta los requisitos de lubricación de dos juntas de goma y dos extremos macho por cada unión. Las juntas ensambladas en fábrica solo requieren la mitad de las cantidades que figuran en esta tabla por cada unión.

Apéndice J

Limpieza de tuberías de saneamiento Flowtite

Existen varios métodos de limpieza de las tuberías de saneamiento por gravedad. Estos varían en función del diámetro, el grado y la naturaleza de la obstrucción. Todos utilizan energía mecánica o hidroneumática para limpiar el interior del tubo. En caso de que se recurra a medios mecánicos, se recomienda el uso de rasquetas de plástico para evitar dañar la superficie interna del tubo.

En algunos países se utilizan mangueras de agua a presión con toberas de chorro. Este procedimiento puede llegar a dañar la mayoría de los materiales si no se controla correctamente. La experiencia demuestra que para evitar dañar las tuberías de poliéster reforzado con fibra de vidrio utilizadas en las redes de saneamiento se debe seguir las siguientes recomendaciones:

Limpieza de tuberías de saneamiento de gravedad y presión (FS y FPS)

- 1 La presión máxima de entrada del agua debe ser de 120 bar*. Dada la lisura del acabado interior de las tuberías de PRFV, se suele poder eliminar cualquier obstrucción y realizar una limpieza adecuada con esta presión.
- 2 Los limpiadores deben preferiblemente incorporar varias salidas alrededor de la circunferencia de la tobera. Debe evitarse el uso de limpiadores con cadenas o alambres, así como el de toberas rotativas o agresivas.
- 3 El ángulo de salida del agua de la tobera debe ser inferior a 30°. Un ángulo inferior a 20° es normalmente suficiente para los tubos de PRFV ya que la superficie interior lisa del tubo evita la adhesión, por lo que solamente será necesaria una operación de lavado.
- 4 La tobera debe incorporar al menos entre 6 y 8 agujeros de 2,4 mm como mínimo.
- 5 La superficie exterior de la tobera debe ser lisa y su peso no debe ser superior a 4,5 kg. La longitud de tobera que corresponde a este peso es de al menos 170 mm. Para diámetros pequeños y medianos (DN 100 – 800) deben utilizarse toberas más ligeras (aproximadamente 2,5 kg)
- 6 El movimiento de avance y retroceso de la tobera debe limitarse a una velocidad de 30 m/min. No debe permitirse el movimiento incontrolado de la tobera. Cuando se inserte la tobera en el tubo debe evitarse que ésta golpee la pared del tubo.

7 Las toberas con deslizadores incrementan la distancia entre la tobera y la pared del tubo. Como consecuencia se obtiene una limpieza menos agresiva.

8 El uso de equipos o presiones que no se adapten a estos criterios puede producir daños en la tubería instalada.

El descascarillado local de la capa de abrasión no se considera que afecte a las condiciones de funcionamiento de la tubería.

Para obtener información adicional consulte con su proveedor.



Figura J-1 Tobera con salidas a chorro alrededor de su circunferencia, 4,5 kg

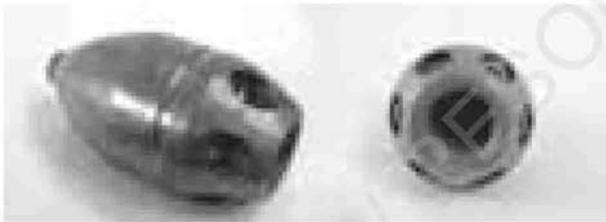


Figura J-2 Tobera con salidas a chorro alrededor de su circunferencia, 2,5 kg

*La limpieza puede realizarse únicamente con una tobera de 600 W/mm² de potencia. Basado en la experiencia, si se utiliza una tobera como la descrita en esta guía con un caudal de 300 l/min, se obtendrá una presión de 120 bar.

Limpieza de tuberías de presión (FP)

Las indicaciones que se dan a continuación son para las tuberías Flowtite cuando se utilizan en aplicaciones de saneamiento.

1 La presión máxima de entrada del agua debe ser de 80 bar. Dada la lisura del acabado interior de las tuberías de PRFV, se suele poder eliminar cualquier obstrucción y realizar una limpieza adecuada con presiones inferiores a ésta.

2 Los limpiadores deben preferiblemente incorporar varias salidas alrededor de la circunferencia de la tobera. Debe evitarse el uso de limpiadores con cadenas o alambres, así como el de toberas rotativas o agresivas.

3 El ángulo de salida del agua de la tobera debe estar entre 6° y 15° en referencia al eje del tubo.

4 La tobera debe incorporar al menos entre 6 y 8 agujeros de 2,4 mm como mínimo.

5 La superficie exterior de la tobera debe ser lisa y su peso no debe ser superior a 2,5 kg.

6 El movimiento de avance y retroceso de la tobera debe limitarse a una velocidad de 30 m/min. No debe permitirse el movimiento incontrolado de la tobera. Cuando se inserte la tobera en el tubo debe evitarse que ésta golpee la pared del tubo.

7 Las toberas con deslizadores incrementan la distancia entre la tobera y la pared del tubo. Como consecuencia se obtiene una limpieza menos agresiva (vea **Figura J-3**)

8 El uso de equipos o presiones que no se adapten a estos criterios puede producir daños en la tubería instalada.

Para obtener información adicional consulte con su proveedor.

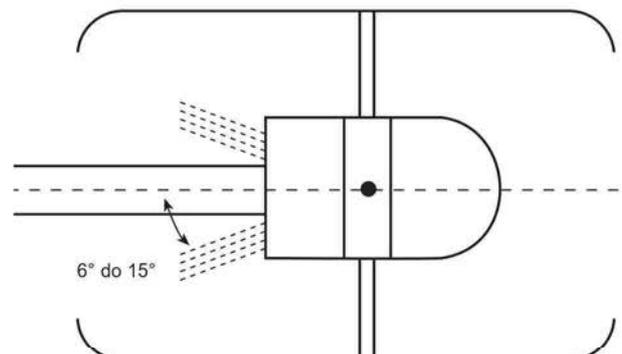


Figura J-3 Tobera con deslizadores

Esta Guía de instalación de tuberías enterradas es propiedad intelectual de FTEC. Todos los derechos reservados. Ninguna parte de esta Guía de instalación puede ser registrada o transmitida por un sistema de recuperación de información, ni ser reproducida, en todo o en parte, por ningún medio, sea electrónico o mecánico, por fotocopia, grabación o cualquier otro, sin el consentimiento previo por escrito del propietario de la propiedad intelectual.

Código de los sombreados



Lecho / cemento compactado



Lecho / cemento



Material de relleno



Material de relleno compactado



Hormigón



Madera



Piedra

Este manual ha sido concebido como una guía de orientación. Todos los valores que aparecen en las especificaciones de producto son nominales. Se pueden obtener resultados insatisfactorios en el uso de los productos debido a las fluctuaciones ambientales, las variaciones en los procedimientos de funcionamiento o la interpolación de datos. Ante todo, recomendamos 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 servicio de estos productos. Nos reservamos el derecho a revisar estos datos, en caso que sea necesario, sin notificación alguna. Agradecemos cualquier comentario sobre este manual.

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[®]
Flowtite™

Amiblu Technology AS

Østre Kullerød 3

3241 Sandefjord

Norway

T: + 47 971 00 300

info.technology@amiblu.com

www.amiblu.com

Distribuido por: