

# Novafort

Manual técnico

**Tubería de PVC estructurado  
para alcantarillado sanitario  
y drenaje pluvial**



# Índice

Pág.

## I Introducción

1.1. ¿Qué es NOVAFORT®?	3
1.2. Historia y experiencia	3
1.3. ¿Por qué elegir NOVAFORT®?	3
1.3.1 Confiabilidad	4
1.3.2 Sencillez / Conveniencia	4
1.3.3 Costos	4

## 2 Características Principales

2.1. Fabricación	5
2.2. Normas / Certificados	5
2.3. Material	5
2.4. Dimensiones	5
2.5. Sistema de unión	5
2.6. Longitud	6
2.7. Rigidez anular	6
2.8. Diseño de pared	6
2.8.1. ¿Por qué pared estructurada?	6
2.8.2. Diseño optimizado	7
2.8.2.1. Esbeltez controlada	7
2.8.2.2. Espesor de costilla optimizado	7
2.8.2.3. Espesor de valle incrementado	7
2.8.2.4. Espesor de liner optimizado	7
2.8.2.5. Superficie interna lisa	7
2.9. Comportamiento flexible	8
2.10. Resistencia estructural a largo plazo	8
2.11. Rigidez longitudinal	9
2.12. Rugosidad hidráulica	9
2.13. Resistencia química	9
2.14. Accesorios complementarios	9

## 3 Cálculo Hidráulico

3.1. Cálculo del caudal	10
3.2. Verificación al arrastre de partículas	10
3.2.1 Criterio del esfuerzo tractivo	11
3.2.2. Criterio de la velocidad de autolimpieza	11

## 4 Cálculo estructural

4.1. Diseño de zanja	12
4.1.1. Ancho de zanja	12
4.1.2. Relleno	13
4.1.3. Cama de asiento / ángulo de apoyo	13
4.1.4. Relleno inicial	13
4.1.4.1. Material ASTM Clase I	14
4.1.4.2. Material ASTM Clase II	14
4.1.4.3. Material ASTM Clase III	15
4.1.4.4. Material ASTM Clase IV	15
4.1.4.5. Material ASTM Clase V	15
4.1.4.6. Recomendaciones	15
4.1.5. Relleno final	15
4.2. Cálculo de solicitaciones actuando sobre la tubería	16
4.2.1. Carga del relleno de la zanja	16
4.2.2. Cargas de tránsito	17
4.3. Verificación estructural	18
4.3.1. Deflexión anular	18
4.3.2. Pandeo (Buckling)	21
4.3.2.1. Presión admisible	21
4.3.2.2. Presión total externa	21
4.3.2.3. Verificación al pandeo	22
4.4. Ejemplo práctico	22

## 5 Transporte, manipuleo y almacenamiento

5.1. Transporte	24
5.2. Descarga y manejo	26
5.3. Almacenamiento	26

## 6 Instalación en zanja

6.1. Comportamiento esperado	28
6.2. Excavación de la zanja	28
6.2.1 Medidas de seguridad	28
6.2.2. Profundidad de zanja	28
6.3. Control de aguas	28
6.3.1. Napas subterráneas	28
6.3.2. Aguas escurriendo	29
6.4 Fondo de zanja	29
6.5. Cama de asiento	29
6.5.1. Materiales	29
6.5.2. Colocación	29
6.6. Colocación y acople de la tubería	29
6.6.1. Colocación	29
6.6.2. Acople	30
6.6.3. Nivelación	31
6.7. Relleno inicial	31
6.7.1. Requisitos del material	32
6.7.2. Colocación del relleno	32
6.8. Relleno final	34
6.9. Consideraciones especiales	34
6.9.1. Migración de finos	34
6.9.2. Prevención del fenómeno de lavado del relleno	35
6.9.3. Prevención de la flotación de la tubería	35
6.9.4. Instalación de tuberías en paralelo	35
6.9.5. Uso de materiales cementicios o rígidos para el relleno inicial	36
6.9.6. Instalación a la intemperie	36
6.10. Conexiones	36
6.10.1. Conexiones domiciliarias a través de "sillas"	36
6.10.2. Instalación con goma nervurada	36
6.10.3. Instalación con sellador	37
6.10.4. Conexiones a cámaras y/o bocas de inspección	37
6.10.4.1. Cámaras rígidas	38
6.10.4.2. Cámaras plásticas Wavin	38

## 7 Controles

7.1. Controles permanentes durante la instalación	39
7.2. Deflexión de la tubería	39
7.3. Prueba de estanqueidad	39
7.3.1. Prueba con agua	39
7.3.2. Prueba con aire	39
7.4. Pruebas de infiltración	40

## ANEXO VI: Algunas características distintivas del PVC-U

Performance/durabilidad probados	42
Mejores propiedades mecánicas	42
Alta resistencia química	44
Menor mantenimiento	44
Intrusión de raíces	44

## ANEXO II: Tabla de resistencia química

Tabla de resistencia química	45
------------------------------	----

## 1.1. ¿Qué es NOVAFORT®?

**NOVAFORT®** es el sistema de tuberías de PVC-U de pared estructural de Wavin, para obras de infraestructura (redes y grandes colectores) de alcantarillado sanitario, drenaje pluvial y variadas aplicaciones industriales.

## 1.2. Historia y experiencia

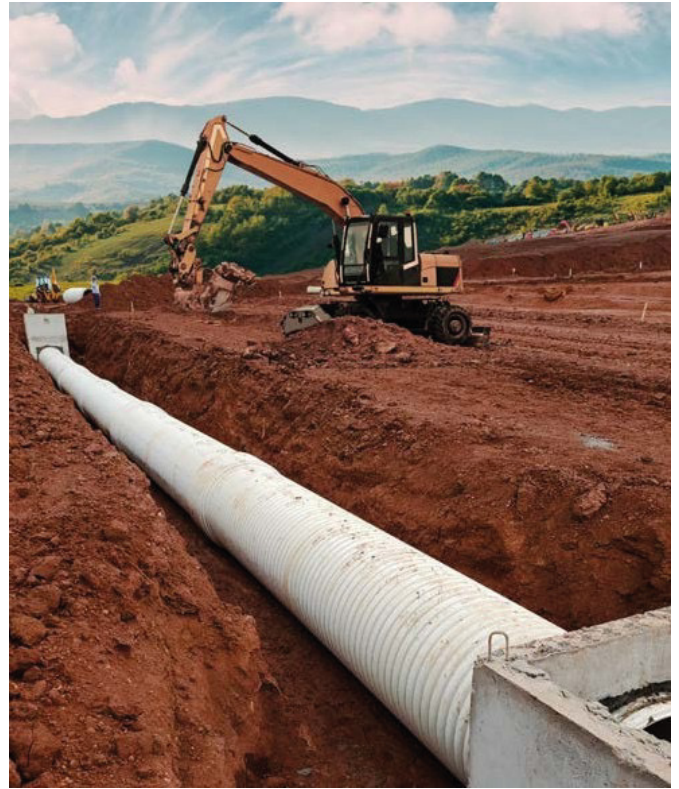
El origen de la tubería **NOVAFORT®** data de 1995, cuando PAVCO WAVIN desarrolló la tecnología para el mercado colombiano, constituyéndose en el primer producto en su clase para el país y también para la región latinoamericana.



Figura 2. NOVAFORT® en Latinoamérica

Debido a las cualidades del producto, y a un precio muy competitivo, el mismo se convirtió rápidamente en la primera opción para la ejecución de redes de alcantarillado en el país, reemplazando los materiales tradicionales (como el concreto), por una solución plástica de alto rendimiento.

Hoy en día, **NOVAFORT®** se comercializa en la mayoría de los países de Latinoamérica, produciéndose a través de 11 centros de fabricación, distribuidos en 8 países, y se llevan instalados más de 115.000 Km (¡casi 3 vueltas a la tierra!) en toda la región, con impecables resultados. Es de destacar que, en todos estos años, el producto nunca ha presentado fallas ni reclamos de importancia, mostrando una gran solidez y confiabilidad a largo plazo, que lo diferencian de otras tecnologías del mercado.



## 1.3. ¿Por qué elegir NOVAFORT®?

Como veremos en el capítulo siguiente, las características de **NOVAFORT®** garantizan (y exceden) el cumplimiento de los requisitos básicos requeridos para la ejecución de sistemas de alcantarillado de calidad:

- ① Hermeticidad
- ① Resistencia estructural
- ① Resistencia al impacto
- ① Durabilidad
- ① Resistencia a la corrosión
- ① Resistencia a la abrasión
- ① Buen comportamiento hidráulico.
- ① Facilidad de operación y mantenimiento

Sin embargo, son las características diferenciadoras de **NOVAFORT®** las que lo posicionan como la mejor tecnología para proyectos de alcantarillado. Estas características pueden agruparse dentro los siguientes 3 pilares fundamentales:

- a) Confiabilidad
- b) Sencillez / conveniencia
- c) Costos

### 1.3.1 Confiabilidad

Como ya se mencionó, la gran cantidad de años de experiencia, y de kilómetros instalados sin fallas, en diferentes países de Latinoamérica hacen de **NOVAFORT®** un producto altamente confiable. Esto se debe a diversos factores, entre los que se puede mencionar:

- ◉ Cumple con las normas internacionales más exigentes (ISO 21138, EN 13476).
- ◉ Está fabricado con PVC-U, que es el material plástico de mayor trayectoria y confiabilidad probada en el mercado de tuberías.
- ◉ La rigidez anular nominal (SN) del producto nunca es menor a 5 kN/m<sup>2</sup>, garantizando siempre un adecuado comportamiento estructural, en un todo de acuerdo con las recomendaciones de la normativa internacional.
- ◉ Mantiene una muy buena resistencia estructural aún frente a cargas de largo plazo, debido a los menores efectos de Creep del PVC-U en comparación con otros plásticos. Esto garantiza un mejor comportamiento en situaciones en las que el tubo deba soportar cargas prolongadas en el tiempo, o bien frente a situaciones de instalación de mediana calidad.
- ◉ Diseño de pared optimizado, no solo para otorgar al producto la rigidez anular especificada, sino también para resistir las sollicitaciones que deberá resistir durante su transporte, manipulación e instalación, así como durante la operación y mantenimiento de la conducción, una vez en funcionamiento.
- ◉ Método de unión de simple y rápida ejecución, con hermeticidad garantizada.
- ◉ Debido a las propiedades del material, NOVAFORT presenta una alta resistencia química frente a la amplia mayoría de compuestos que pueden estar presentes en las redes de alcantarillado, así como una excelente resistencia a la abrasión, asegurando la durabilidad del material en el largo plazo.

Desde su lanzamiento en 1995, NOVAFORT® no ha presentado ni un solo evento de colapso o deformación excesiva, aún frente a condiciones de instalación no favorables, probando el altísimo grado de confiabilidad que tiene el producto. Debido a esto, NOVAFORT® es sinónimo de TRANQUILIDAD, eliminando la posibilidad de aparición, a mediano o largo plazo, de "socavones" en el suelo que pudieran poner en riesgo el tránsito vehicular o la seguridad de la población, además de los enormes costos de reparación que involucran.

### 1.3.2 Sencillez / Conveniencia

Una de las grandes ventajas de **NOVAFORT®** es que, además de ser un producto altamente confiable, también aporta sencillez y rapidez a la hora de su instalación, sin requerir maquinaria ni personal especializado y muy adaptable a las diferentes situaciones que pueden aparecer en una obra:

- ◉ Posee bajo peso, lo que posibilita una manipulación e instalación más sencilla, rápida y sin necesidad de maquinaria especial.
- ◉ Su método de unión, con espiga-enchufe y sello hidráulico elastomérico, es muy sencillo, rápido de ejecutar y confiable. No necesita personal especializado y no presenta inconvenientes a la hora de las pruebas hidráulicas en obra.
- ◉ Presenta una buena estabilidad dimensional en la dirección longitudinal, por lo que la estanqueidad de juntas también queda garantizada a largo plazo.

- ◉ Presenta una superficie interna lisa, con un Coef. Manning del orden de  $n = 0.009$ , lo cual garantiza una excelente respuesta hidráulica, y evitando la posibilidad de sufrir incrustaciones.
- ◉ Los tubos estándar presentan 6 metros de longitud, pudiendo realizar ajustes en obra de manera muy sencilla (cortando el tubo en cualquier lugar, y uniéndolo directamente a otro tubo o accesorio), sin necesidad de piezas adicionales.
- ◉ Su acabado interior uniforme, de color claro, le permite tener una superficie de alto contraste que facilita las labores de inspección y limpieza de los sistemas de alcantarillado.
- ◉ Es apto para el uso de cuplas deslizantes, que facilitan enormemente el proceso de reemplazo de tramos de tuberías que ya están instaladas, si fuera necesario.
- ◉ La tubería se presenta en conjunto con una gran variedad de accesorios complementarios disponibles, y a la vez es compatible con pozos de visita plásticos presentes en el mercado, posibilitando la ejecución de sistemas integrales y completos.

Por otro lado, su excelente performance probada, así como las características del PVC-U del que están hechas las tuberías **NOVAFORT®**, asegura menor cantidad de intervenciones durante su ciclo de vida y, por lo tanto, mayor sencillez de operación.

### 1.3.3 Costos

Cuando es comparado con productos de rendimiento equivalente (a corto y largo plazo), NOVAFORT® suele ser la solución más económica:

- ◉ Menor costo del producto (a igualdad de rendimiento).
- ◉ Menor costo de instalación.
  - No necesita maquinaria especial.
  - Requiere menos tiempo.
  - No se pierde tiempo con pruebas hidráulicas fallidas
- ◉ Menor costo de mantenimiento.
- ◉ Menor frecuencia de limpieza debido a la reducida probabilidad de incrustaciones en sus paredes.
- ◉ Mínima probabilidad de falla (probado), por lo que requiere de menos intervenciones a lo largo de su vida útil.
- ◉ En el eventual caso de tener que hacer una reparación, gracias a la sencillez del sistema y a la posibilidad del uso de cuplas deslizantes, el proceso es sumamente sencillo y rápido, lo que disminuye sensiblemente los costos implicados en caso de necesitar realizar una intervención.



# 2. Características principales

## 2.1. Fabricación

NOVAFORT® es fabricado mediante un moderno proceso automático de extrusión, en un solo paso, resultando en una pieza monolítica y de alta resistencia estructural.



Figura 2.1. Fabricación Tubo NOVAFORT®

## 2.2. Normas / Certificados

NOVAFORT® se fabrica de conformidad con las normas internacionales más exigentes (ISO 21138, EN 13376). Adicionalmente, en cada país la tubería y accesorios poseen certificación de conformidad con las normativas locales:

<b>Tubería:</b>	<b>NMX-E-230-CNCP</b>
<b>Anillos:</b>	<b>NMX-T-021-CNCP</b>
<b>Conexiones:</b>	<b>NMX-E-215/2-CNCP</b>

## 2.3. Material

NOVAFORT® está fabricado íntegramente de Policloruro de Vinilo No Plastificado (PVC-U), material de probada trayectoria y confiabilidad en el mercado de tuberías, presentando:

- ⦿ Comportamiento flexible.
- ⦿ Alta performance y durabilidad probadas a lo largo de más de 5 décadas.
- ⦿ Parámetros mecánicos superiores y menor efecto de Creep en comparación con otros plásticos.
- ⦿ Alta resistencia química.
- ⦿ Alta resistencia a la abrasión.
- ⦿ Menos incrustaciones.
- ⦿ Menor necesidad de mantenimiento, o intervenciones, durante su ciclo de vida.

Ver ANEXO I para más detalles acerca del material.

## 2.4. Dimensiones

Las tuberías NOVAFORT® se presentan en el rango de diámetros que va de los 160 mm a los 900 mm, con 6.0 metros de longitud total y en rigidez SN5 constante en todos los diámetros.

Diámetro nominal mm	Diámetro exterior promedio mm	Diámetro interior promedio (di) mm	Diámetro nominal (et) mm
160	158	146	6.0
200	198	183	7.5
250	248	229	9.5
315	312	289	11.5
400	397	367	15.0
450	492	450	21.0
600	647	588	29.5
750	821	750	35.5
900	984	900	42.0

## 2.5. Sistema de unión

Las tuberías NOVAFORT® poseen sistema de unión por espiga-campana, con anillo elastomérico, apto para alcantarillado sanitario, pluvial e industrial, tal como puede apreciarse en la Figura 2.2.

Para esto, las tuberías poseen, en uno de sus extremos, una campana de pared exterior estructurada y de pared interior lisa. En el otro extremo, las tuberías mantienen el perfil de pared inalterado, por lo que la “espiga” no tiene diferencia con el resto de la tubería

Con respecto al anillo elastomérico, este va insertado en uno de los valles (entre 2 costillas) de la espiga y hace el sello hidráulico contra la campana de pared interna lisa de la tubería acoplada. Este sistema de unión, además de proveer sencillez y rapidez de instalación a la tubería, garantiza la hermeticidad del sistema, impidiendo tanto la exfiltración del caudal transportado, como la infiltración de aguas subterráneas, suelo o suciedad dentro del conducto.

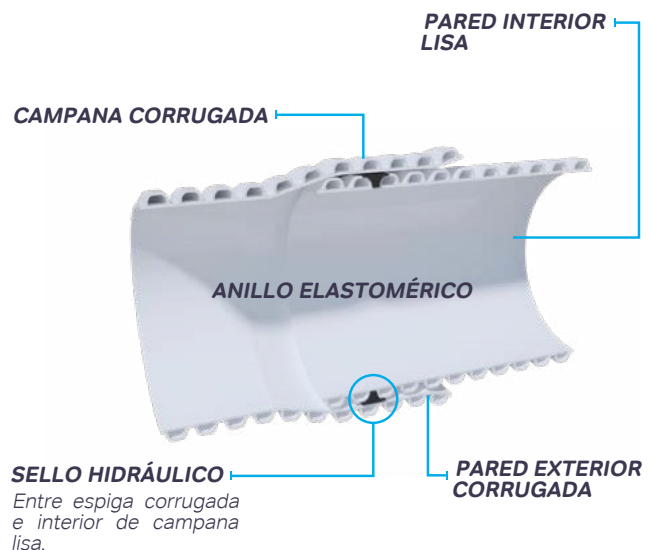


Figura 2.2. Sistema de Unión

## 2.6. Longitud

La longitud estándar de los tubos **NOVAFORT®** es de 6.0 metros, pudiéndose también entregar en otras longitudes a pedido. Adicionalmente, debido al diseño de su sistema de unión, los ajustes de longitud en obra son muy sencillos, dado que las tuberías pueden ser cortadas en cualquier punto y unidas directamente a otra tubería, o accesorio, sin necesidad de piezas o metodologías especiales.

## 2.7. Rigidez anular

En el caso de conducciones sin presión interna, el parámetro que define a las tuberías, que las caracteriza frente a su resistencia a las sollicitaciones externas, es la Rigidez Anular. La rigidez anular de una tubería indica la resistencia que tiene la misma al aplastamiento, es decir, frente a la acción de cargas ovalizantes, y se define como:

$$SN = \frac{E \cdot I}{D_m^3}$$

### Donde:

E: Módulo de elasticidad circunferencial del material del que está hecho la tubería.

I: Momento de inercia de la sección transversal de la pared de la tubería.

Dm: Diámetro medio de la tubería (diámetro al eje de inercia de la pared).

A pesar de ser éste un valor teórico, se puede verificar mediante ensayos de aplastamiento, en el que una probeta (tubería corta, de longitud "L") es sometida a una carga vertical "F" y se mide la deflexión "Δy" que ésta provoca (Figura 2.3).

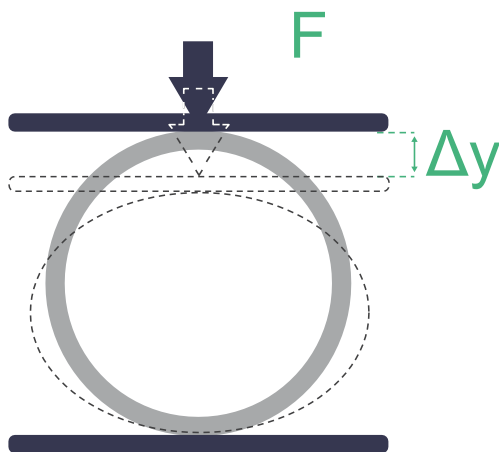


Figura 2.3. Concepto de rigidez anular

A la relación  $F/\Delta y$  se la conoce como "Rigidez del tubo" o "Pipe Stiffness" (PS) y se relaciona con SN a través de un coeficiente "ξ" de la siguiente manera:

$$\frac{F}{\Delta y} = PS = \frac{8 \cdot L}{\xi} \cdot SN$$

Por su parte, el coeficiente "ξ" depende del nivel de deformación Δy de la tubería, respecto del diámetro inicial Di, a través de la siguiente relación (válida para materiales termoplásticos):

$$\xi = 0,0186 + 0,025 \frac{\Delta y}{D_i}$$

Como ya se mencionó, la tubería **NOVAFORT®** se presenta en alta rigidez: SN=5 kN/m<sup>2</sup> (SN5), medido de acuerdo con la Norma ISO 9969.

Esta rigidez es el más utilizado, y recomendado por la bibliografía internacional, para asegurar un comportamiento adecuado en las tuberías flexibles, aún en las condiciones más exigentes.

## 2.8. Diseño de pared

Como ya se mencionó, las paredes exteriores de las tuberías **NOVAFORT®** son del tipo "estructurada", es decir con una geometría especial, diferente del espesor constante que presentan las tuberías de pared sólida.

### 2.8.1 ¿Por qué pared estructurada?

De acuerdo con lo detallado en el punto anterior, la rigidez anular SN de una tubería es directamente proporcional al Momento de Inercia (I) de la sección transversal de la pared de esta.

Esto, en el caso de un tubo de pared compacta de espesor "e", donde se tiene que  $I = e^3/12$ , significa que, aumentar la rigidez anular implica directamente aumentar el espesor de pared (y el peso) del tubo.

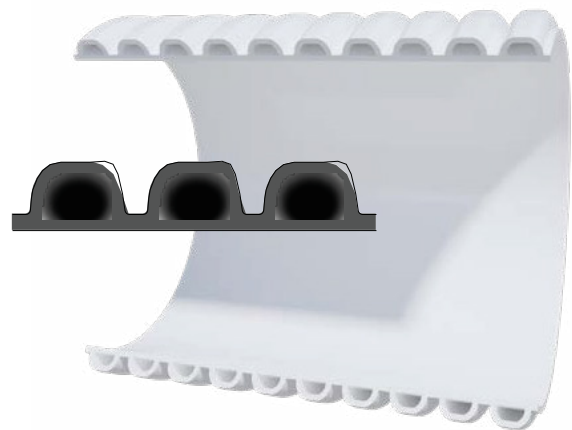


Figura 2.4. Diseño de la pared

En el caso de los tubos de pared estructurada, en cambio, el aumento del momento de inercia se obtiene a través de la “geometría” de la pared, y no del espesor. De esta manera, se obtienen tubos muy livianos, con igual o mayor rigidez, que en el caso de sus equivalentes en pared compacta.

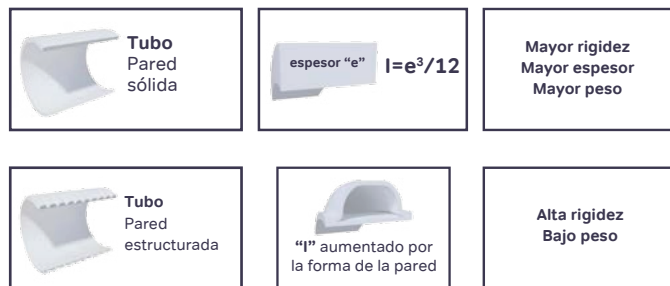


Figura 2.5. Pared Lisa vs estructurada

En la Tabla 2.1 puede verse una comparativa, en cuanto a Rigidez Anular y Peso de tubos de PVC-U de pared sólida (conforme a norma ISO 1401) vs tubos NOVAFORT® (conforme a norma ISO 21138).

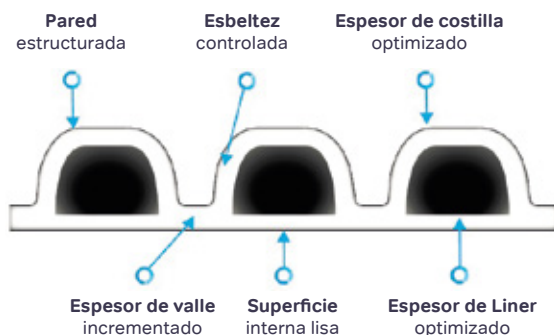
## 2.8.2. Diseño optimizado

NOVAFORT® (ISO 21138)	COMPACTO ISO 1401	DIFERENCIA	
		Rigidez anular	Peso
SN8	SN8	-	-40%
SN4	SN2	+100%	-30%

Tabla 2.1 Comparación con tubo sólido

Por otro lado, si bien es cierto que, para darle rigidez anular a la tubería, basta con un diseño del perfil de pared que aumente el momento de inercia, también es cierto que la tubería deberá tener un espesor mínimo que le aporte resistencia a otras solicitaciones, además de las derivadas de las cargas externas ovalizantes.

En función de esto, el diseño de pared de NOVAFORT®, además de otorgar la rigidez anular requerida, posee características especiales que contribuyen a la excelente performance probada del producto a través de todas las etapas de su recorrido (transporte, almacenamiento, instalación, operación y mantenimiento) a lo largo de su vida útil, como se explica a continuación.



## 2.8.2.1. Esbeltez controlada

El perfil de pared de NOVAFORT® es de tipo “compacto”, es decir que la relación entre los espesores de pared y la altura total del perfil conserva siempre un valor equilibrado. Esto le trae algunas ventajas al producto, en comparación con opciones de perfiles más “esbeltos” (sobre todo en el caso de grandes deflexiones):

- Alta estabilidad estructural del perfil (menor posibilidad de pandeo localizado).
- Menor valor de tensiones en las fibras exteriores del perfil y, por lo tanto, mayor coeficiente de seguridad frente a la resistencia del material.

## 2.8.2.2. Espesor decostilla optimizado

El diseño y espesor de la costilla exterior de la pared aporta una alta rigidez anular SN a la sección transversal de la tubería, a la vez que le aporta excelente resistencia al impacto y frente a solicitaciones puntuales externas.

Este espesor también contribuye a asegurar la estabilidad estructural del perfil de pared frente a deflexiones importantes en la sección transversal de la tubería.

## 2.8.2.3. Espesor de valle incrementado

El espesor incrementado en el valle (zona entre costillas) le aporta a la tubería también una buena rigidez en el sentido longitudinal, facilitando la instalación y asegurando pendientes longitudinales estables a lo largo de la conducción.

## 2.8.2.4. Espesor de liner optimizado

El espesor de liner de NOVAFORT® cumple con las normas más exigentes (EN 13476, ISO 21138) de manera de asegurar, además de la rigidez anular especificada, la resistencia de la tubería frente a las diferentes situaciones que la misma deberá soportar a lo largo de su vida útil:

- Resistencia a la abrasión.
- Resistencia a los esfuerzos generados por la limpieza mecánica de la conducción.
- Resistencia a los esfuerzos generados por la limpieza a alta presión (hidrojet) de la conducción.
- Resistencia a los esfuerzos aplicados en la dirección longitudinal (esfuerzo durante el acople de tuberías, por ejemplo).
- Resistencia al desgarro (en la conexión a cámaras, ante la presencia de suelos expansibles, o frente a la posibilidad de asentamientos diferenciales).
- Resistencia frente a cargas puntuales.
- Resistencia a las cargas de la instalación.
- Resistencia a una presión interna mínima, de acuerdo con regulación local

Adicionalmente, un adecuado espesor de liner también contribuye a asegurar la estanqueidad de las juntas en las conexiones domiciliarias realizadas a través de “silletas”.

## 2.8.2.5. Superficie interna lisa

El diseño de pared prevé una superficie interna totalmente lisa, asegurando el mismo nivel de rugosidad hidráulica que cualquier otra tubería lisa de PVC-U (Coef.Manning n = 0.009). Ver más detalle en 2.12.

## 2.9. Comportamiento flexible

Las tuberías se clasifican como “rígidas” o “flexibles” en función de la relación de rigidez que éstas presentan con respecto a la rigidez del suelo de relleno de la zanja. En la Figura 2.7 podemos ver las diferencias de comportamiento en ambos casos.

Cuando la tubería es menos resistente que el suelo de relleno y se deforma ante la aplicación de una carga, se dice que la misma es FLEXIBLE. En este caso, la tubería, al ovalizarse, ejerce presión sobre las paredes laterales del relleno, transmitiéndoles la carga y dando lugar a que éstas sean las que, en definitiva, den la resistencia estructural al sistema.

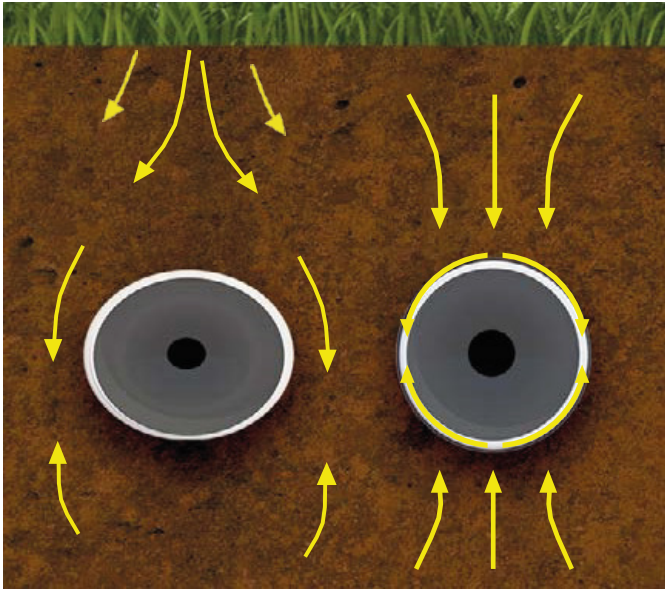


Figura 2.7. Tuberías Rígidas y Flexibles

En cambio, cuando la tubería es más resistente que el relleno de la zanja, se dice que es RÍGIDA y, en este caso, será ella la que soportará la mayor parte de la carga y la transmitirá en forma directa a la cama de asiento de la zanja.

Adicionalmente, mientras que para los tubos flexibles se aprovecha su capacidad para moverse u ovalizarse bajo cargas sin presentar daño estructural, permitiéndoles en sus normas ovalizaciones de entre un 5 y un 12.5 % (según el material y tipo de junta), los tubos rígidos por lo general no podrán ovalizarse en más de un 2 % sin presentar sufrimiento estructural significativo, con la aparición de fisuras.

Con respecto a los requisitos para la instalación de ambos tipos de tuberías, y contrariamente a lo que suele considerarse en el mercado en cuanto a que “el tubo rígido no necesita de una instalación tan cuidada como el flexible”, es importante destacar que en los dos casos se hace fundamental la ejecución de un apoyo adecuado del tubo en el fondo de la zanja, así como la ejecución de un relleno de zanja adecuado, que le provea soporte y confinamiento. Mientras que, en el caso del tubo flexible, estos aspectos son importantes para asegurar la resistencia del conjunto tubo-zanja para resistir las cargas, en el caso del tubo rígido esta contención es fundamental para minimizar movimientos y asentamientos diferenciales que puedan derivar en fisuras en sus paredes o pérdidas de estanqueidad en las juntas.

En función de esto, presentan las siguientes ventajas frente a opciones de comportamiento rígido:

- ① Resisten las cargas en conjunto con el suelo de relleno de la zanja, deformándose y transfiriendo los esfuerzos a éste
  - ② Se pueden instalar a mayores profundidades.
  - ③ Pueden adaptarse a los movimientos del suelo sin fallas estructurales ni fisuras.
  - ④ Su deflexión está gobernada por el asentamiento del suelo.
  - ⑤ Una vez ocurrido éste, el tráfico y otras cargas no afectan la tubería.
  - ⑥ Son muy indulgentes. Incluso en caso de mala instalación, esto no resultará en roturas debido a la alta capacidad de deformación del material.
  - ⑦ Dan una “advertencia” cuando están mal instaladas (las deformaciones excesivas aparecen instantáneamente, dando al contratista la oportunidad de corregir mientras trabaja en el sitio). Las tuberías rígidas como el concreto, por el contrario, cuando están mal instaladas no presentan ningún problema visible, sino que se generan fisuras internas, y terminan fallando más tarde en el tiempo.
- ¡FLEXIBILIDAD = SEGURIDAD!**

## 2.10. Resistencia estructural a largo plazo

Una propiedad muy importante de la tuberías NOVAFORT® es cómo se comporta frente al fenómeno conocido como “Creep” o “Fluencia Lenta” en comparación con otros materiales plásticos.

En efecto, el fenómeno de Creep afecta a los materiales cuando los mismos son sometidos a solicitaciones sostenidas en el tiempo, generando deformaciones cada vez mayores aún cuando el valor de la carga no aumente, sino que simplemente se mantiene constante en el tiempo.

Ahora, como puede verse en la Figura 2.8, frente a cargas de larga duración en el tiempo, el módulo de Creep “E” se reduce bastante menos en el caso del PVC-U, en comparación con los materiales pertenecientes al grupo de las Poliolefinas, lo cual se traduce directamente en una menor disminución relativa de la rigidez anular de la tubería en el largo plazo (tal como vimos en el punto 2.7, la rigidez SN es directamente proporcional al valor de “E”). En definitiva, frente a las cargas sostenidas en el tiempo, la tubería NOVAFORT® responde a largo plazo con una mayor rigidez anular que sus equivalentes en otros materiales termoplásticos.

Módulo de Fluencia “E” (MPa)  
Valores recomendados - Norma ATV A127 (Tabla 3)

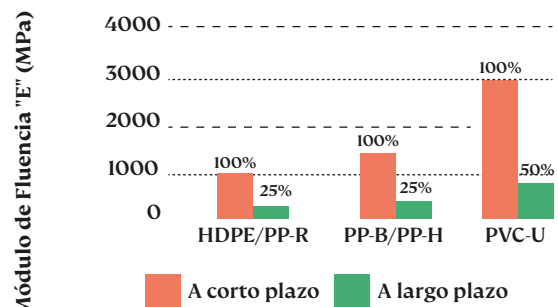


Figura 2.8. Efecto de Creep

Aquí es muy importante aclarar que, como veremos en el Ítem 5, en la mayoría de los casos, si una tubería es correctamente instalada en la zanja (con un adecuado confinamiento del suelo circundante), la misma no debería quedar sujeta a cargas de largo plazo (ya que las cargas verticales serían trasladadas al suelo) y, por lo tanto, el parámetro que definirá la resistencia de la misma será la rigidez anular de corto plazo (SN), además de la calidad y el grado de compactación del suelo de la zanja.

Sin embargo, hay algunos casos en los que la tubería sí podrá estar solicitada en forma prolongada en el tiempo (y, por lo tanto, la resistencia estructural de la misma deberá evaluarse a través de su rigidez anular de largo plazo). Estos son:

- ① Cuando la tubería queda sumergida por debajo del nivel freático. En este caso, el agua ejercerá una presión hidrostática, actuando en forma radial directamente sobre la sección de la tubería (de afuera hacia adentro), en forma sostenida en el tiempo.
- ② Cuando, por deficiencias en la instalación (con un nivel de compactación deficiente del suelo de relleno), la tubería no pueda transferir las cargas al suelo, quedándose solicitada en el largo plazo.

En la sección relativa al “Cálculo estructural” se detalla cómo tener en cuenta estas situaciones a la hora de seleccionar la tubería más adecuada para una obra particular.

## 2.11. Rigidez longitudinal



Figura 2.9. Rigidez Longitudinal

## 2.12. Rugosidad hidráulica

Debido a que la tubería **NOVAFORT®** presenta paredes internas lisas, la rugosidad hidráulica de las mismas no difiere de la rugosidad de las tuberías convencionales de PVC-U de pared compacta, es decir que presentan coeficientes de Manning “n” del orden de 0.009.

Esto pudo ser comprobado mediante un estudio sobre el comportamiento hidráulico y la determinación del Coeficiente de Rugosidad de Manning de las tuberías **NOVAFORT®** que fue desarrollado por el Centro de Investigaciones en Acueductos y Alcantarillados (CIACUA) de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de los Andes, en Colombia.



Figura 2.10. Superficie Interna Lisa

El estudio consistió en la modelación del perfil de flujo en tubos **NOVAFORT®**, a partir del montaje de un modelo físico a escala real para simular el comportamiento hidráulico bajo la condición de flujo en tuberías parcialmente llenas.

De este modelo, entonces, se obtuvieron datos experimentales acerca de la altura de la lámina de agua en diferentes secciones de la tubería para diferentes combinaciones de caudal y pendiente. Estos datos luego fueron valorados por un modelo matemático de análisis de flujo para la condición mencionada aplicando las ecuaciones de Continuidad, Cantidad de Movimiento, Energía, Flujo Gradualmente Variado (FGV) y las Leyes de Fricción.

El análisis permitió establecer el desempeño de la tubería bajo diferentes condiciones de caudal y pendiente y determinar su Coeficiente de Rugosidad de Manning, que arrojó un valor de  $n = 0.0086$ . **A efectos prácticos, entonces, en el caso de tubos NOVAFORT® para el cálculo hidráulico se podrá tomar  $n=0.009$  y quedar del lado de la seguridad**

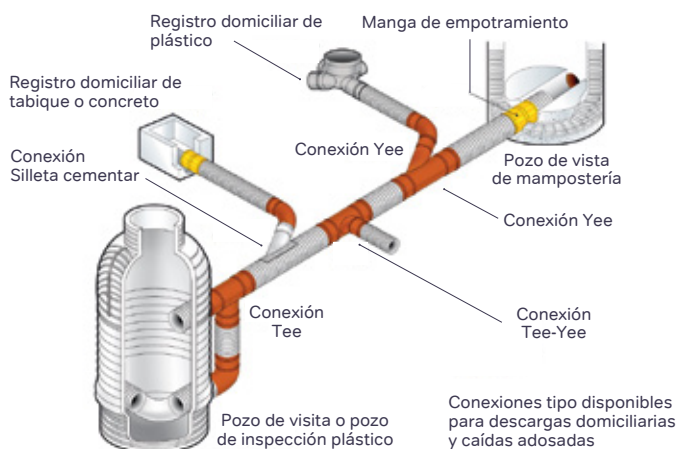
## 2.13. Resistencia química

Por tratarse de tuberías de PVC-U, sin el agregado de ningún otro compuesto o componente, la resistencia química de las tuberías **NOVAFORT®** no difiere de la resistencia para tuberías de PVC-U de pared compacta.

En el ANEXO II se incluye la tabla con el detalle de compuestos químicos que son resistentes por el material sin inconvenientes.

## 2.14. Accesorios complementarios

La tubería **NOVAFORT®** es complementada por una gama completa de accesorios, lo cual permite la conformación de sistemas integrales, tales como Silletas, Yee, Tee-Yee y Codos.



Sistema NOVAFORT para alcantarillado hermético

# 3. Cálculo hidráulico

## 3.1. Cálculo del caudal

Para el cálculo hidráulico de tuberías con escurrimiento a superficie libre se puede utilizar la fórmula de Chezy-Manning, es decir:

$$Q = \frac{\Omega}{X} R^{1/2} \sqrt{i}$$

Donde:

- **Q** : Caudal transportado, en m<sup>3</sup>/s
- **Ω** : Área Mojada, en m<sup>2</sup>
- **R** : Radio Medio Hidráulico, en m
- **i** : Pendiente longitudinal de instalación de la tubería, en m/m
- **n** : Coeficiente de rugosidad de Manning

Adicionalmente, el Radio Medio Hidráulico, se define como la relación entre el Área Mojada “Ω” y el perímetro mojado “X”, es decir:

$$R = \frac{\Omega}{X}$$

Para el caso de la sección de la tubería parcialmente llena, de la Figura 3.1 se puede deducir, geoméricamente, que:

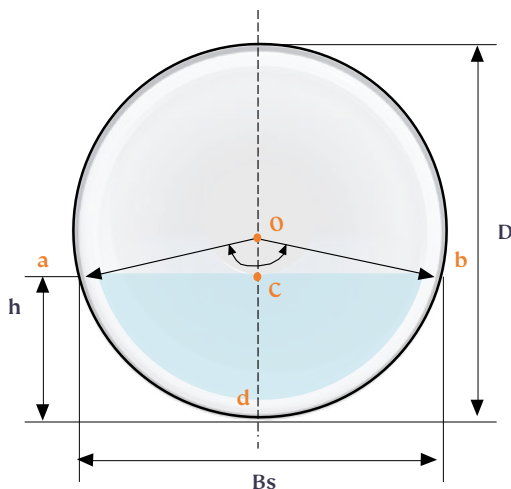


Figura 3.1. Sección Parcialmente Llena

$$X = \frac{D \cdot \theta}{2} \quad \text{y} \quad \Omega = \frac{D^2}{8} (\theta - \text{sen} \theta)$$

Por lo tanto, reemplazando en la fórmula de Chezy Manning, nos queda:

$$Q = \frac{\sqrt{i}}{n} \left[ \frac{D^2}{8} (\theta - \text{sen} \theta) \right] \left[ \frac{D}{4} \left( 1 - \frac{\text{sen} \theta}{\theta} \right) \right] \quad (\text{Ec.1})$$

Siendo:

$$\theta = 2 \cdot \arccos \left( 1 - 2 \frac{h}{D} \right) \quad (\text{Ec.2})$$

En función de lo anterior, se sugiere seguir el siguiente procedimiento de cálculo para determinar el diámetro de la tubería NOVAFORT® (método de prueba y error):

- I. Determinar el caudal de diseño requerido “Qreq” (generalmente en base a estudios poblacionales).
- II. Determinar la pendiente de instalación de la tubería “i” (en base a la topografía en la traza de la conducción).
- III. Determinar la relación tirante/diámetro (h/D) a adoptar.
- IV. Determinar el ángulo “θ” a partir de la relación h/D, utilizando la (Ec.2).
- V. Elegir un diámetro “D” (diámetro interior) del catálogo de tuberías NOVAFORT® y calcular “Q” con la (Ec.1).
- VI. Si  $Q < Q_{req}$ , seleccionar el diámetro “D” inmediato superior y volver a calcular “Q”, y así sucesivamente hasta encontrar el diámetro que cumpla con que  $Q > Q_{req}$ .

## 3.2. Verificación al arrastre de partículas

En el caso del cálculo hidráulico de fluidos con sólidos en suspensión, al cálculo hidráulico suele agregarse la verificación del escurrimiento en cuanto a su capacidad de arrastre de partículas. Esto es, asegurar que las velocidades del fluido dentro de la conducción serán suficientes para lograr el arrastre de las partículas sólidas, de un tamaño mínimo prefijado.

Para verificar esta condición, existen en el mercado dos metodologías, o criterios, para hacerlo:

- Criterio del Esfuerzo Tractivo
- Criterio de la Velocidad de Autolimpieza

### 3.2.1. Criterio del Esfuerzo Tractivo

Este criterio involucra el cálculo de lo que se conoce como “Esfuerzo Tractivo ( $\tau$ )”, que es el esfuerzo cortante mínimo que deberá generarse entre el fluido y las partículas para que las mismas sean arrastradas por el líquido y no sedimenten dentro de la conducción.

Para el orden de magnitud de las pendientes (bajas) de instalación de tubos que suelen adoptarse en proyectos de alcantarillado convencionales, y en condiciones de escurrimiento bajo régimen uniforme, se tiene que:

$$\tau = \gamma.R.i$$

Donde:

- $\tau$  es el “esfuerzo tractivo”, en  $\text{kg/m}^2$  o  $\text{N/m}^2$ .
- $\gamma$  es el peso específico del agua, en  $\text{kg/m}^3$ .
- $R$  es el “Radio medio hidráulico” (“Sección mojada” dividida por el “perímetro mojado”), en metros
- $i$  es la pendiente de la “solera del canal” (o “invertido” de la tubería si es una conducción cloacal), en  $\text{m/m}$ .

Reemplazando el valor de “ $R$ ”, la fórmula queda:

$$\tau = \frac{D \cdot i}{4} \left( 1 - \frac{\sin \theta}{\theta} \right)$$

(Ec.3)

Un criterio muy utilizado aquí es el de considerar que para el “Caudal Máximo del día de menor consumo del 1º año de la instalación” (QL0) el esfuerzo tractivo debe ser  $\tau_0 \geq 0,10 \text{ kg/m}^2$ .



En función de lo anterior, una vez seleccionado el diámetro mediante el procedimiento recomendado en el ítem anterior, deberían seguirse los siguientes pasos:

I. Determinar/adaptar QL0, en función de los datos de la población a abastecer.

II. Determinar el valor de “ $\theta$ ” utilizando la Ec.2, a partir de los valores de “ $i$ ”, “ $n$ ” y “ $D$ ” utilizados en el ítem anterior y ahora para el valor QL0. Como es difícil despejar el valor de “ $\theta$ ” en la ecuación, se sugiere utilizar el método de prueba y error, proponiendo diferentes valores de “ $\theta$ ” hasta obtener el valor  $Q \approx QL0$ .

III. Calcular el valor de “ $\tau_0$ ” utilizando la Ec.3

IV. Verificar que se cumpla que  $\tau_0 \geq 0,10 \text{ kg/m}^2$ .

### 3.2.2. Criterio de la Velocidad de Autolimpieza

Este criterio consiste en el cálculo de la velocidad mínima que será necesaria para arrastrar partículas de diámetro “ $\phi$ ” o inferior dentro de la conducción.

En general, se considera que, si la velocidad del fluido a sección llena ( $h/D = 1$ ) supera los 0.6 m/s, se asegurará el arrastre a la mayoría de las partículas presentes en el mismo.

Es decir:

$$U_{LL} \geq 0.6 \text{ m/s}$$



# 4. Cálculo estructural

Una vez determinado el diámetro, para completar la selección de la tubería se deberá determinar la Rigidez Anular requerida, de manera de asegurar que la misma resista a todas las solicitaciones a la que será sometida a lo largo de la vida útil de la conducción.

Para esto, será necesario realizar un análisis de las solicitaciones que actuarán sobre la tubería, valorizarlas y realizar la verificación estructural del conjunto tubo-zanja.

Siendo NOVAFORT® una tubería de comportamiento flexible, en el presente manual se seguirán las recomendaciones generales dadas por la American Water Works Association (AWWA) para este tipo de tuberías, según las cuales la verificación estructural implica al menos el análisis de los siguientes 2 aspectos:

**A. Verificación de la Deflexión Anular:** esto es, verificar que la disminución porcentual del diámetro vertical (respecto al diámetro vertical inicial) de la tubería a lo largo de la vida útil de la conducción no sea superior.

**B. Verificación al Pandeo:** esto es verificar que la sección transversal de la tubería no va a fallar por forma (aparición de grandes abolladuras o de la típica sección en forma de “corazón”).

En resumen, los pasos a seguir en la Verificación Estructural de un tubo son los siguientes:

- I. Determinar el diseño de la zanja en la que será instalada la tubería.
- II. Calcular las solicitaciones que estarán actuando sobre la tubería
- III. Preseleccionar una rigidez anular para la tubería
- IV. Verificar estructuralmente dicha tubería (verificaciones A y B).

Si las verificaciones resultan satisfactorias, se termina el proceso. Caso contrario, deberán hacerse iteraciones del procedimiento anterior, modificando las diferentes variables intervinientes (rigidez anular de la tubería, rigidez del suelo, ancho de zanja, etc) hasta encontrar la combinación que satisfaga todos los requisitos al menor costo posible.

Es importante aclarar que la metodología y criterios expuestos en el presente capítulo no son exclusivos para las tuberías NOVAFORT®, sino que son válidas para cualquier tubería flexible.

## 4.1. Diseño de zanja

En la Figura 4.1 puede verse un diseño típico de zanja para una tubería flexible, como es la tubería NOVAFORT®.

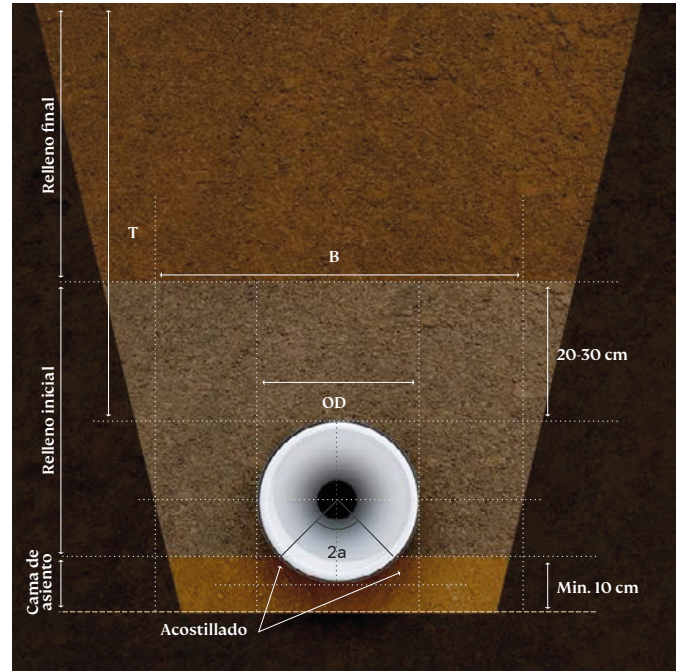


Figura 4.1. Diseño de Zanja

### 4.1.1. Ancho de Zanja

El ancho de zanja (B) se mide a la altura de la línea media de la tubería y será el especificado por el ingeniero de proyecto, pero nunca deberá ser menor a los valores mínimos recomendados para garantizar que el área de trabajo sea segura y adecuada para compactar el relleno de contención, el acostillado y otros materiales de recubrimiento de la zanja.

El espacio entre la tubería y las paredes de la zanja debe ser lo suficientemente amplio de modo que permita el uso del equipo de compactación en la zona de la tubería.

En función de lo anterior, se recomienda que el ancho de zanja cumpla simultáneamente con lo siguiente:

**a)** El espacio entre el tubo y la pared de la zanja no debe ser menor que el ancho del equipo de compactación (A) más 150 mm, es decir:  $B \geq OD + A + 300 \text{ mm}$

**b)** El ancho en la parte inferior de la zanja (apoyo del tubo) debe ser, como mínimo 1.25 veces el diámetro exterior de la tubería más 300 mm.  $B \geq 1.25 OD + 300 \text{ mm}$

## 4.1.2 Relleno

El Relleno (T) es la distancia entre la superficie del terreno natural y el lomo o extradós del tubo.

Los rellenos máximos y mínimos que podrá soportar una determinada tubería dependerán de la rigidez anular de la misma y de las condiciones de instalación (características del suelo natural, tipo y grado de compactación del suelo de relleno, profundidad del nivel freático, etc), lo cual debe ser verificado a través del cálculo estructural del conjunto tubo-zanja.

En caso de no poder realizarse dichos cálculos, se recomiendan los siguientes valores mínimos:

A) Instalaciones con tránsito vehicular pesado:

$$T \geq 0,80 \text{ mts}$$

B) Caso sin tránsito vehicular:

$$T \geq 0,40 \text{ mts para temperaturas normales}$$

$$T \geq 0,60 \text{ mts para temperaturas menores a los } 0^{\circ}\text{C (por debajo de la línea de congelación del suelo)}$$

## 4.1.3. Cama de asiento/ ángulo de Apoyo

La cama de asiento consiste en una capa de material granular (grava, arena) compactado, colocada en el fondo de la zanja. Su función es proveer una superficie de apoyo al tubo, evitando la generación de tensiones localizadas sobre el mismo y evitando asentamientos diferenciales de relevancia a lo largo de su recorrido.

Tabla 4.1. Tipos de Suelos

Clase de suelo			Descripción	Clasificación universal a)	% Pasando Tamiz No200
ASTM	AWWA	AASHTO			
I	SC1	-	Piedra partida, con menos del 15% de arena y un máximo del 25% que pasa el tamiz de 3/8"	-	≤ 5%
II	S21	A1 A3	Suelos de grano grueso, limpios	GW, GP, SW, SP, o cualquier clasificación que comience con estos símbolos	≤ 12%
III	A B C	A-2-4	Suelo de grano grueso, con finos	GM, GC, SM, SC o cualquier clasificación que comience con estos símbolos	> 12% y ≤ 30%
		A-2-5	Suelo de grano grueso, con finos	GM, GC, SM, SC o cualquier clasificación que comience con estos símbolos	> 30% y ≤ 50%
		A-2-6			
A-4 b) A-6 b)	Suelos de grano fino arenosos o gravosos	CL, ML (ó CL-ML, CL/ML, ML/CL) o cualquier clasificación que comience con estos símbolos	> 50% y ≤ 70%		
IV		A-2-7 A-4 b) A-6 b)	Suelos de grano fino	CL, ML (ó CL-ML, CL/ML, ML/CL) o cualquier clasificación que comience con estos símbolos	> 70%
V c)		A5 A7	Suelos altamente plásticos y suelos orgánicos	MH, CH, OL, OH, PT	> 70%

a) En el Anexo III se establecen las características de los suelos establecidos en la clasificación universal de suelos y el nombre del grupo de acuerdo al símbolo del suelo.

b) Para las clases A-4 y A-6 se considera el pasaje de tamiz N° 200.

c) Suelo no aptos para su uso como relleno de confinamiento de tuberías\*

En lo que respecta a la verificación estructural de la tubería, el espesor de la cama de asiento determinará el “ángulo de apoyo  $\alpha$ ”, que es el ángulo que forma, respecto del eje central de la tubería, el segmento de círculo sobre el cual se producirá la distribución de carga de la reacción del suelo en el apoyo de la misma.

## 4.1.4. Relleno inicial

**El soporte brindado por el suelo de la cama de asiento y el relleno inicial (o relleno de contención) son claves en la performance del paquete estructural tubo-zanja.**

Por lo tanto, lograr una alta compacidad en esta parte de la zanja resultará fundamental.

Para lograr la contención requerida, deberá primero seleccionarse el tipo de material a utilizar para conformar esta parte de la zanja y luego se deberá definir el grado de compactación (en % de Densidad Proctor Normal) que será necesario.

Obviamente, la primera alternativa a considerar será utilizar el mismo suelo que se excavó para hacer la zanja. Sin embargo, debido a las características de algunos suelos, esto no siempre es posible. En la Tabla 4.1 se detallan las diferentes clases de suelos que suelen utilizarse para el relleno de zanjas de tuberías enterradas. Por otro lado, en la Tabla 4.2 puede encontrarse la clasificación Universal de suelos, donde se detallan las características que corresponden a cada uno según el símbolo asignado.

Tabla 4.2. Clasificación Universal de Suelos

Criterios para asignar símbolos de grupos y nombres de los grupos utilizando ensayos de laboratorio basados en el material que pasa malla de 75 mm				Clasificación del suelo		
				Símbolo del grupo	Nombre del grupo	
Suelos de grano grueso Más que 50% retenido sobre malla N° 200	Gravas Más de 50% de la fracción de gruesos retenida sobre la malla N° 4	Gravas limpias	$C_u \geq 4$ y $1 \leq C_c \leq 3$	GW	Grava bien graduada	
		Menos de 5% de finos	$C_u < 4$ y $1 > C_c > 3$	GP	Grava pobremente graduada	
		Gravas con más de 12% de finos	Finos clasificados como ML o MH	GM	FGrava limosa	
			Finos clasificados como CL o CH	GC	Grava arcillosa	
	Arenas 50% o más de la fracción de gruesos que pasa sobre malla N° 4	Arenas limpias	$C_u \geq 6$ y $1 \leq C_c \leq 3$	SW	Arena bien graduada	
		Menos de 5% de finos	$C_u < 6$ y $1 > C_c > 3$	SP	Arena pobremente graduada	
		Arena con finos Más que 12% de finos	Finos clasificados como ML o MH	SM	Arena limosa	
			Finos clasificados como CL o CH	SC	Arena arcillosa	
Suelos de grano fino 50% o más pasan la malla N° 200	Limosos y arcillosos. Límite líquido 50 o más	Inorgánico	$PI > 7$ y terreno debajo de la línea A	CL	Arcilla fina	
			$PI > 4$ y terreno debajo de la línea A	ML	Limo	
		Orgánico	Límite líquido-seco $< 0.75$	OL	Arcilla orgánica	
			Límite líquido-no seco $< 0.75$		Limo orgánico	
	Limosos y arcillosos. Límite líquido 50 o más	Inorgánico	PI terrenos en o sobre la línea A	CH	Arcilla gruesa	
			Terreno debajo de la línea A	HM	Limo elástico	
		Orgánico	Límite líquido-seco $< 0.75$	OH	Arcilla orgánica	
			Límite líquido-no seco $< 0.75$		Limo orgánico	
	Suelos altamente orgánicos	Primariamente materia orgánica, de color oscuro y olor orgánico			PT	Turba

Cuanto menor es el número de clase del suelo, mayor es su rigidez y menor es el esfuerzo de compactación requerido para obtener un buen confinamiento de la tubería. A continuación, se detallan las características generales de cada uno.

#### 4.1.4.1. Material ASTM Clase I

Los materiales clasificados por las normas ASTM como “Clase I” proveen la máxima estabilidad y contención de las tuberías, debido a la trabazón que se produce entre las partículas. Estos materiales posibilitan rellenos de alta rigidez, a la vez que requieren poco esfuerzo en la instalación (prácticamente no necesitan compactación), independientemente del contenido de humedad. Adicionalmente, la alta permeabilidad de estos materiales puede ayudar en el control del agua en la zanja, por lo que son muy adecuados para la conformación de capas drenantes y subdrenajes en cortes de roca. Sin embargo, se deberá tener cuidado con este material en el caso de tuberías de pared muy delgada, por los efectos punzantes que puedan tener los bordes angulosos de sus partículas.

#### 4.1.4.2. Material ASTM Clase II

Los materiales Clase II, por lo general, consisten en partículas redondeadas y son menos rígidos que los materiales angulares, pero, con poco esfuerzo de compactación, proveen un excelente confinamiento de las tuberías flexibles, y sin provocar esfuerzos puntuales sobre la pared de estas. Bien colocado, este tipo de material constituye la opción preferida para la instalación de tuberías flexibles, especialmente en el caso de tubos de pared estructurada.

### 4.1.4.3. Material ASTM Clase III

Los materiales Clase III proveen menor soporte para la tubería, para una dada densidad, que los Clase I y II, aunque pueden proveer un nivel de soporte razonable si se los lleva a la densidad apropiada. Sin embargo, si el contenido de humedad en la zanja no es controlado adecuadamente, para lograr la densidad especificada estos materiales requieren de altos niveles de esfuerzos de compactación.

### 4.1.4.4. Material ASTM Clase IV

Los materiales Clase IV requieren de una evaluación geotécnica antes de su utilización. Si son correctamente colocados y compactados, estos materiales pueden llegar a proveer un nivel de soporte razonable a la tubería, aunque la complejidad de la instalación para lograr esto a veces puede elevar demasiado los costos y/o enlentecer el avance de obra.

En el caso de que se decida su utilización, se deberá cuidar, durante todo el proceso de colocación y compactación que el contenido de humedad del mismo se mantenga siempre cercano al óptimo, de manera de poder lograr la densidad especificada, con el mínimo esfuerzo de compactación posible.

Estos materiales no son recomendables para grandes rellenos, bajo cargas de tránsito vehicular o bajo compactadores vibratorios pesados. Tampoco podrán utilizarse cuando las condiciones del agua en la zanja puedan causar inestabilidad y resultar en un contenido de agua descontrolado.

### 4.1.4.5. Material ASTM Clase V

Este tipo de material directamente no es recomendable para su utilización como relleno de contención.

### 4.1.4.6. Recomendaciones

En general los suelos más recomendados para conformar el relleno de contención son de tipo granular, dentro de las Clases I y II según Norma ASTM. Esto se debe a la alta rigidez que adquieren con esfuerzos mínimos de compactación y a que son muy poco sensibles al contenido de humedad. Además, los suelos granulares compactados tienen muy poca tendencia a efectos de Creep o de consolidación con el tiempo.

En cambio, cuando se utilizan suelos de granulometría más fina, por lo general se reduce la capacidad de soporte de la tubería.

Los suelos granulares con más de un 12% de partículas de menos de 75 micrones (clases SC3, SC4) son afectados significativamente por las características del material fino.

Si los finos son mayormente limos, el suelo es sensible a la humedad, tiene una tendencia a ser transportado por el escurrimiento de agua y requiere un esfuerzo adicional para su compactación.

Si los finos son mayormente arcillas, el suelo es aún más sensible a la humedad (reduciendo su rigidez) y sufrirá efectos de Creep en el tiempo. En estos casos, una buena recomendación es limitar el uso de estos suelos a aquellos que presenten un límite líquido (LL) inferior al 50%, con lo que se eliminarán los suelos plásticos y altamente sensibles al contenido de humedad. De todas maneras, el uso de este tipo de suelo como relleno de contención sólo podrá ser viable en los casos en los que, tanto el tubo como la instalación, hayan sido expresamente diseñados para este material. En caso contrario, su uso deberá ser evitado.

Asimismo, en la Tabla 4.3 pueden verse los valores mínimos de densidad Proctor requerida, según el tipo de suelo, así como el esfuerzo y los equipos de compactación que serán necesarios para alcanzar dicha densidad en cada caso.

Tabla 4.3. Densidad Proctor Mínima requerida para cada tipo de suelo

	Clase de suelo (ASTM)			
	I	II	III	IV
Densidad Proctor mínima requerida, PSD min	GW	GW	GW	GW
Esfuerzo de compactación requerido para alcanzarla Densidad Proctor mínima requerida	GP	GP	GP	GP
Métodos de compactación	Vibración, varillado o impacto	Vibración o impacto	Impacto	Impacto

### 4.1.5. Relleno final

El relleno final deberá colocarse de acuerdo con el diseño y especificaciones del proyecto. Su finalidad es la de tapar la zanja, hasta el nivel del terreno natural, con una compacidad adecuada que le dé rigidez suficiente para poder soportar las cargas que se presenten en superficie sin generar grandes deformaciones (sobre todo cuando hay tránsito vehicular).

A los fines de la deformación de la tubería, las características de este relleno influyen poco y, por eso, para conformarlo suele utilizarse el mismo material que se excavó de la zanja. La única excepción está dada en el caso de rellenos muy bajos con tránsito vehicular, donde hará falta un relleno final muy rígido y compacto que distribuya la carga y minimice el valor que solicitará a la tubería (en casos extremos, puede requerirse, inclusive, la ejecución de losas de concreto).

## 4.2. Cálculo de las solicitaciones (esfuerzos) actuando sobre la tubería

Toda tubería flexible que sea instalada enterrada en zanja podrá estar solicitada a lo largo de su vida útil por algunas o todas las cargas siguientes (Figura 4.2):

- **Peso del suelo de relleno** de la zanja por encima del tubo (PE).
- **Carga dinámica** generada por el tránsito vehicular (en caso de existir) que llega a la tubería (PL).
- **Presión externa (Pw)** generada por el agua de la napa freática (en caso de que el nivel de la misma esté por encima de la tubería).
- **Presión interna (Pi)** de trabajo (en el caso de conducciones a presión).
- **Sobrepresiones internas (Δp)** por fenómenos transitorios (Golpe de Ariete), también en el caso de conducciones a presión.

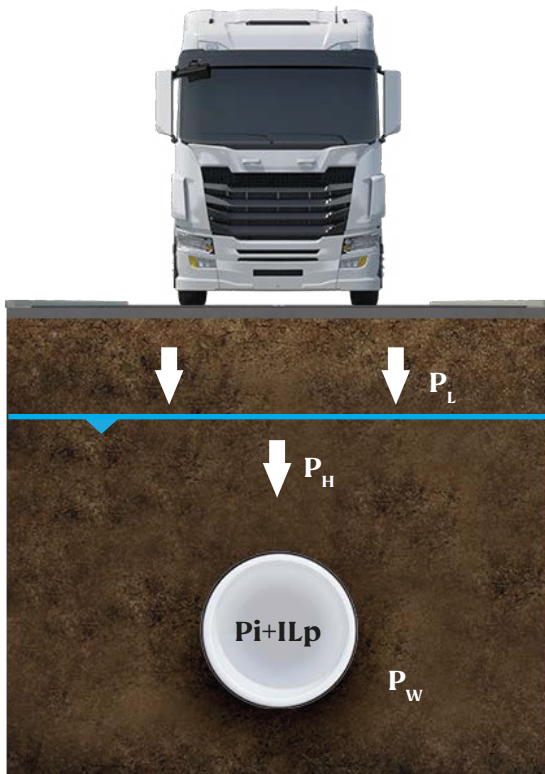


Figura 4.2. Solicitaciones (Esfuerzos) sobre una tubería enterrada en zanja.

De estas cargas, las dos primeras (peso del relleno y cargas de tránsito) tenderán a generar una ovalización vertical del tubo, la tercera (presión externa de agua de napa) tenderá a ejercer una compresión sobre todo el perímetro del tubo que podría ocasionar abolladuras por efectos de “pandeo” y, por último, en el caso de la presión interna de trabajo y de las sobrepresiones por fenómenos transitorios, cuando son presiones positivas tenderán a “inflar” la sección de la tubería (generando tensiones de tracción pura en las paredes), mientras que, si son negativas, ejercerán un efecto de succión que podrá derivar también en fenómenos de Pandeo.

### 4.2.1. Cargadel Relleno de la Zanja

La metodología tradicional utiliza las fórmulas de Marston para el cálculo del peso del relleno de la zanja sobre la tubería. De acuerdo a esta teoría, dada la forma de operar de las tuberías flexibles (produciendo una deflexión primaria para entrar en contacto con las paredes del relleno), se genera un efecto de arco en el suelo por encima de las mismas, que “aliviana” el peso que este suelo en definitiva descargará sobre ellas.

Sin embargo, la magnitud de este efecto de arco a veces resulta muy difícil de estimar, por lo que muchas normas y manuales, entre los que se encuentran los correspondientes a AWWA, simplifican el tema, quedando del lado de la seguridad, calculando el peso del relleno por encima del tubo al 100%, es decir sin ningún efecto de arco (Figura 4.3).

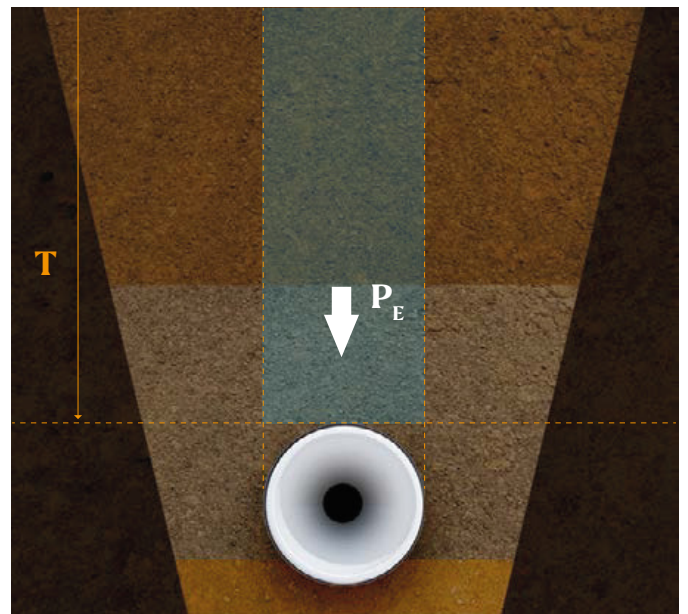


Figura 4.3. Solicitaciones por carga del relleno.

En este sentido, entonces, el peso que ejercerá el suelo de relleno de la zanja colocado sobre la tubería se asume directamente como el peso del prisma de suelo por encima de la misma, hasta el nivel del terreno.

Por lo tanto, la carga del relleno, por unidad de ancho, para cada sección transversal de la zanja, será:

$$P_E = S \cdot T$$

Donde:

**P:** Carga del relleno, por unidad de ancho, en kPa

**YS:** Peso específico del suelo del relleno por encima de la tubería, en kg/m<sup>3</sup>

**T:** Relleno, en metros.

Es de destacar que esta simplificación se recomienda para niveles de relleno estándar (entre 0 y 5 metros aproximadamente), ya que, para profundidades de instalación mayores, el método se hace demasiado conservador y entonces sí se recomienda utilizar la metodología de Marston. (consultar bibliografía específica).

### 4.2.2. Cargas de Tránsito

En función de la teoría de Boussinesq, una carga P a nivel del terreno será transmitida a través del suelo, distribuyéndose sobre una superficie con un determinado ángulo "θ". Por lo tanto, al llegar a una profundidad "T", la magnitud de la carga se habrá reducido a un valor  $P_L = P/A$ , siendo A un área que dependerá del ángulo θ y del valor de la profundidad (Figura 4.4).

De acuerdo a esto, entonces, puede asumirse que la magnitud de las cargas de tránsito que fehacientemente llegan a la tubería estará disminuida en función del valor del relleno (T). Esta reducción en la magnitud de las cargas será aún mayor en caso de interponer una superficie rígida entre la carga y la tubería (por ejemplo un pavimento de concreto), que aumentará aún más el ángulo θ.

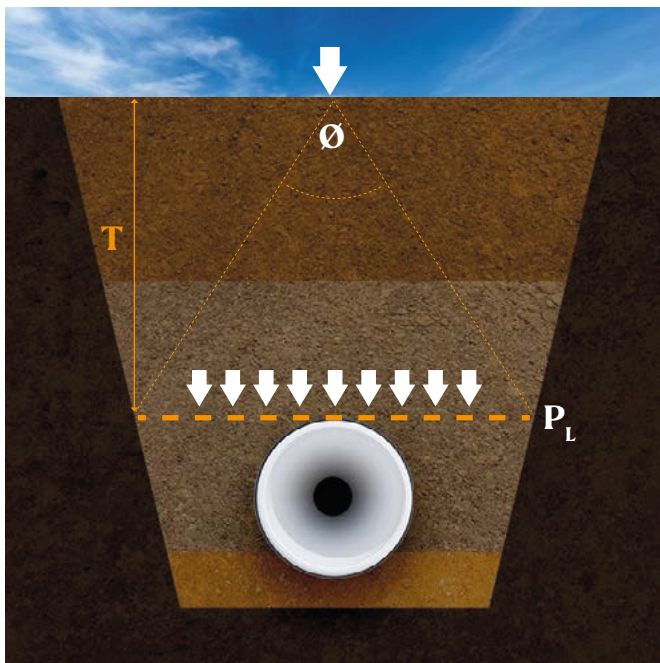


Figura 4.4. Solicitaciones por Carga de Tránsito

Para simplificar los cálculos, los manuales AWWA brindan directamente, en base a experiencias realizadas para vehículos standard, tablas con las cargas que efectivamente actuarán sobre la tubería para distintas profundidades de instalación. A continuación se dan los ejemplos más comunes.

#### Camión AASHTO H-20 / Pavimento Rígido

Para el caso de considerar la circulación de un camión standard AASHTO H-20 sobre una carretera con pavimento rígido, se establecen las cargas P dadas en la Tabla 4.4.

Tabla 4.4. Carga de Tránsito para Camión AASHTO H20 con Pavimento Rígido

Relleno (m)	$P_L$ Kpa
0,45	64,99
0,60	37,52
0,90	28,14
1,20	18,76
1,50	11,39
1,80	9,38
2,10	8,04
2,40	4,69

Los valores expresados en esta tabla fueron desarrollados por el American Iron and Steel Institute (AISI) y son los dados por la norma ASTM A796. Para este tipo de vehículo se asume una carga por rueda (WL,H20 ) de unas 7,2 toneladas (con un área de contacto de 25x50 cm) aplicada a través de un pavimento rígido de 30 cm de espesor.

#### Camión AASHTO H-20 / Pavimento Flexible o Sin Pavimento

Para el caso de considerar la circulación de un camión standard AASHTO H-20 sobre una carretera con pavimento flexible, o bien sin pavimento, se establecen las cargas PL de la Carga de Tránsito para Camión AASHTO H20 con Pavimento Flexible o Sin Pavimento en la Tabla 4.5.

Tabla 4.5. Carga de Tránsito para Camión AASHTO H20 con Pavimento Flexible o Sin Pavimento

Relleno (m)	$P_L$ Kpa
0,45	93,13
0,60	63,65
0,75	46,9
0,90	36,18
1,05	28,81
1,20	24,12
1,80	13,4
2,40	8,71
3,0	5,36

## Ferrocarril Cooper E-80

Para el caso de que la tubería se instale por debajo de una vía férrea, por la cual circularán ferrocarriles del tipo COOPER E-80, se establecen las cargas P de la Tabla 4.6.

Tabla 4.6. Carga Tránsito FFCC COOPER E-80

Relleno (m)	P <sub>L</sub> Kpa
0,75	129,31
0,90	123,28
1,20	112,56
1,50	101,17
1,80	89,78
2,10	79,73
2,40	71,02
2,70	63,65
3,00	56,28
6,00	22,11

### Otros Vehículos

En el caso de considerar camiones similares al standard AASHTO H20 (es decir, con la misma distribución de ejes y el mismo área de contacto en las ruedas), pero con cargas por rueda superiores o inferiores al mismo, los manuales AWWA establecen que se podrá considerar la siguiente relación:

$$P_L = C \cdot P_{L,H20}$$

Donde PL,H20 es la presión dada en la Tabla 4.4 (para pavimento rígido) o en la Tabla 4.5 (para pavimento flexible o sin pavimento), según corresponda, y "c" es un coeficiente dependiente de la relación de la carga por rueda del vehículo en cuestión W con respecto a la del AASHTO H20 (W<sub>L,H20</sub>):

$$C = \frac{W_L}{W_{L,H20}} = \frac{W_L}{7,2 \text{ tons}}$$

En el caso de considerar la circulación de otro tipo de vehículos, con área de contacto en las ruedas diferente del AASHTO H20, fuera de carretera (sin pavimento), los manuales AWWA recomiendan el uso de la ecuación de Timeoshenko para calcular la presión de suelo directamente por debajo de una carga P concentrada actuando sobre un área de contacto determinada Ac:

### Donde:

- **PL:** Tensión vertical actuando sobre el lomo de la tubería (kPa)
- **If:** Factor de Impacto
- **P:** Carga por rueda (kg)
- **Ac:** Área de contacto (m<sup>2</sup>)
- **T:** Relleno (m)
- **R:** Radio Equivalente (m); siendo  $R = \sqrt{A/\pi}$

## 4.3. Verificación estructural

Una vez calculadas las solicitaciones, como ya se mencionó, la Verificación Estructural de Tuberías Flexibles establece una serie de verificaciones, que son las siguientes:

- Deflexión Anular de la sección transversal del tubo
- Pandeo de la sección transversal del tubo

A continuación se detalla la metodología de cálculo recomendada por AWWA para realizar cada verificación.

### 4.3.1. Deflexión Anular

Para calcular la deflexión vertical porcentual de la tubería, ocasionada por la acción de las cargas del relleno (P) y tránsito (PL) y eventuales cargas estáticas, se recomienda el uso de la ecuación de Spangler-Iowa Modificada, según la cual:

$$\frac{\Delta y}{D_m} (\%) = \frac{K \cdot (T_L \cdot P_E \cdot P_L)}{(8 \cdot SN + 0,06 \cdot E')} \cdot 100$$

### Donde:

- **Δy/D<sub>m</sub>:** Deflexión vertical porcentual, en %
- **Δy:** Deflexión vertical absoluta (reducción del diámetro vertical del tubo), en mm.
- **D<sub>m</sub>:** Diámetro medio de la tubería (distancia entre el eje central del tubo y el eje neutro de sus paredes), en mm.
- **T:** Factor de deflexión retrasada, adimensional. Considera el aumento de la carga del relleno de la zanja debido a su asentamiento con el tiempo. Para propósitos de diseño se considera que un factor TL = 1,5 es conservador para tuberías flexibles.
- **SN:** Rigidez Anular Nominal de la tubería, en kN/m<sup>2</sup>, medida según norma ISO 9969
- **K:** Coeficiente de Apoyo, adimensional. Este coeficiente tiene que ver con el ángulo de apoyo "α", de acuerdo a la Tabla 4.7.

Tabla 4.7. Coeficiente de Apoyo

Ángulo de Apoyo (α)	Coficiente de Apoyo (K)
0°	0,11
30°	0,108
45°	0,105
60°	0,102
90°	0,096
120°	0,09
180°	0,083

- **E':** Módulo resistente del suelo de relleno, en kPa. Este representa el soporte del relleno alrededor del tubo, en reacción a la deflexión lateral del mismo bajo carga

Con respecto al Módulo Resistente E', para estimarlo se supone que el mismo deberá ser una combinación del Módulo Resistente E' del relleno alrededor del tubo con el Módulo Resistente E' del suelo natural a los costados de la zanja. Esta combinación se realiza a través de un coeficiente Sc, que dependerá de las relaciones E'/E' y B/OD (ancho de zanja/diámetro exterior del tubo).

El valor del módulo E' para el suelo natural a los costados de la zanja puede extractarse de la Tabla 4.8 en función del tipo de suelo y la resistencia medida en los sondeos de la zona (ensayo SPT, o Resistencia a la Compresión Sin Confinamiento).

Para el cálculo del Módulo de Reacción E' del relleno, se brindan 2 posibilidades y se recomienda adoptar en cada caso la más desfavorable. La primera posibilidad son los módulos adoptados por el Bureau of Reclamation luego de una serie de ensayos conducidos por A. Howard y pueden verse en la Tabla 4.9. La segunda posibilidad tiene que ver con un estudio conducido por Duncan y Hartley, en el cual midieron diferentes módulos de reacción en función de la profundidad a la que se está considerando el relleno, y pueden extraerse de la Tabla 4.10.

Una vez obtenidos E' y E', y conociendo la relación B/OD, el módulo combinado E' podrá calcularse como:

$$E' = SC \cdot E$$

Donde Sc es el Factor de Combinación de Soporte del Suelo y puede adoptarse, en función de las relaciones E'/E' y B/OD, de la Tabla 4.11.

La deflexión máxima admitida (en %) se establece en consideración de la estabilidad geométrica del tubo deflectado, su capacidad hidráulica, y el máximo estiramiento de fibras que tenga lugar en la pared del tubo.

En general el límite máximo para la deflexión anular porcentual a largo plazo en tuberías de PVC-U con sello elastomérico se establece en 5%, aunque puede variar según la normativa o requisitos locales.



Tabla 4.8 Módulo de Reacción EN' para el suelo natural

Tipo de suelo	Suelo Granular		Suelo Cohesivo		EN' kPa
	Nº Golpes SPT	Descripción	Descripción	qu(KPa)	
A	0-1	Muy, muy suelto	Muy, muy blando	0-13	340
A	1-2	Muy suelto	Muy blando	13-25	1400
A	2-4		Blando	25-50	4800
A	4-8	Suelto	Mediano	50-100	10300
A	8-15	Ligeramente compacto	Rígido	100-200	20700
A	15-30	Compacto	Muy rígido	200-400	34500
A	30-50	Denso	Duro	400-600	69000
A	>50	Muy denso	Muy duro	>600	138000

Tabla 4.9. Módulo de Reacción EE' para el suelo de relleno según Bureau of Reclamation

Tipo de suelo	Descripción	Densidad Compactación Proctor Normal			
		Arrojado	Leve, <85%	Moderada, 85-95%	Alta, >95%
1	Roca partida	6890	6890	20670	20670
2	Suelos de Grano Grueso con menos de 12% de finos. GW,GP,SW,SP	1378	4823	13780	20670
3	A- Suelos de grano fino (LL<50) con plasticidad media a nula (CL,ML,ML-CL) con más de un 25% de partículas de grano grueso. B- Suelos de grano grueso con más de un 12% de finos (GM, GC, SM, SC).	1033,5	2756	6890	17225
4	Suelos de grano fino (LL<50) con plasticidad media a nula (CL,ML,ML-CL) con menos de un 25% de partículas de grano grueso.	344,5	1378	2756	10335
5	Suelos de grano fino (LL>50) con plasticidad media a alta (CH, MH, CH-MH).	Uso no recomendado. Sin información disponible. Consultar a un especialista o bien considerar EE' = 0			

Tabla 4.10. Módulo de Reacción EE' para el suelo de relleno según Duncan y Hartley

Tipo de suelo	Descripción	Arrojado	Densidad Compactación Proctor Normal			
			85%	90%	95%	100%
2	Suelos de grano grueso con poco o ningún material fino (SP,SW,GP,GW)	1,5	4823	6890	11024	17225
		3	6890	10335	15158	22737
		4,5	7234,5	11024	16536	24804
		6	7579	11713	17225	26182
3	Suelos de grano grueso con finos (SM, SC)	1,5	4134	6890	8268	13091
		3	6201	9646	12402	18603
		4,5	6890	10335	14469	22048
		6	7579	11024	16536	25493
4	Suelos de grano fino con menos de un 25% en contenido de arena	1,5	3445	4823	6890	10335
		3	4134	6890	9646	13780
		4,5	4823	8268	11024	15847
		6	5512	8957	12402	17914

Tabla 4.11. Factor de Combinación Soporte del Suelo

EN'/EE'	B/OD					
	1,2	2	2,5	3	4	5
0,10	0,15	0,30	0,60	0,80	0,90	1,00
0,20	0,30	0,45	0,70	0,85	0,92	1,00
0,40	0,50	0,60	0,80	0,90	0,95	1,00
0,60	0,70	0,80	0,90	0,95	1,00	1,00
0,80	0,85	0,90	0,95	0,98	1,00	1,00
1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
1,50	1,30	1,15	1,10	1,05	1,00	1,00
2,00	1,50	1,30	1,15	1,10	1,05	1,00
3,00	1,75	1,45	1,30	1,20	1,08	1,00
5,00	2,00	1,60	1,40	1,25	1,10	1,00

## 4.3.2. Pandeo (Buckling)

Cuando un tubo enterrado es sometido a cargas externas de compresión radial (tales como una presión interna negativa, presión estática externa del agua freática, o pesos de relleno muy altos), puede aparecer una inestabilidad en la pared de la tubería que puede ocasionar deformaciones localizadas hacia adentro de la tubería (abolladuras) conocidas como "pandeo" (buckling), tal como puede verse en la Figura 4.5.

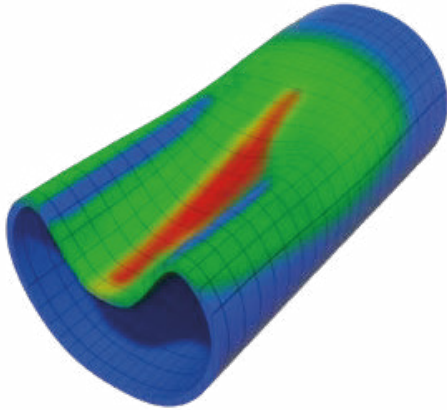


Figura 4.5. Pandeo

La verificación al pandeo consiste en comparar la presión externa de compresión que será capaz de resistir la tubería instalada en zanja (P) con la presión externa real total a la que estará sometida (PT), calculando el correspondiente coeficiente de seguridad como:

$$N = \frac{P_A}{P_T}$$

### 4.3.2.1. Presión Admisible

#### 4.3.2.1.1. Para Tubería Confinada

La resistencia de una tubería al pandeo es incrementada por el efecto de contención del suelo circundante. Para desarrollar esta contención, el tubo debe tener una cobertura de, al menos, 1.20 metros o igual al diámetro del tubo (según cuál sea mayor).

De acuerdo a la metodología AWWA, la presión externa que será capaz de soportar una determinada tubería instalada en zanja con un adecuado confinamiento por parte del relleno de la misma será:

$$P_A = \sqrt{32 \cdot R_b \cdot B' \cdot E'} \cdot \frac{E_i \cdot I}{D_m^3}$$

Donde:

- **PA:** Presión admisible de pandeo, en kPa.
- **HW:** Altura Napa freática sobre lomo tubería, en m.
- **T:** Relleno, en metros.
- **E':** Módulo resistente combinado del relleno, en kPa.
- **E:** Módulo de Creep del material de la tubería, en kPa.

• **I:** Momento de inercia de la sección de pared de la tubería, en mm<sup>4</sup>/mm

• **D<sub>m</sub>:** Diámetro medio de la tubería, en mm

• **R<sub>b</sub>:** Factor de Flotabilidad en Agua (adimensional):

$$R = 1 - 0,33 \frac{H_w}{T} \quad (\text{SI } 0 < H < T)$$

• **B':** Coeficiente Soporte Elástico (adimensional):

$$B' = \frac{1}{1 + 4 \cdot e^{-0,065 \cdot (T \cdot 3,28)}}$$

#### 4.3.2.1.2. Tubería No Confinada

Cuando la tubería se encuentra enterrada a menos de 1.20 metros o menos de un diámetro (según cuál sea el mayor), o bien cuando la ejecución del relleno de contención resulte deficiente, existe una gran posibilidad de que la contención del suelo de relleno no se desarrolle.

En este caso, lo más seguro será calcular la resistencia del tubo al pandeo suponiendo que el mismo no está confinado, para lo cual se recomienda la siguiente fórmula de cálculo:

$$P_A = \left( \frac{24}{1 - \mu^2} \right) \frac{E_i \cdot I}{D_m^3} \cdot F_0$$

Donde:

**μ:** Coeficiente de Poisson del material de la tubería.

**f:** Factor de compensación por deflexión. Este puede extraerse de la Figura 4.6, en función de la deflexión obtenida para la tubería

#### 4.3.2.2. Presión Total Externa

La presión total real externa (PT) a la que estará sometida la tubería deberá calcularse para cada caso particular, pero en general puede decirse que:

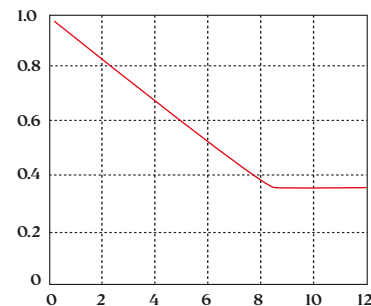


Figura 4.6. Factor de Compensación por Deflexión

- Cargas para análisis de Corto Plazo:

$$P_{T,CP} = P_E + P_L + P_W$$

- Cargas para análisis de Largo Plazo:

$$P_{T,LP} = P_E + P_W$$

- $P_{T,CP}$ : Presión total externa a la que estará sometida la tubería en el corto plazo, en kPa
- $P_{T,LP}$ : Presión total externa a la que estará sometida la tubería en el largo plazo, en kPa
- $P_E$ : Presión por peso del relleno de la zanja, en kPa
- $P_L$ : Presión por cargas vivas (tránsito vehicular), en kPa
- $P_W$ : Presión externa ejercida por el nivel freático, en kPa.  
 $P_W = 0,0098 \cdot \gamma_w \cdot H_w$
- $\gamma$ : Peso específico del agua, en kg/m<sup>3</sup>.
- $H_w$ : Altura Napa freática sobre lomo tubería, en m

### 4.3.2.3. Verificación Al Pandeo

La verificación finalmente consistirá en calcular el coeficiente de seguridad "N" al pandeo (tanto para la situación de corto plazo como para la de largo plazo) y verificar que éste sea mayor o igual al valor requerido por la normativa o especificaciones locales (por lo general se pide  $N \geq 2$ ), es decir:

CORTO PLAZO

$$N_{CP} = \frac{P_{A,CP}}{P_{T,CP}}$$

LARGO PLAZO

$$N_{LP} = \frac{P_{A,CP}}{P_{T,LP}}$$

#### IMPORTANTE

Una correcta aplicación de las fórmulas para la presión admisible ( $P_{A,CP}$  o  $P_{A,LP}$ ) de la tubería implica considerar el valor de  $E_i$  adecuado en cada caso:

- Para calcular  $P_{A,CP}$  el valor de  $E_i$  será el valor de corto plazo, es decir  $E_i = E_0$ .
- Para calcular  $P_{A,LP}$  el valor de  $E_i$  será el valor de largo plazo (por ejemplo  $E_i = E_{50}$ , para una vida útil de 50 años).

## 4.4. Ejemplo práctico

Supongamos que tenemos una tubería **NOVAFORT®** de diámetro nominal DN = 500 mm y rigidez anular SN4 (4 kN/m<sup>2</sup>) y que vamos a instalarla por debajo de un camino pavimentado de concreto, por el que circula tránsito pesado (del tipo ASSHTO H20), a una profundidad de 5 metros (respecto del extradós del tubo), en una zona de suelos limo/arcillosos con 4-8 golpes en el ensayo SPT y una densidad  $\gamma_s = 18$  kN/m<sup>3</sup>, y con un nivel freático ubicado a  $H_w = 1$  metro por debajo de la superficie.

A continuación se muestra cómo sería el procedimiento para hacer la verificación estructural.

### I. Definir el diseño de la zanja:

a. ANCHO DE ZANJA: suponiendo un equipo de compactación del suelo con un pie de 28.5 cm de ancho:

- $B \geq OD + A + 300\text{mm} = 500\text{mm} + 285\text{mm} + 300\text{mm} = 1085\text{mm}$
- $B \geq 1,25 \cdot OD + 300\text{mm} = 1,25 \cdot 500\text{mm} + 300\text{mm} = 925\text{mm}$

Adoptamos  $B = 1085$  mm

b. Para el relleno inicial, seleccionamos un suelo arenoso, con menos de 12% de finos, compactado al 90% de densidad Proctor Normal.

c. Para el relleno final, definimos utilizar el mismo suelo que se excave para conformar la zanja.

### II. Determinar las solicitaciones sobre la tubería:

a. Peso del relleno:

$$P_E = \gamma_s \cdot h_w + (\gamma_s - \gamma) \cdot (T - h_w) = 18 \text{ kN/m}^3 \cdot 1\text{m} + (18 - 10) \text{ kN/m}^3 \cdot (5 - 1)\text{m}$$

$$PE = 50 \text{ kPa}$$

b. Carga de tránsito:

De la Tabla 4.4, para un relleno de 5 metros, se tiene que  $PL < 4,7$  kPa. Por lo tanto, tomamos este valor, quedando del lado de la seguridad. Es decir:

$$PL = 4,7 \text{ kPa}$$

### III. Verificar la deflexión anular %:

$$\frac{\Delta y}{D_m} (\%) = \frac{K \cdot (T_L \cdot P_E + P_L)}{(8 \cdot SN + 0,061 \cdot E')} \cdot 100$$

### a. Coeficiente de Apoyo:

Suponemos  $\alpha = 90^\circ$ , por lo que, según la Tabla 4.7, se tiene  $K = 0,096$ .

**b. Factor de Deflexión Retrasada (TL):** tomamos  $TL = 1,5$  (valor conservador)

### c. Módulo de reacción del Suelo (E´):

De la Tabla 4.8:  $E' = 10800$  kPa

De la Tabla 4.9:  $EE' (1) = 13780$  kPa

De la Tabla 4.10:  $EE' (2) = 11024$  kPa (valor más conservador, para  $T = 4.5$  m)

Adoptamos  $E_b' = 11024$  kPa

### Calculamos:

$EN'/EE' = 10800$  kPa /  $11024$  kPa =  $0,98$

$B/OD = 1085$  mm /  $500$  mm =  $2,2$

De la Tabla 4.11,  $SC \sim 1$ , por lo tanto:

$E' = SC \cdot EE' = 1 \cdot 11024 = 11024$  kPa

### Aplicando la fórmula de Spangler:

$$\frac{\Delta y}{OD} (\%) = \frac{0,086 \cdot (1,5 \cdot 50 \text{ kPa} + 4,7 \text{ kPa})}{(8,4 \text{ kPa} + 0,061 \cdot 11024 \text{ kPa})} \cdot 100$$

$$\frac{\Delta y}{OD} (\%) = \frac{7,65}{704,5}$$

$$\frac{\Delta y}{OD} (\%) = 1,09 \% < 5 \% \text{ OK}$$

## IV. Verificar el Pandeo:

### a. Calculamos la resistencia al pandeo de la tubería (corto y largo plazo):

•  $R_b$ : Factor de Flotabilidad en Agua (adimensional):

$$H_w = T \cdot h_w = 5\text{m} - 1\text{m} = 4 \text{ m}$$
$$R_b = 1 - 0,33 \frac{H_w}{T} = 1 - 0,33 \frac{4}{5} = 0,736$$

•  $B'$ : Coeficiente Soporte Elástico (adimensional):

$$B' = \frac{1}{1 + 4 \cdot e^{-0,065 \cdot (T \cdot 3,28)}} = 0,42$$

• Resistencia al Pandeo, Corto Plazo:

$$P_{A,CP} = \sqrt{32 \cdot R_b \cdot B' \cdot E' \cdot SN}$$
$$P_{A,CP} = \sqrt{32 \cdot 0,736 \cdot 0,42 \cdot 11024 \text{ kPa} \cdot 4 \text{ kPa}}$$
$$P_{CA,CP} = 660,45 \text{ kPa}$$

• Resistencia al Pandeo, Largo Plazo:

$$\frac{E_{50} \cdot I}{D_m^3} = \frac{E_0 \cdot I}{2 \cdot D_m^3} = \frac{SN}{2}$$

Por lo tanto:

$$P_{A,LP} = \sqrt{32 \cdot R_b \cdot B' \cdot E' \cdot SN/2}$$
$$P_{A,LP} = \sqrt{32 \cdot 0,736 \cdot 0,42 \cdot 11024 \text{ kPa} \cdot 4 \text{ kPa}}$$
$$P_{CA,LP} = 467 \text{ kPa}$$

• Solicitaciones, Corto Plazo:

$$P_{T,CP} = P_E + P_L + P_W$$
$$= 50 \text{ kPa} + 4,7 \text{ kPa} + 10 \text{ kN/m}^3 \cdot 4 \text{ m}$$

$$P_{T,CP} = 94,7 \text{ kPa}$$

• Solicitaciones, Largo Plazo:

$$P_{T,CP} = P_E + P_L + P_W$$

$$P_{T,CP} = 50 \text{ kPa} + 10 \text{ kN/m}^3 \cdot 4 \text{ m}$$

$$P_{T,CP} = 90 \text{ kPa}$$

• Coeficientes de seguridad:

$$N_{CP} = \frac{660,45 \text{ kPa}}{94,7 \text{ kPa}} = 6,97 > 2 \text{ OK}$$

$$N_{LP} = \frac{467 \text{ kPa}}{90 \text{ kPa}} = 5,2 > 2 \text{ OK}$$

## 5. Transporte, manejo y almacenamiento

A continuación, se detallan todas las recomendaciones para un adecuado transporte, manipuleo y almacenamiento de los tubos **NOVAFORT®**. El objetivo final de estas recomendaciones es la preservación del estado de los productos, de manera de evitar daños que pudieran entorpecer o incluso impedir su instalación en obra, y están basadas en los lineamientos de las normas internacionales.

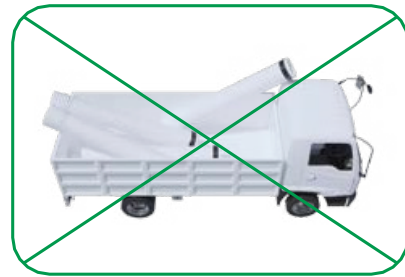
Antes que nada, es importante tener en cuenta que la resistencia al aplastamiento de tubos flexibles, cuando no están contenidos lateralmente (por ejemplo, con el suelo de relleno de la zanja) decrece, por lo que no serán capaces de resistir las mismas cargas que resistirían instalados adecuadamente en zanja.

Es por esto que todas las recomendaciones para el transporte, manipuleo y almacenamiento evitan la aplicación de cargas innecesarias sobre la tubería durante dichos procesos. Asimismo, las recomendaciones también incluyen medidas para proteger la seguridad del personal a cargo de estas tareas.

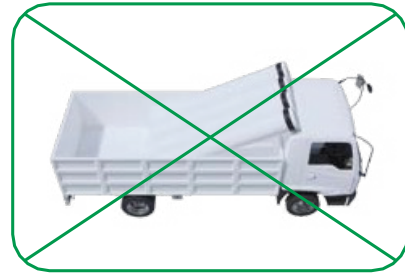
### 5.1 Transporte

Se deberán tener en cuenta las siguientes pautas para el transporte de los tubos **NOVAFORT®**:

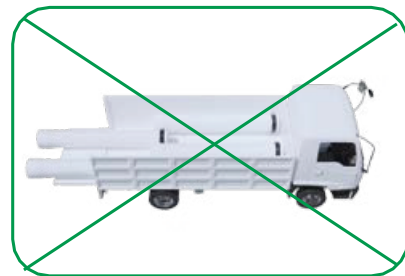
- A pesar de que las tuberías **NOVAFORT®** son livianas, se recomienda que, por lo menos, dos personas se encarguen de las operaciones de carga y descarga. Estas maniobras deberán hacerse con cuidado y los tubos no deberán arrojarse al suelo, someterlos a peso excesivo o golpearlos.
- Se podrá transportar a los tubos en camiones abiertos o cerrados, por medio del ferrocarril o en contenedores; pero siempre deberán colocarse sobre superficies planas y libres de objetos que puedan producir deformaciones o daños puntuales.
- Dentro del camión, los tubos deberán colocarse en forma ordenada, apoyados sobre la superficie horizontal y sin sobresalir del vehículo (Figura 5.1).
- Se deberá evitar colocar cualquier tipo de carga o material por encima de las tuberías.
- Deberá evitarse, en lo posible, la carga mixta. Si ésta es inevitable, la misma deberá acomodarse de manera que no se dañen los tubos, colocándose siempre los más pesados en la parte inferior.



NO



NO



NO

Figura 5.1. Colocación de las tuberías en el camión

- La primera camada de tubos deberá apoyarse sobre tarimas o tirantes de madera de no menos de 4" de ancho, con una separación entre ellas no mayor a 1,50 m. Adicionalmente, el espesor de la madera deberá impedir que la campana del tubo se apoye directamente sobre el piso. También podrán usarse tarimas de madera distribuidas en la misma forma (Figura 5.2).

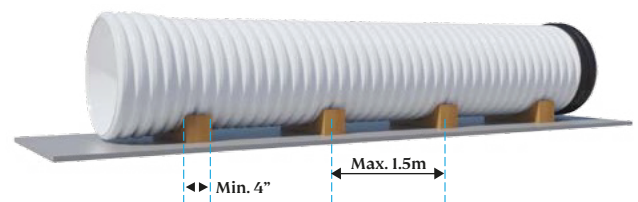
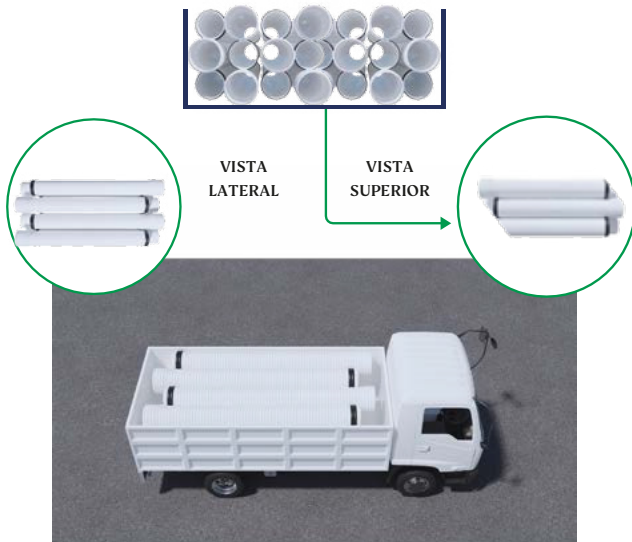


Figura 5.2. Apoyo sobre Tirantes de Madera

Los tubos deberán acomodarse en el camión alternando espigas y enchufes, dejando siempre libre la longitud total de éstos últimos para evitar aplastamientos y deformaciones. De esta forma se logra una mayor capacidad, mejor acomodo y mayor estabilidad de la carga (Figura 5.3).



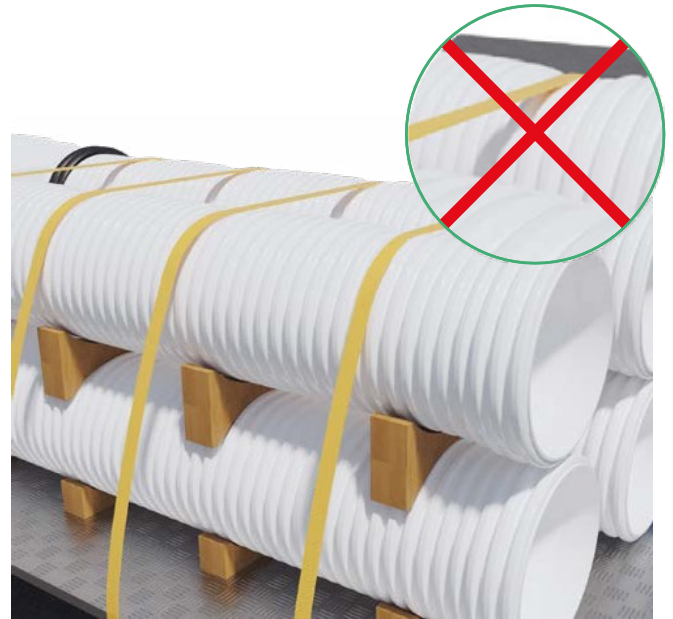
**Figura 5.3. Disposición alternada en el camión**

- ⦿ Con el objeto de aprovechar al máximo la capacidad del transporte y reducir los costos del flete, se podrán introducir tubos unos dentro de otros (carga telescópica o anidada), siempre y cuando sus diámetros y las sobrecargas ocasionadas sobre las filas inferiores lo permitan. En este caso, deberá tenerse cuidado durante la operación de colocar un tubo dentro del otro (o sacarlo), de manera de no dañar ninguno de los dos.
- ⦿ La altura del almacenamiento dentro del camión no deberá exceder los 2,50 mts.
- ⦿ Los tubos se deberán calzar con cuñas de madera, de manera de mantener su estabilidad, evitando el movimiento horizontal (Figura 5.4).



**Figura 5.4. Utilizar cuñas de madera**

Adicionalmente, se deberá sujetar la carga al vehículo utilizando correas o cuerdas flexibles, pero siempre teniendo cuidado de no producir deformaciones. No se deberán provocar protuberancias, áreas planas u otros cambios abruptos en la curvatura del tubo (Figura 5.5).



**Figura 5.5. No deformar los tubos con las sujeciones**

- ⦿ Cuando se transporte a largas distancias, y sobre todo en épocas calurosas, la carga deberá protegerse con algún tipo de cobertura.

En este caso, para evitar deformaciones debido a las altas temperaturas, se deberá dejar un espacio libre entre la cubierta y los tubos que permita la libre circulación de aire (Figura 5.6).



**Figura 5.6. Cobertura de la carga**

## 5.2. Descarga y manejo

La manipulación de las tuberías NOVAFORT® deberá hacerse teniendo en cuenta las siguientes pautas).

- La descarga de las tuberías del camión deberá realizarse en forma ordenada y con elementos adecuados, evitando arrojar o arrastrar las mismas.



Figura 5.7. No arrastrar las tuberías



Figura 5.8. Descarga del camión

- ⦿ Las tuberías no deberán arrastrarse ni golpearse (contra el suelo o con herramientas).
- ⦿ Cuando la carga o descarga se haga mediante la utilización de equipos, éstos deberán ser adecuados para levantar y mover los tubos, sin generar daños sobre éstos.
- ⦿ En el caso de utilizar elementos de izaje, éstos no deberán producir solicitaciones puntuales que puedan lastimar los tubos. Se recomienda el uso de eslingas de nylon, de lona, caucho, etc. Deberá evitarse el uso de cadenas, cables de acero u otros materiales que dañen la superficie de la tubería.
- ⦿ La forma adecuada de tomar el tubo mediante elementos de izaje es en 2 puntos, uno en cada extremo del mismo, a una distancia de los bordes igual a un cuarto de su longitud ( $1/4L$ ), como se muestra en la Figura 5.9.



Figura 5.9. Alzaje de la tubería

- ⦿ En el caso de diámetros grandes (iguales o mayores a 200 mm), para la descarga del camión es recomendable utilizar un auto elevador, que deberá poseer sus uñas protegidas con caucho. La cantidad de tubos a cargar en las uñas del auto elevador dependerá del largo de estas y de la capacidad de carga de la unidad.

## 5.3. Almacenamiento

Para almacenar las tuberías NOVAFORT®, se deberá tener en cuenta las siguientes recomendaciones:

- ⦿ El lugar elegido para el almacenamiento de los tubos deberá estar situado lo más cerca posible de la obra y a resguardo del tránsito. Se recomienda trasladar los tubos desde el almacenamiento a la zanja a medida que se utilicen.
- ⦿ La superficie del lugar para el Almacenamiento deberá tener una superficie nivelada y plana, limpia, libre de piedras, raíces o cualquier otro objeto que pueda dañar a la tubería
- ⦿ Los tubos deberán ser almacenados conservando su empaque original y evitando la acción de cargas puntuales que puedan dañar o deformar los mismos.
- ⦿ La primera camada de tubos deberá apoyarse sobre tarimas o tirantes de madera de no menos de 4" de ancho, con una separación entre ellas no mayor a 1,50 m (Figura 5.2). Adicionalmente, el espesor de la madera deberá impedir que el enchufe del tubo apoye directamente sobre el piso. También podrán usarse tarimas de madera distribuidas en la misma forma. Si no se poseen tarimas o tirantes de madera, se deberá realizar una pequeña zanja en la zona de los enchufes para que queden libres y no apoyen directamente sobre el piso.
- ⦿ La colocación de los tubos en las pilas de almacenamiento deberá ser alternada: un tubo con la espiga hacia un sentido y el de al lado con la espiga hacia el sentido contrario, continuando en este orden y cuidando de dejar libre la longitud completa del enchufe (Figura 5.10).



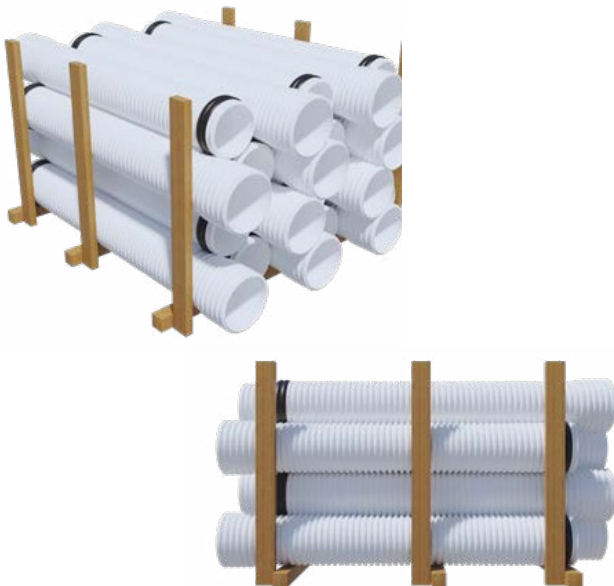
Figura 5.10. Almacenamiento alternado

- ⦿ Para evitar deformaciones, en las pilas de almacenamiento deberá evitarse el apoyo de las espigas de cada tubo en forma directa sobre el enchufe del tubo contiguo. En función de esto, y en caso de contar con suficiente espacio, la forma de almacenamiento más recomendada es la cuadrada, alternando tubos de una fila con tubos de la fila siguiente formando un ángulo de 90° entre sí, y con los enchufes desfasados, de manera de que no tengan contacto con otros tubos (Figura 5.11).



**Figura 5.11. Almacenamiento cuadrado**

- ⦿ Se recomienda que la altura de las pilas de almacenamiento sea de no más de 1,50 a 2,00 m para facilitar el manejo de los tubos al armar y desarmar las mismas.
- ⦿ En el caso de no contar con espacio y tener que recurrir a una pila de almacenamiento de filas paralelas, se requerirá la instalación de tirantes laterales para contener a los tubos, así como tirantes de madera entre camadas. Este tipo de almacenamiento será el más adecuado cuando se tenga poco espacio y se requiera almacenar la mayor cantidad posible de tubos (Figura 5.12).



La pila de almacenamiento piramidal (Figura 5.13) será práctica únicamente cuando se carezca de espacio suficiente y se tengan pocos tubos. En este caso será aún más importante la contención lateral de la fila inferior (mediante cuñas u otros métodos), de manera de evitar el desplazamiento horizontal de los tubos.



**Figura 5.13. Almacenamiento Piramidal**

- ⦿ Los anillos elastoméricos son degradados por el sol y deformados por el calor excesivo, por lo que deberán almacenarse en lugar fresco y cerrado.
- ⦿ Para evitar la decoloración de los tubos, si los mismos van a permanecer bajo la acción de los rayos solares por más de 30 días se recomienda almacenarlos bajo techo o brindarles una cubierta que evite la incidencia de la radiación ultravioleta.

En este caso, la cubierta siempre deberá quedar a una altura no menor a 40-50 cm por encima de los tubos en la fila superior para permitir la libre circulación de aire, pues de lo contrario se provocaría un aumento de temperatura que podría causar deformaciones no deseadas.

Por el mismo motivo, también se deberá evitar usar lonas plásticas o cubiertas flexibles directamente apoyadas en los tubos.



**Figura 5.14. Protección de radiación UV**

- ⦿ Se deberá cuidar que el peso de los tubos colocados en las filas superiores no genere deformaciones en las filas inferiores.
- ⦿ Se deberá consultar en caso de querer almacenar las tuberías en forma anidada.

## 6. Instalación en zanja

### 6.1. Comportamiento esperado

Como ya se mencionó, la tubería NOVAFORT® se comporta como una tubería flexible y, por lo tanto, las recomendaciones para su instalación son las que corresponden a aquellas, según veremos en los párrafos siguientes.

Las tuberías flexibles necesitan de un adecuado soporte o confinamiento por parte del relleno de la zanja, que será el que, en definitiva, resistirá las cargas externas aplicadas sobre la conducción.

Por lo tanto, la construcción del paquete estructural alrededor del tubo resultará fundamental para asegurar una adecuada performance tubo-zanja en el resultado final de la obra, restringiendo las deformaciones de la tubería dentro de los valores admitidos por las normas internacionales.

A continuación, se detallan las recomendaciones para una adecuada instalación de la tubería, basadas en las normas internacionales más reconocidas.

### 6.2. Excavación de la zanja

#### 6.2.1. Medidas de seguridad

La excavación deberá realizarse de manera segura, manteniendo en todo momento la estabilidad lateral de las paredes de la zanja, a través de la inclinación o los soportes que se indiquen en las normas de seguridad nacionales.

Sólo podrá excavar la longitud de zanja que pueda ser contenida con el equipamiento disponible y se deberá rellenar la zanja tan pronto como se pueda, no dejándola abierta, en lo posible, por un tiempo mayor a una jornada de trabajo.



Figura 6.1. Entibado de la zanja

En el caso de entibar la zanja con sistemas como tablestacas o pantallas, se deberá asegurar de mantenerlos durante la instalación de la tubería. En general, se recomienda dejar los soportes dentro o debajo de la zona de la tubería, de manera prevenir las pérdidas en el soporte del relleno que pueden ocurrir cuando estos elementos se remueven. En ese caso, si se requiere eliminar la parte superior del entibado, se recomienda cortar la parte superior a, por lo menos, 50 cm por encima del extradós del tubo.

En el caso de usar soportes móviles, que se van moviendo conforme avanza la excavación a lo largo de la traza de la conducción, será importante que en el movimiento no se altere a la tubería ni al material de soporte de esta. Por este motivo, los soportes móviles no deberán colocarse por debajo del nivel del extradós del tubo, a menos que se utilice una metodología de trabajo que asegure la integridad del material de confinamiento de la tubería (rellenando los vacíos dejados por los ademes removidos y compactando el material hasta la densidad requerida).

En todos los casos, la estructura de soporte deberá ser hermética, de manera de evitar el lavado de las paredes de la zanja por detrás de la misma.

#### 6.2.2. Profundidad de zanja

La profundidad de la zanja se calculará mediante la aplicación de la fórmula siguiente:

$$H = T + a + DE$$

Donde:

- **H** = profundidad total de la zanja, medida desde el nivel del suelo.
- **T** = Relleno por encima del nivel superior del tubo (extradós) hasta el nivel del suelo
- **a** = espesor de la cama de asiento por debajo del tubo
- **D<sub>E</sub>** = diámetro externo de los tubos a instalar

### 6.3. Control de aguas

Todos los trabajos en la zanja (excavación, colocación del tubo, relleno) deberán realizarse en condición SECA, es decir, sin presencia de agua. Para esto se deberán utilizar métodos para evitar el ingreso de agua en la zanja antes, durante y después de la instalación de la tubería, hasta que el relleno esté completo y se haya colocado suficiente material para prevenir que el tubo flote.

#### 6.3.1. Napas Subterráneas

En todo momento se deberá mantener el nivel freático 500 mm por debajo de los cimientos de la tubería, de manera de asegurar una base estable para la zanja. Para esto podrán utilizarse diversas metodologías (bombas, pozos, pozos profundos, geotextiles, subdrenes), pero siempre cuidando de no perder el confinamiento del suelo alrededor de la tubería (minimizando la migración de partículas).

## 6.3.2. Aguas Escurriendo

Se deberá evitar cualquier flujo de agua a lo largo o a través de la zanja. Para esto se podrán hacer diques, cortes u otras barreras en la zanja durante la instalación.

## 6.4. Fondo de zanja

En el caso en el que, al excavar la zanja, se encuentre que el material encontrado en el fondo de la misma es de buena capacidad portante, se recomienda alterarlo lo menos posible. De todas maneras, el fondo de la zanja deberá prepararse para la colocación de la cama de asiento y, para esto, deberán realizarse las siguientes tareas:

- Se removerá el afloramiento de rocas de tamaño superior a 30 mm, terrones de suelo, suelo congelado, suciedad u otros materiales no aptos.
- Se alisará el fondo hasta obtener una superficie plana y lisa.
- En condiciones de congelamiento, se protegerá el fondo de zanja de manera tal que ninguna capa congelada entre en contacto con la tubería

Cuando el fondo de la zanja se presente inestable (arenas movedizas, suelo pantanoso, material orgánico, arcillas expansivas) o presente muy baja capacidad portante, se deberá sobre excavar en una determinada profundidad (a especificar por el proyectista o especialista en geotecnia, pero que no será menor a 300 mm) y construir una fundación, colocando suelo seleccionado (de acuerdo a las especificaciones de la Tabla 6.1) o bien materiales estabilizados con cemento o cal.

Para condiciones severas el ingeniero puede requerir de una cimentación especial, tal como el uso de pilotes o tablestacas.

También se puede lograr controlar los fondos inestables de zanjas mediante el uso de geosintéticos apropiados.

**tabla 6.1. Colocación y compactación del material de fundación**

Clase de suelo	I SC1	II SC2 A1,A3	III SC3 A-2-4,A-2-5 A-2-6,A-4,A-6	IV SC4 A-2-7, A-4,A-6
Colocación suelo de fundación	Se instalan y compactan en capas con espesor máximo de 300 mm		Se instalan y compactan en capas con espesor máximo de 150 mm	

## 6.5. Cama de asiento

### 6.5.1. Materiales

Como ya se mencionó, la cama de asiento consiste en una capa de material granular (grava, arena) compactado, de no menos de 10 cm de espesor (ver Tabla 6.2), colocada en el fondo de la zanja. El material de la cama de asiento deberá estar libre de piedras, material congelado, humus o terrones de limo o arcilla, residuos de plantas, suciedad o cualquier tipo de material punzante.

Además, el tamaño máximo admitido para será según las especificaciones de la Tabla 6.3.

**Tabla 6.2. Espesor mínimo de la cama de asiento**

Rango de diámetros nominales dn	Espesor de la cama de asiento(1)
DN ≤ 400 y condiciones normales(2) de fondo de zanja	100
DN > 400 y/o terreno con rocas y aristas	150

1 Ver Figura 4.1

2 Fondo de zanja libre de rocas, materiales punzantes, escombros, piedra partida, entre otros.

**Tabla 6.3. Tamaño de partícula máximo para la cama de asiento**

Rango de diámetros nominales, dn	Tamaño max. de partícula (mm)
DN < 450	13
450 ≤ DN ≤ 600	19
600 < DN ≤ 900	25
900 < DN ≤ 1200	32
DN > 1200	38

## 6.5.2. Colocación

La cama de asiento deberá ser conformada siguiendo la pendiente longitudinal especificada para la tubería en cada proyecto, de manera que, al apoyar la misma quede prácticamente nivelada (debiendo realizar sólo ajustes menores).

El material deberá colocarse con cuidado en todo el ancho de zanja, compactándolo hasta una Densidad Proctor Normal de no menos del 85%.

Como la función de la Cama de Asiento es la de proveer un soporte firme y uniforme al tubo (evitando la generación de tensiones localizadas sobre el mismo y evitando asentamientos diferenciales de relevancia a lo largo de su recorrido), su correcta instalación es fundamental para la futura performance de la tubería.

## 6.6 Colocación y acople de la tubería

### 6.6.1. Colocación

Una vez conformada la cama de asiento, y una vez alisada su superficie, se procederá a bajar la tubería hasta apoyarla sobre la misma.

Aquí, el manipuleo de la tubería deberá hacerse de la misma manera que se especificó en el capítulo 5.2, tomando al tubo por 2 puntos, uno en cada extremo del mismo, a una distancia de los bordes igual a un cuarto de su longitud (1/4.L), tal como se muestra en la Figura 6.2.



**Figura 6.2. Manipuleo en zanja**

Una vez que el tubo esté en el fondo de la zanja, deberá prestarse especial atención a la forma en la que el mismo se apoye sobre la cama de asiento. Una premisa muy importante, para que la cama de asiento cumpla su objetivo, es que el tubo deberá descansar sobre la misma en la totalidad de su longitud, sin que haya espacios vacíos entre la superficie superior de la cama y la tubería en ningún punto.

Para esto, a la altura de los enchufes de la tubería se deberá realizar un hueco en la cama de asiento, de manera de que la parte que sobresale descansa sobre dicho hueco, posibilitando de esta manera que el cuerpo del tubo apoye en toda su longitud (Figura 6.3).



**Colocación incorrecta**



**Colocación correcta**

**Figura 6.3. Apoyo del tubo sobre la cama de asiento**

## 6.6.2. Acople

En general, los tubos NOVAFORT® salen de fábrica con los anillos elastoméricos ya colocados en la espiga de los mismos y protegidos con film.

En el caso eventual de que sea necesario colocar el anillo en la obra (ya sea porque el tubo no posee, porque el anillo original se dañó o porque se cortó la tubería en un punto intermedio) se deberán tener las siguientes precauciones (independientemente del tipo de aro a instalar):

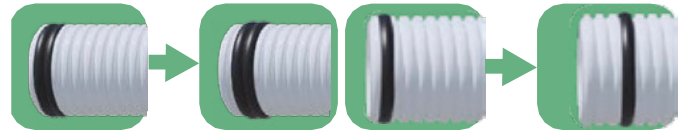
- I. Colocar el anillo con los labios apuntando siempre hacia la campana del mismo tubo.
- II. Colocar el anillo alojándolo en el segundo valle de la corruga, contando desde el extremo del tubo.

En la Figura 6.4 puede observarse el modo de colocación para dos tipos de anillos posibles del sistema.



**Figura 6.4. Colocación de Anillo Elastomérico**

En el caso de acoplar un tubo NOVAFORT® a un accesorio del tipo ramal inyectado, deberá correrse el anillo elastomérico en la espiga del tubo del segundo al tercer valle de la corruga.



Adicionalmente, si el accesorio posee anillos elastoméricos en sus extremos hembra, los mismos no deberán ser removidos.

A continuación, se procederá al ensamble del tubo, con los ya instalados en la zanja. Este se efectuará mediante el acople de la espiga (macho) de un tubo con el enchufe (hembra) del otro mediante el siguiente procedimiento:

- I. Se verificará que los extremos de los elementos a unir presenten un corte recto, perpendicular al eje longitudinal, libre de rebabas y deformaciones.

- II. Con tela o estopa limpia y seca, se limpiarán las superficies a unir: interior del enchufe, exterior de la espiga y el anillo elastomérico. Se deberá prestar especial atención a la correcta limpieza de la zona del alojamiento del aro de goma, pues cualquier basura que quede retenida en ese lugar hará que el anillo no asiente perfectamente, ocasionando inconvenientes en el armado de la junta y/o prueba hidráulica y/o servicio. (Figura 6.5)

III. Con un marcador, se realizará una marca sobre la espiga indicando la profundidad de inserción, es decir el punto hasta el cual deberá llegar el extremo exterior de la campana durante el acople.



Figura 6.5. Limpieza de espigas y campanas

IV. Si no está ya puesto, se colocará el anillo en uno de los valles la espiga (en general, en el segundo valle desde el extremo), repasándolo en forma manual para asegurar que quede apoyado perfectamente.

V. Se aplicará lubricante sobre el anillo y en la superficie interior de la campana, ya sea con estopa, trapo o pincel. Se utilizará lubricante recomendado o, en su defecto, se usará pasta jabonosa. No se deberán utilizar grasas minerales, pues pueden atacar al compuesto del anillo elastomérico.



Figura 6.6. Colocación de Lubricante

VI. Se introducirá la espiga dentro de la campana, cuidando de que no ingrese, en la zona de la unión, suciedad o material del relleno de la zanja, y dejando una separación de 1,5 a 2,0 cm del fondo del enchufe. Esta separación es necesaria para que el tubo tenga libre movimiento en sentido longitudinal por dilataciones o contracciones debido a cambios de temperatura ambiente o de los líquidos a conducir.

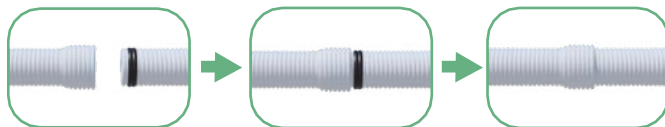


Figura 6.7. Acople de Tuberías

VII. Los tubos se acoplarán alineados, evitando tomar ángulos entre el extremo de un tubo con el extremo del otro.

Para realizar la unión, se podrá utilizar una barreta de hierro de aproximadamente 1,5 m a 2,0 m de longitud. Para esto, se clavará la barreta firmemente en el fondo de la zanja e, interponiendo un taco de madera entre ella y la boca de la campana del tubo, se practicará una palanca para empujar al mismo, acoplándolo con el siguiente.

El acople también podrá realizarse mediante otros sistemas, siempre de fuerza controlada, como fajas teladas con tiracables, aparejos a cadena, gatos o malacates, pero siempre cuidando de no dañar las tuberías.

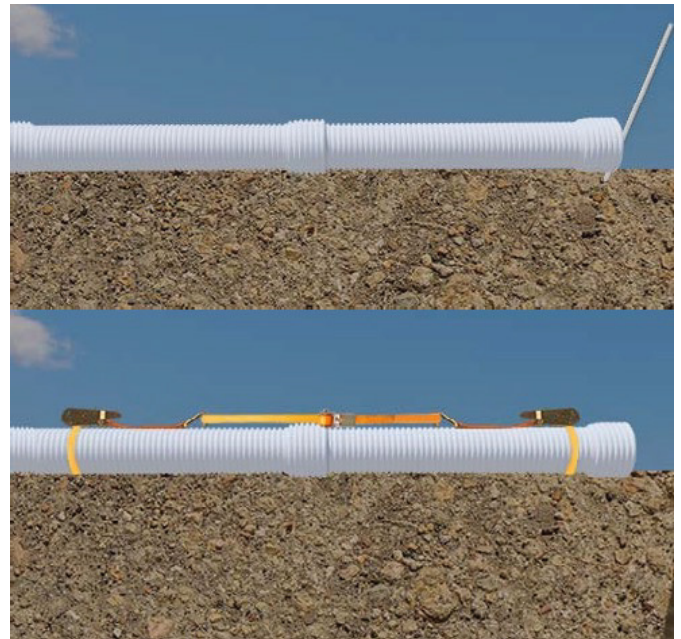


Figura 6.8. Métodos de Acople

No se aconseja el encastre mediante empuje con el balde de la retroexcavadora.

### 6.6.3. Nivelación

Como ya se mencionó, la superficie superior de la cama de asiento deberá poseer la pendiente especificada en el proyecto para la tubería. Por lo tanto, una vez apoyada y acoplado el tubo, sólo deberá realizarse sobre el mismo un ajuste fino en el nivel del extremo contrario al acoplado. Para esto, se nivelará dicho extremo y se procederá al agregado (o remoción, según corresponda) de material de apoyo, hasta llegar al nivel deseado.

### 6.7. Relleno inicial

A continuación, se deberá colocar el relleno alrededor de la tubería, entre la cama de asiento y hasta una altura "h" por encima del extradós del tubo. El valor de "h" será, como mínimo, de 150 mm, o la mitad del diámetro nominal (DN/2) del tubo (lo que sea mayor), y, como máximo, de 300 mm.

La calidad y compactación de este relleno deberá ser en la obra acordes a las previsiones del proyecto, por lo que será muy importante colocar el tipo de suelo recomendado por el ingeniero a cargo y compactarlo hasta la densidad Proctor especificada.

Es importante reiterar que este relleno alrededor del tubo, llamado relleno “inicial” o de “contención”, es la pieza fundamental en el desempeño estructural del conjunto tubo-zanja ante las solicitaciones externas, con lo cual su adecuada colocación y compactación son la clave para la calidad final de la instalación.

## 6.7.1. Requisitos del Material

Además de las ya mencionadas características a tener en cuenta para este relleno inicial de la zanja, el suelo seleccionado para el conformar el mismo deberá ser tal que:

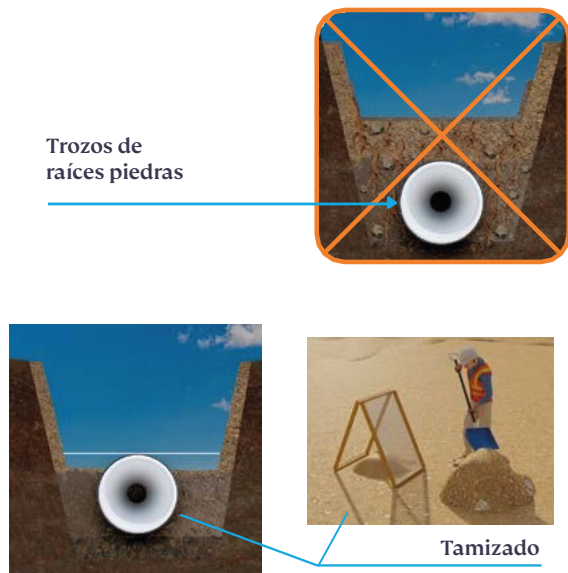


Figura 6.9. Cuidados en la selección del suelo del relleno inicial

- ④ Satisfaga los requerimientos solicitados por el proyectista en el cálculo estructural de las tuberías.
- ④ Sea compactable.
- ④ En el caso de suelos con drenaje restringido (Clase III, Clase IV y algunos Clase II en el límite), tenga un contenido de humedad en el orden de 3% del óptimo (medido de acuerdo con ASTM D698).
- ④ Para tubos DN < 900 mm, el tamaño de las partículas no supere los 11 mm.
- ④ No contenga terrones de suelo de tamaño superior a 2 veces el tamaño máximo de las partículas.
- ④ No contenga material congelado ni material orgánico, ni desperdicios (raíces de vegetación, gomas, botellas, metales, etc).

Cumplir con estos requisitos podrá demandar trabajos de limpieza y/o tamizado de los materiales disponibles.

Adicionalmente, el material del acostillado se colocará y apisonará adecuadamente, previo a la colocación del resto del relleno inicial. La compactación deberá ser manual, utilizando una madera, pala u otro dispositivo, que permita empujar y colocar el material de manera de rellenar todos los espacios, asegurándose de que no queden huecos (ver Figura 6.10).

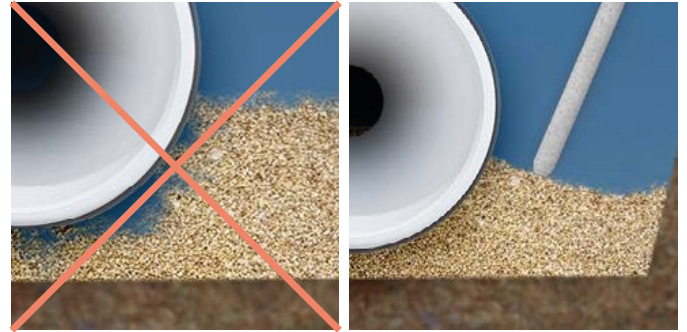


Figura 6.10. Cuidados en la colocación del relleno en el acostillado

## 6.7.2. Colocación del Relleno

Para la colocación del relleno de contención deberán seguirse las siguientes pautas:

- ④ Utilizar técnicas y equipos de compactación que sean compatibles con el material utilizado y con el espacio disponible dentro de la zanja. El equipo de compactación no deberá tocar o dañar la tubería.
- ④ Colocar el suelo de relleno, simultáneamente a ambos lados de la tubería, en capas, compactándolo con precisión, hasta alcanzar los niveles de densidad especificados en el proyecto y cuidando que, durante el proceso, la tubería no se mueva. Este proceso se repetirá hasta alcanzar con las capas el nivel del extradós de la tubería.
- ④ El espesor de las capas en las que se debe colocar el relleno y la cantidad de pasadas con el equipo de compactación dependerán del tipo de material y de la metodología utilizada. En la Tabla 6.4 pueden verse los valores recomendados.

En el caso de utilizar suelos Clase III ó SC3, deberán tomarse precauciones para su compactación, controlando el contenido de humedad, de manera de lograr la densidad requerida con un esfuerzo de compactación y equipos razonables. Para esto, el contenido de humedad deberá mantenerse dentro del nivel óptimo  $\pm 3\%$  (de acuerdo a ASTM D698). Si no se mantiene este nivel de humedad, lo más probable es que la tubería presente ovalizaciones excesivas una vez instalada.

La utilización de suelo Clase IV ó SC4 no se recomienda para su uso como material de relleno de contención. Si se lo va a utilizar de todas maneras, deberán cumplirse las siguientes pautas:

- ⦿ Que el material presente LL<50.
- ⦿ Que se asegure un módulo resistente similar o superior al especificado en el proyecto.
- ⦿ Que durante su colocación y compactación, el contenido de humedad se mantenga dentro del nivel óptimo  $\pm 3\%$  (de acuerdo a ASTM D698).

- ⦿ Que no sea utilizado en instalaciones con fundaciones inestables o con agua permanente en la zanja.
- ⦿ Que se compacte en capas de 100 a 150 mm, con un compactador de impacto o neumático.
- ⦿ Que se realicen ensayos de compactación periódicamente para corroborar que se logró la densidad requerida.

Una vez alcanzado el extradós de la tubería, se adicionará material de relleno en cada flanco hasta completar una altura  $h_r = DN/2$  (mínimo: 150 mm; máximo: 300 mm) y compactar (ver Figura 6.11).

**Tabla 6.4. Espesores de capas de compactación recomendados**

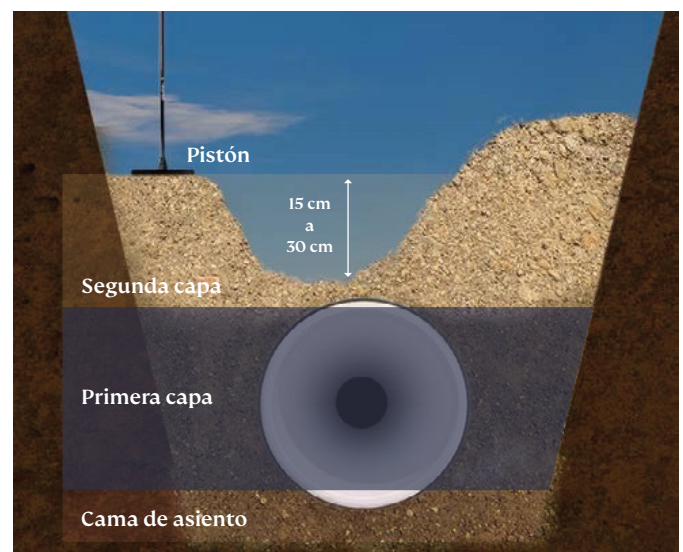
Equipo de compactación	Número mínimo de pasadas	Espesor máximo de capa después de compactación (mm)			
		SC1 I	SC2 II A1,A1	SC3 III A-2-7, A-2-5 A-2-6, A-4, A-6	SC4 IV A-2-7, A-4, A-6
Apisonado: Carga mínima: 15 Kg	3	300	150	100	100
Apisonado por vibración Carga mínima: 40 Kg	3	-	300	200	150
Placa vibrante					
Carga mínima: 50 Kg	4	-	100	-	-
Carga mínima: 100 Kg	4	-	150	-	-
Carga mínima: 200 Kg	4	-	200	100	-
Carga mínima: 400 Kg	4	-	300	150	100
Carga mínima: 600 Kg	1,45	-	400	200	150

**NOTA 1.** Para equipos de mayor porte se recomienda consultar con el proyectista de la obra

**NOTA 2.** Siempre que el cálculo estructural lo permita, se pueden utilizar dispositivos de compactación manual de hasta 15 Kg en suelos SC1 y SC2. Se recomienda espesor máximo de capa de 150 mm y no menos de tres pasos.

De esta forma se provee de apoyos laterales firmes y se disminuyen las deformaciones de la tubería causadas por las cargas del suelo.

- ⦿ Por último, se colocará material de relleno por encima del extradós del tubo, sin compactar, hasta igualar con los laterales.
- ⦿ En todos los casos, la densidad de compactación del relleno inicial deberá ser la establecida en la memoria de cálculo estructural de la tubería, aunque se recomienda que nunca sea menor que los valores establecidos en la Tabla 6.5 para cada tipo de suelo.



**Figura 6.11. Compactación de capas en los laterales del tubo**

**Tabla 6.5. Densidad Proctor Mínima requerida para cada tipo de suelo**

	Clase de suelo (ASTM)			
	I	II	III	IV
Densidad Proctor Normal mínima	85%	85%	90%	95%

## 6.8. Relleno final

El material para realizar este relleno deberá ser libre de piedras grandes, aglomerados, escombros, material orgánico o cualquier otro material de tamaño mayor a 200 mm. En caso de cumplir con estos requisitos, podrá utilizarse el suelo proveniente de la excavación de la zanja.

El relleno se colocará también en capas, compactando cada una a la densidad especificada en el proyecto

En el caso de la primera capa, se deberán tomar precauciones para la compactación del suelo por encima de la tubería, evitando impactar sobre la misma. Para esto, el espesor de esta capa no deberá ser menor a 150 mm o al valor especificado en la Tabla 6.6 (en función del equipo de compactación a utilizar).

**Tabla 6.6. Cobertura mínima para compactar encima del tubo**

Mesa de equipo m_(eq) (Kg)	Cobertura mínima del tubo (mm)	
	Apasionado	Vibrado
m_eq<50	-	-
50≤meq<100	250	150
100≤meq<200	350	200
200≤m <500	450	300
500≤m <1000	700	450
1000≤meq<2000	900	600
2000≤m <4000	1200	800
4000≤meq<8000	1500	1000
8000≤meq<12000	1800	1200
12000≤m <18000	2200	1500
Rodillo punta de diamante meq<500		500
Pata de cabra meq<500		500

Adicionalmente, se deberá asegurar una cobertura mínima sobre la tubería antes de permitir el paso de vehículos y/o equipo de construcción pesado sobre la zanja. Este relleno dependerá del tipo de suelo utilizado (ver Tabla 6.7).

Una vez colocado este relleno, deberá prestarse especial atención a la remoción de los tablestacados (en caso de existir) y se deberá controlar que la deflexión anular vertical que sufrió la tubería no exceda el 3% .

**Tabla 6.7. Relleno mínimo en tráfico de vehículos o equipos pesados**

Tipo de suelo	Relleno mínimo
SC1	600 mm ó DN (el que sea mayor)
SC2, SC3 y SC4	900 mm ó DN (el que sea mayor)

## 6.9. Consideraciones especiales

De manera complementaria a todo lo expuesto, existen otras consideraciones muy importantes a la hora de la instalación de cualquier tipo de tuberías, que deberán ser tenidas en cuenta. Entre otras, se pueden mencionar las siguientes:

### 6.9.1. Migración de finos

Cuando se coloca material granular y de granulometría abierta junto a material fino, éste último puede migrar dentro del material más grueso debido al gradiente hidráulico del caudal de agua subterránea. La experiencia de campo muestra que la migración puede resultar en una pérdida significativa del soporte de la tubería y, por lo tanto, en el aumento de las deformaciones.

Para prevenir la migración de finos en los espacios del material más grueso bajo un gradiente hidráulico, la graduación y el tamaño relativo de las partículas del relleno de la zanja y el del material natural de la zona deberán ser compatibles. Para esto, deberá utilizarse el siguiente criterio de graduación de las partículas (especificado por las norma ASTM D2321):

- ⦿ D15/d85 < 5; siendo D15 el diámetro de la malla del tamiz por el que pasa el 15% del material más grueso y d85 el diámetro de la malla del tamiz por el que pasa el 85% del material fino.
- ⦿ D50/d50 < 25; siendo D50 el diámetro de la malla del tamiz por el que pasa el 50% del material más grueso y d50 el diámetro de la malla del tamiz por el que pasa el 50% del material fino. Esta condición puede no ser aplicada si el material más grueso está bien graduado. Si el material más fino es una arcilla medianamente o altamente plástica sin contenido de arena o limo (CL o CH) entonces, para el criterio de D15/d85 deberá cumplirse adicionalmente que D15 < 0,5 mm.
- ⦿ Cuando no exista otra alternativa que usar materiales incompatibles, éstos deberán estar separados por un filtro de piedra o bien una tela filtrante (geotextil no tejido), que deberá tener una durabilidad igual o superior a la vida útil de la tubería. Figura 6.12.

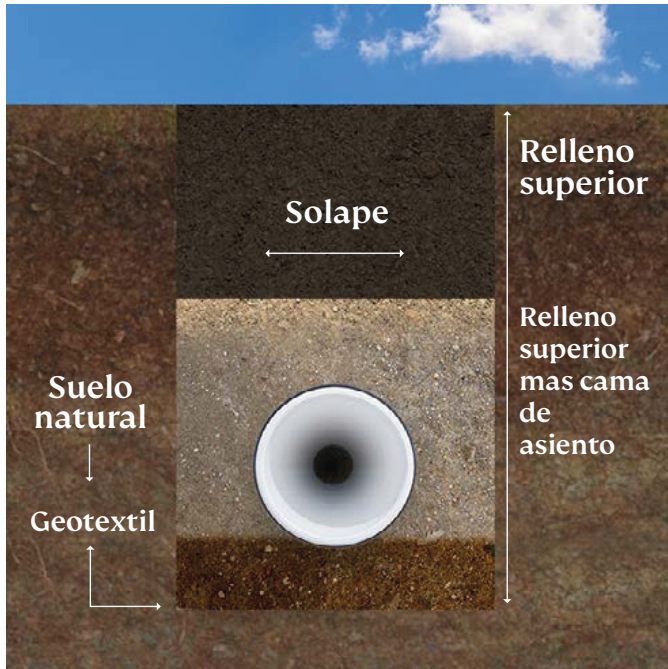


Figura 6.12. Colocación de geotextil para prevenir migración de finos

- El Geotextil deberá rodear completamente la cama de asiento y el relleno de contención y deberá doblarse por encima de la zona del tubo, solapándose ambos extremos en un ancho mínimo (si se sueldan los extremos solapados, el ancho mínimo será de 30 cm; sino, deberá incrementarse a 50 cm).

## 6.9.2. Prevención del Fenómeno de Lavado del Relleno

En caso de preverse flujos de agua subterráneos en la zanja, deberán tomarse precauciones especiales para evitar la erosión del suelo de relleno (lo que podría provocar vacíos en el material de contención, con la consecuente desestabilización a la tubería).

Una posible solución será diseñar y construir un sistema de drenajes que desvíen el flujo subterráneo y eviten que el mismo pase a través de la zanja.

El uso de Geotextiles envolviendo al relleno de contención y la cama de asiento también ayudará a mitigar el problema, aunque no será la solución definitiva.

## 6.9.3. Prevención de la Flotación de la Tubería

En casos donde se anticipe que el nivel freático pueda estar, en algún momento, por encima del nivel del fondo de zanja, se deberá prever un relleno mínimo para prevenir la flotación del tubo.

El valor de dicho relleno surge del análisis de equilibrio entre la fuerza de empuje ejercida por el agua sobre la tubería versus el peso del suelo por encima de la misma, es decir:

$$V \cdot \gamma = T \cdot OD \cdot \gamma' \cdot L + W_t$$

Donde:

T: Relleno, en metros.

V: Volumen del tubo, calculado en función de su diámetro exterior (OD), en m<sup>3</sup>.

$\gamma$ : Peso específico del agua, en kg/m<sup>3</sup>.

L: Longitud del tubo.

$\gamma'$ : Peso específico del suelo (valor sumergido o húmedo, de acuerdo con el nivel de la napa), en kg/m<sup>3</sup>

W<sub>t</sub>: Peso del tubo, en kg.

## 6.9.4. Instalación de tuberías en paralelo

Si se colocan los tubos en paralelo (Figura 6.13), se requerirá una cantidad mínima de relleno compactado entre los mismos, con el mismo grado de compactación que el del relleno de las paredes laterales de la zanja, de manera de asegurar el confinamiento previsto en el cálculo para ambos tubos.

La distancia entre los dos tubos (L<sub>t</sub>) deberá ser suficiente como para permitir el paso de un equipo de compactación adecuado, dejando una distancia a cada lado del equipo de, como mínimo, 150 mm, y nunca deberá ser menor que:

$$L_t = 300 \text{ mm, para DN} < 600 \text{ mm}$$

$$L_t = \frac{D_1 + D_2}{2}, \text{ para DN} > 600 \text{ mm}$$

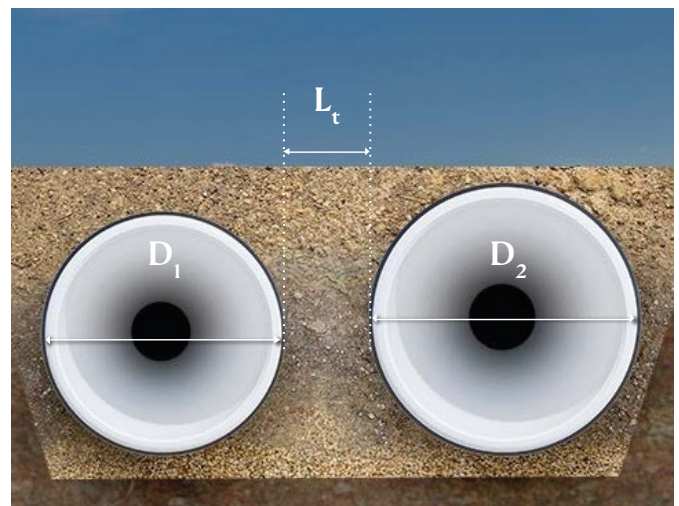


Figura 6.13. Separación de 2 tubos paralelos al mismo nivel

En el caso de tubos instalados en una zanja en escalera (por ejemplo, en el caso de que el tubo NOVAFORT® comparta zanja con un tubo de agua) la distancia mínima entre ambos será L<sub>t</sub> = 600 mm. Figura 6.14

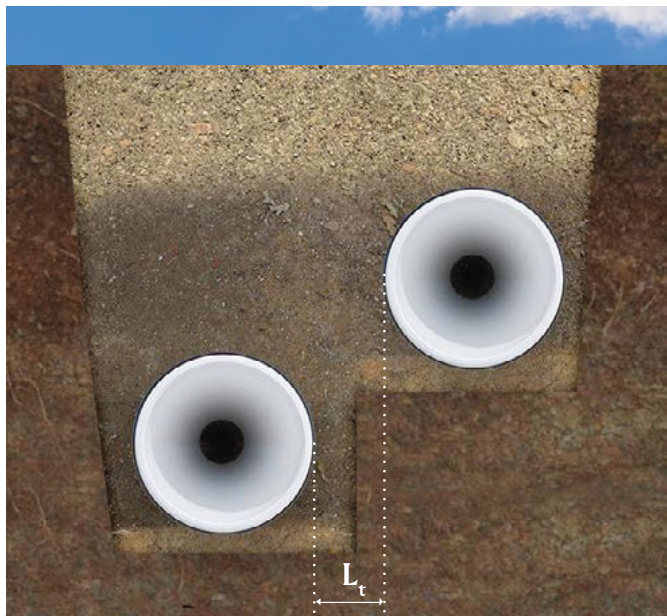


Figura 6.14. Separación de 2 tubos paralelos en zanja en escalera

### 6.9.5. Usode Materiales Cementicios o Rígidos para el Relleno Inicial

A veces, cuando el suelo natural es muy malo, resulta más económico mezclar este suelo con materiales de estabilización (suelo-cemento, suelo-cal, etc), que importar suelo seleccionado de otro lugar para conformar el relleno inicial. Esto puede hacerse, pero deberá tenerse en cuenta lo siguiente:

- a) Al quedar confinada por un material rígido, se pierde la interacción tubo-zanja y, por lo tanto, la tubería deja de comportarse como flexible. En función de esto, no será aplicable la metodología de Cálculo Estructural desarrollada en el ítem.
- b) El relleno se colocará en capas controladas, evitando la flotación de la tubería (por lo general, también hará falta el apuntalamiento de la misma).
- c. Se deberá esperar a que se complete el fraguado del material antes de continuar con el relleno superior.
- d. En el caso de nivel freático por encima del nivel de fondo de la zanja, éste deberá mantenerse deprimido hasta que el material de relleno termine de fraguar o adquiera una resistencia suficiente como para soportar los empujes del agua.
- e. El hecho de que el material de relleno sea rígido no necesariamente significa que sea impermeable. Debido a esto deberá preverse una eventual acción de la presión hidrostática del agua sobre las paredes de la tubería en caso de niveles freáticos altos, aún una vez finalizada la instalación.

### 6.9.6. Instalaciónala Intemperie

Cuando la tubería instalada va a quedar expuesta a la radiación solar, debe cubrirse con un techo opaco o protegerse con una pintura que cumpla con las siguientes características:

No debe necesitar solvente ni tener base thinner ya que esta sustancia no se comporta bien con el PVC-U.

Debe tener un componente reflectivo, como aluminio o similar.

Debe asegurarse la adherencia al PVC-U con la aplicación directa o a través de la aplicación de un “primer”. Una de las formas de preparar la superficie es lijando suavemente en seco, limpiando con limpiador adecuado antes de aplicar la pintura.

## 6.10. Conexiones

### 6.10.1. Conexiones Domiciliarias a Través de “Silletas”

Cuando se quiere realizar una derivación sobre una tubería ya instalada, se puede recurrir a la utilización de una “Silleta” o “Ramal Postizo”. Éstos poseen derivaciones a 45° o a 90° (según corresponda) y el kit incluye todos los elementos necesarios para un correcto acople a la tubería **NOVAFORT®**

Se ofrecen diferentes tipos de kits, según las necesidades locales (consultar con la oficina técnica de Wavin en su país), pero en general incluyen:

- a) Ramal Postizo de PVC-U o “Silla”
- b) 2 Abrazaderas
- c) Goma Nervurada o Sellador



Figura 6.15. Opciones de Ramal Postizo

La instalación podrá realizarse de dos maneras, según el material a utilizar para materializar el sello hidráulico entre el ramal y el tubo (Goma o Sellador)

### 6.10.2 Instalacióncon Goma Nervurada

- I. Colocar el ramal o la goma sobre el tubo y marcar el contorno.



Figura 6.16 Marcar el contorno

II. Perforar el tubo siguiendo la marcación realizada en el paso 1. Al finalizar, retirar la pieza cortada y eliminar las rebabas que pudieron haber quedado del corte.



Figura 6.17. Perforar

III. Limpiar la superficie externa del tubo (alrededor de la zona perforada) y la superficie interna del ramal. Luego colocar la goma con las estrías hacia abajo (colocándose en los valles de la pared del tubo).

IV. Colocar el ramal postizo sobre el tubo, teniendo cuidado de que quede centrada la zona perforada sobre la derivación del ramal.



Figura 6.19. Colocar Ramal

V. Colocar las abrazaderas a cada lado del ramal y ajustar. Con esto el ramal quedará colocado y listo para su utilización.



Figura 6.20. Abrazaderas

### 6.10.3. Instalación con Sellador

En este caso, el procedimiento será idéntico al del caso anterior, salvo en el Punto iii.- donde, en lugar de colocar la goma nervurada alrededor de la perforación del tubo, se deberá elaborar un cordón de aproximadamente 1.5 cm de espesor, tanto alrededor de la perforación del tubo como en la parte inferior del accesorio a colocar, con el sellador recomendado, asegurándose de llenar completamente los valles de la tubería en el perímetro de la perforación.

Este sellador puede ser el provisto por Wavin, o uno del tipo Sika Lastomer 95 (Tripolimero de Isobutileno).

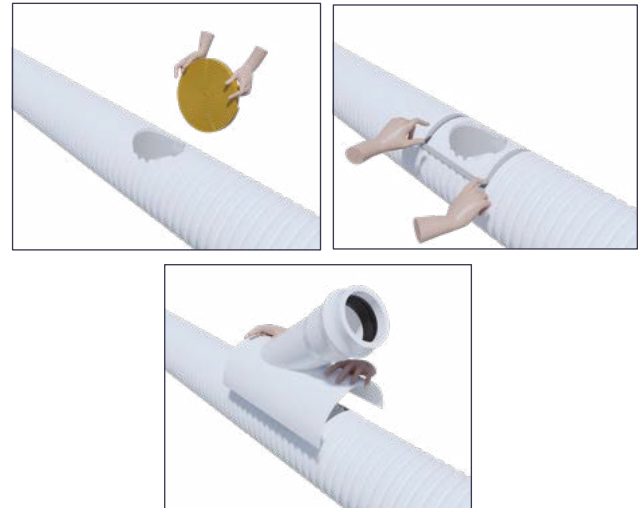


Figura 6.21. Colocación con Sellador

A continuación, colocar debidamente la silla en la perforación, con la presión suficiente para expandir los cordones instalados, y amárrela al tubo en al menos dos puntos, para asegurar la unión mientras el producto se adhiere totalmente. Puede ser con alambre o con abrazaderas.

### Recomendaciones:

- ⌚ Realice la operación en máximo 45 minutos.
- ⌚ Si el producto pierde plasticidad, humedezca para recuperarla.
- ⌚ Endurecimiento parcial:
  - 2 h clima cálido
  - 4 h clima frío
- ⌚ Espere 4 horas para poner en funcionamiento el sistema. Actúa en húmedo seco o sumergido

### 6.10.4. Conexiones a Cámaras y/o Bocas de Inspección

#### 6.10.4.1. Cámaras Rígidas

Es importante tener en cuenta que estas conexiones deben garantizar la hermeticidad y conservar las condiciones de flexibilidad de la tubería.

Teniendo en cuenta que el PVC-U no se adhiere al concreto y asegurando que aún en la zona de empalme con la cámara, la tubería puede deflectarse de acuerdo con lo previsto en el diseño, se recomienda:

- ④ Coloque el caucho a partir del último valle completo de la tubería teniendo en cuenta que la parte de mayor chaffán vaya colocada hacia el extremo.
- ④ Introduzca la tubería en la cámara de inspección, verificando que el caucho quede a la mitad del muro.
- ④ Aplique mortero y emboquille

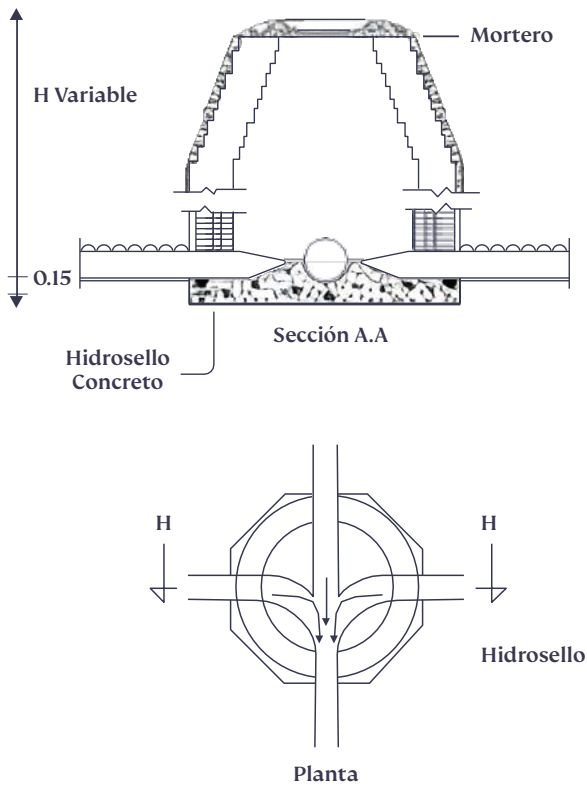


Figura 6.22. Conexión a Cámaras Rígidas

Es importante tener en cuenta que cuando la velocidad de la tubería supera los 5.0 m/s, se recomienda proteger las cañuelas y las paredes del pozo, donde impacte el chorro, con medios tubos NOVAFORT®. Para pegar estas medias tuberías al pozo se debe aplicar arena sobre el tubo pegándola con soldadura (esto es para mayor adherencia) y luego pegar la tubería al pozo con mortero. Esto asegura que la estructura no sufrirá erosión.

### 6.10.4.2. Cámaras Plásticas Wavin

Se recomienda seguir las recomendaciones dadas en el manual correspondiente a estos productos.



# 7. Controles

## 7.1. Controles permanentes durante la instalación

Durante la ejecución de la obra se recomienda realizar los siguientes controles:

**I.** Control de Nivel Freático permanente (no deprimido), constatando que sea acorde al considerado en la Verificación Estructural de la tubería. Si el nivel medido es superior, deberá realizarse una nueva verificación estructural (lo que puede derivar en cambios en el diseño de la zanja o la selección de la tubería). En caso de que el nivel medido esté por debajo, se considera que el cálculo está del lado de la seguridad y podrá proseguirse el trabajo como estaba previsto.

**II.** Control del Trazado, verificando que la alineación, niveles, pendientes y rellenos de las tuberías coincidan con las especificadas por el proyecto.

**III.** Control del Suelo, de manera de verificar que el suelo natural y el que se utiliza como relleno sea acorde a lo considerado en el Cálculo Estructural. Caso contrario, deberá realizarse el cálculo nuevamente.

**IV.** Control de las Uniones, verificando la alineación, limpieza, apariencia de las mismas, y detectando posibles pérdidas.

**V.** Control de Compactación, midiendo la densidad Proctor obtenida en los diferentes puntos de la conducción y verificando que la misma esté dentro del rango de valores considerado en el Cálculo Estructural.

## 7.2. Deflexión de la tubería

Una vez completado el relleno de la zanja, se deberá verificar que la deflexión vertical producida en la tubería esté dentro de los valores admitidos. Por lo general se considera que una instalación fue bien ejecutada cuando la deflexión vertical de la tubería no resulta superior a un 3% de su diámetro interior inicial. Sin embargo, este requisito puede variar en función de la normativa local.

Para realizar la medición deberán utilizarse instrumentos de medición adecuados, como un Deflectómetro Electrónico o bien un simple calibre pasa-no pasa ("prueba de mandrilado").

Si la deflexión es superior a la requerida, deberá retirarse todo el suelo de relleno alrededor del tubo, esperar a que el mismo vuelva a su forma original, y luego volver a rellenar la zanja con cuidado.

Es importante que este control se realice dentro de los 30 días de finalizado el relleno, luego de este tiempo, empieza a aparecer una deflexión residual en la tubería, provocada por el asentamiento del suelo de alrededor, y ya esta medida deja de ser representativa de la calidad de la instalación.

## 7.3. Prueba de estanqueidad

Esta prueba se realiza para verificar que las uniones de las tuberías hayan sido bien ejecutadas y que las mismas sean estancas, impidiendo la salida hacia afuera del fluido transportado en su interior. Esta prueba puede hacerse con agua o con aire, y deberá realizarse siguiendo los lineamientos de la normativa local.

A modo informativo, a continuación se detallan algunas de las metodologías utilizadas.

### 7.3.1. Prueba con Agua

La misma podrá hacerse a Zanja Abierta, o a Zanja Tapada (con un relleno mínimo de 600 mm y dejando las uniones de las tuberías descubiertas). Un procedimiento posible para esta prueba es el siguiente:

1) Llenar la tubería con agua sin presión hasta eliminar todo el aire contenido en ésta, dejándola en esta situación durante 6 hrs. Luego de ese tiempo inspeccionar el aspecto exterior de la tubería, buscando la presencia de exudaciones o filtraciones, localizadas o no, que, en caso de aparecer, serán motivo de reemplazo de los materiales afectados.

2) Una vez superada la prueba anterior, proceder a realizar la prueba de estanqueidad a zanja abierta, sometiendo a la tubería a una presión igual dos metros de columna de agua (2 m.c.a.), o la presión que se quiera probar, medida sobre el intradós del punto más alto del tramo que se prueba.

En caso de presencia de agua subterránea, la presión de prueba deberá ser de 2 m.c.a., o la presión que se quiera probar, por encima del nivel promedio del agua subterránea encontrada en las adyacencias.

Mantener la presión durante 30 minutos como mínimo, verificándose que no haya pérdidas.

En caso de que algún tubo o unión presente exudaciones o pérdidas visibles, se deberán identificar las mismas, se extraerá el agua de la tubería, y se procederá a su reparación y/o reemplazo.

### 7.3.2 Prueba con Aire

En el caso en el que hacer la prueba de estanqueidad con agua sea complicado, puede optarse por realizar una prueba neumática a baja presión.

Sin embargo, deberá tenerse en cuenta que esta prueba con aire puede ser peligrosa para el personal si, por falta de comprensión o descuido, la conducción es sometida a un exceso de presión o si los tapones y tapas son instalados o asegurados inadecuadamente. Es muy importante que los distintos tapones sean instalados adecuadamente para impedir la repentina expulsión de uno mal instalado o parcialmente inflado.

En función de lo anterior se deberán mantener las siguientes precauciones mínimas de seguridad:

a) No se deberá permitir el ingreso de personas a las bocas de acceso o pozo de inspección durante la prueba.

b) Se deberán instalar y asegurar adecuadamente todas las tapas y tapones.

c) No se deberá aplicar demasiada presión a la tubería. En ningún momento la presión deberá ser mayor que 0,06 MPa

d) Despresurizar primero la línea, antes que los tapones, para evitar accidentes.

Para realizar la prueba se necesitará el siguiente instrumental:

**Tapones:** Tipo neumático o mecánico

**Compresor de aire:** Fuente de aire adecuadamente calibrada, libre de aceite, con un panel de control único con válvula principal de cierre, válvula de control de presión, válvula de liberación de presión. Medidor de presión de entrada y un medidor de presión de monitoreo continuo con un rango entre 0 kPa a 69 kPa con divisiones mínimas de 0,7 kPa y una precisión de  $\pm 0,28$  kPa.

**Rotámetro,** con una precisión de  $\pm 2\%$ .

Previo a la prueba se dan las siguientes recomendaciones:

a) Limpiar la sección de la tubería a ser probada por descarga ("flushing") u otros medios antes de efectuar la prueba.

b) Probar los tapones y todas las conexiones antes de iniciar la prueba; esto puede hacerse en un tramo de tubería sin instalar, sellando sus extremos con los tapones por revisar. Se presuriza a 0,06 Mpa y los tapones no se deberán mover. No debe haber personas en el alineamiento de la tubería durante la prueba.

c) Colocar primero el tapón del extremo aguas arriba del tramo, para impedir que el agua penetre y se acumule en la línea de prueba. Esto es importante cuando se tienen altos niveles de aguas freáticas

Un procedimiento posible para realizar la prueba es el siguiente:

I. Introducir el aire lentamente hasta alcanzar los 0,03 MPa. Mantener dicha presión durante 2 min para lograr la estabilización del aire con paredes. Durante la estabilización la presión no debe caer por debajo de los 0,024 MPa.

II. Una vez estabilizada la tubería, apagar el compresor y se bajará la presión hasta los 0,024 MPa. Alcanzado dicho valor, dar por iniciado el ensayo registrando la evolución de la presión en el tiempo.

Determinar el tiempo necesario para que la presión disminuya de 0,024 MPa a 0,017 MPa, el cual debe ser mayor que el tiempo mínimo permisible para lograr dicha pérdida de presión que se establece en la Tabla 7.1, de acuerdo con el diámetro de la tubería.

Para tramos de tubos con largos diferentes a los especificados en la tabla, utilizar la ecuación siguiente:

$$t=1,02 D \frac{k}{Q}$$

**Siendo:**

**t:** el tiempo de prueba permisible para una caída de presión de 0.007 Mpa, en segundos.

**D:** el diámetro interno de la tubería, en milímetros.

**k:** un factor igual a  $0,00005412 \cdot D \cdot l$ , adimensional. En caso de que resulte menor que 1, se debe adoptar 1.

**l:** el largo del tubo, en metros.

**Q:** la pérdida admisible, igual a  $0.0005 \text{ m}^3/\text{min}/\text{m}^2$ .

III. Al terminar la prueba, abrir la válvula de venteo para permitir el escape del aire que se encuentra presurizado en el interior de la tubería. Los tapones no deberán retirarse hasta que toda la presión de aire en la sección de prueba sea igual a la presión atmosférica.

## 7.4. Pruebas de infiltración

Estas pruebas deberían realizarse toda vez que las tuberías queden debajo del nivel de la napa freática y se deberán hacer con la tubería tapada hasta el nivel del terreno natural.

Una prueba posible consiste en tapar todos los potenciales ingresos y, cuando la tubería se encuentre totalmente seca, medir el volumen de agua ingresado, que no debería superar el valor siguiente:

$$V_2=0,001.L.D.h$$

**Siendo:**

**V2:** Volumen de infiltración admisible, en  $\text{m}^3$

**L:** Longitud del tramo, en metros

**D:** Diámetro interior de la tubería, en metros

**H:** Altura de la napa sobre el eje de la tubería, en metros

Si el valor de infiltración excede el mínimo estipulado no se considerará aprobada la instalación del tramo correspondiente.

Tabla 7.1. Tiempo mínimo permisible para lograr una pérdida de presión de 0,007 MPa

Diám. Nom. DN (MM)}	Tiempo de ensayo para diferentes largos de tuberías (h: min: seg)						
	Largo de tubería (m)						
	18	24	36	48	60	72	84
160				00:05:40			
200				00:07:34			
250			00:09:26				00:10:54
300			00:11:20			00:13:28	00:15:42
400		00:14:10			00:17:32	00:21:02	00:24:32
450		00:17:00		00:20:11	00:25:14	00:30:17	00:35:20
600	00:22:40		00:26:55	00:35:54	00:44:52	00:53:51	01:02:49
750	00:28:20		00:42:04	00:56:32	01:10:06	01:24:08	01:38:09
900	00:34:00	00:40:23	01:00:34	01:20:46	01:40:57	02:01:09	02:21:20



# Anexo I: Algunas características distintivas del PVC-U

## Performance/durabilidad Probados

El análisis de gran cantidad de estudios realizados alrededor del mundo sobre tuberías de PVC-U que, luego de haber estado operando en forma continua durante más de 25-30 años, fueron desenterradas y ensayadas, arrojaron las siguientes conclusiones

- ⦿ Las tuberías de PV-UC son las que han sufrido históricamente la menor tasa de roturas en redes de agua.
- ⦿ Después de más de 35 años de funcionamiento, las tuberías de PVC-U no sufrieron ninguna degradación, pérdida de resistencia ni cambios en sus propiedades mecánicas, debido al envejecimiento, después de décadas de servicio operativo. Tanto la ductilidad como la resistencia a la presión interna siguieron al mismo nivel que las tuberías nuevas.
- ⦿ Las tuberías de PVC-U ofrecen un alto grado de resistencia en condiciones de congelación y después de 25 años cumplen prácticamente todos los mismos requisitos que tuberías nuevas.
- ⦿ Debido a lo anterior, así como del resultado de análisis de propagación lenta de fisuras y ensayos de fatiga, se concluye que 100 años de vida útil es una estimación conservadora para una tubería de PVC-U correctamente diseñada e instalada (afirmación confirmada por la "Water Research Foundation" de US).



Fuente: "PVC Pipe Longevity Report – A Comprehensive Study on PVC Pipe Excavations, Testing and Life Cycle Analysis". Buried Structures Laboratory, Utah State University. Mayo 2014

## MEJORES PROPIEDADES MECÁNICAS (CORTO Y LARGO PLAZO)

El PVC-U presenta parámetros mecánicos (módulo E, tensiones admisibles de tracción / compresión) más elevados que otros plásticos. Por lo tanto, una tubería de este material necesita espesores de pared más bajos (menos volumen) para lograr una resistencia similar que otros materiales termoplásticos.

MATERIAL	SPECIFIC GRAVITY	TENSILE MODULUS {Gpa(ksi)}	TENSILE MODULUS {Gpa(ksi)}	TENSILE MODULUS {Gpa(ksi)}
Polyethylene (low density)	0.917-0.932	0.17-0.28 (25-41)	8.3-31.4 (1.2-4.55)	9.0-14.5 (1.3-2.1)
Polyethylene (high density)	0.952-0.965	1.06-1.09 (155-158)	22.1-31.0 (3.2-4.5)	26.2-33.1 (3.8-4.8)
Poly(vinyl chloride)	1.30-1.58	2.4-4.1 (350-600)	40.7-51.7 (5.9-7.5)	40.7-44.8 (5.9-6.5)
Polytetrafluoroethylene	2.14-2.20	0.40-0.55 (58-80)	20.7-34.5 (3.0-5.0)	-
Polyethylene	0.90-0.91	1.14-1.55 (165-225)	31-41.4 (4.5-6.0)	31.0-37.2 (4.5-5.4)
Polystyrene	1.04-1.05	2.28-3.28 (330-475)	35.9-51.7 (5.2-7.5)	-

Adicionalmente, el PVC-U sufre en menor medida el fenómeno de Creep que otros materiales plásticos, por lo que presenta menor variación en los valores de resistencia estructural (tensión última, rigidez anular, rigidez longitudinal) frente a cargas sostenidas en el tiempo.

Por ejemplo, se sabe que, frente a una carga constante, el valor del módulo "E" del PVC-U disminuirá aproximadamente a un 50% de su valor inicial luego de 50 años, mientras que el valor del módulo "E" de los materiales pertenecientes a las poliolefinas, no solo parte de valores inferiores, sino que en 50 años se reducirá al 25% de su valor inicial.

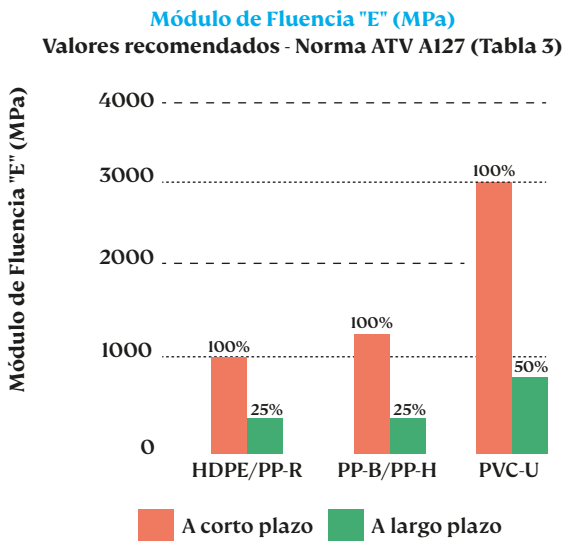


Figura 2.8. Efecto de Creep

Este efecto se traduce en forma directa en la variación de la rigidez anular o longitudinal de las tuberías a largo plazo. Por lo tanto, en caso de preverse cargas ovalizantes (presión hidrostática, por ejemplo) en el largo plazo, para obtener una resistencia de largo plazo equivalente a la del PVC-U, se deberían seleccionar tubos de poliolefinas con una rigidez SN del doble de valor. Es decir que una tubería de PVC-U de rigidez anular SN4 sería comparable, para cargas de largo plazo, a una tubería de PE o PP de rigidez anular SN8 (en ambos casos, la rigidez anular de largo plazo rondaría los 2 kN/m<sup>2</sup>). Caso contrario, las deformaciones resultantes, para el mismo nivel de carga, para las poliolefinas serán bastante más notorias que para el caso del PVC-U.

## Ensayo comparativo de deflexión, longitudinal frente a carga constante, con la tubería actuando como viga s implemente apoyada.



## Alta resistencia química

Dado que la cadena principal del polímero está formada por enlaces simples de átomos de carbono, el PVC-U tiene una excelente resistencia química.

### Descripción general de la resistencia química de las resinas a productos químicos a 20 °C:

<b>E</b>	<b>EXCELENTE:</b> Ácidos (diluidos / débiles) Bases / Álcalis
30 días de exposición constante no causan daños. El plástico puede tolerarse durante años.	
<b>G</b>	<b>BUENA:</b> Ácidos (fuerte / concentrado). Alcohol, Aldehídos, Hidrocarburos (alifáticos), Oxidantes (fuertes).
Poco o ningún daño después de 30 días de exposición constante al reactivo.	
<b>F</b>	<b>JUSTO:</b> Cetonas (aromáticas)
Algunos efectos después de 7 días del reactivo. El efecto puede ser agrietamiento, pérdida de resistencia o decoloración.	
<b>N</b>	<b>NO RECOMENDADO:</b> Ésteres, Hidrocarburos (aromáticos y halogenados).
No recomendado. Pueden ocurrir daños inmediatos. Dependiendo del plástico, el efecto puede ser agrietamiento severo, agrietamiento, pérdida de resistencia, decoloración, deformación, disolución o pérdida de permeación.	

	ETFE	FEP/TFE/PFA	FLPE	FLPP	HDPE	LDPE	PC	PETG	PP	PVC-U	TYPE**
Ácidos, diluidos o débiles.	"	"	"	"	"	"	"	!	"	"	!
Ácidos,** fuertes/concentrados	"	"	!	!	!	!	!	\$	!	!	#
Alcoholes alifáticos	"	"	"	"	"	"	!	!	"	!	"
Aldehídos	"	"	!	!	!	!	!	!	!	!	!
Bases/álcalis	"	"	#	"	"	"	\$	\$	"	"	#
Ésteres	!	"	!	!	!	!	\$	!	!	\$	\$
Hidrocarburos alifáticos	"	"	"	!	!	#	!	!	!	!	"
Hidrocarburos aromáticos	!	"	"	\$	\$	\$	\$	\$	\$	\$	\$
Hidrocarburos halogenados	!	"	!	#	\$	\$	\$	\$	\$	\$	#
Cetonas aromáticas	!	"	!	!	\$	\$	\$	\$	\$	#	\$
Agentes oxidantes, fuertes.	"	"	#	#	#	#	#	#	#	!	\$

\*no apto para tubos con resistencia química (excepto pvc-u)  
 \*\*excepto ácidos oxidantes (ver Agentes oxidantes, fuertes)  
 \*\*\*Juntas de TPE

En el ANEXO II puede verse la tabla de compuestos químicos a los que resiste el material sin inconvenientes

## Menor mantenimiento

La experiencia y la investigación demuestran que la tubería de alcantarillado de PVC-U proporciona soluciones confiables frente a muchos problemas comunes de mantenimiento de este tipo de conducciones:

### Intrusión de raíces

#### ⌚ Intrusión de raíces

Tanto la experiencia de campo como los datos de laboratorio demuestran claramente que las tuberías de alcantarillado de PVC-U con juntas elastoméricas, instaladas correctamente, no están sujetas a la intrusión de raíces. Por lo tanto, el uso de sierras o sinfines para la eliminación de raíces en tuberías de alcantarillado de PVC-U no se considera necesario.

#### ⌚ Infiltración

La tubería de alcantarillado de PVC-U con juntas elastoméricas puede satisfacer fácilmente el requisito habitual del límite máximo de infiltración de 50 galones por pulgada de diámetro por milla por día.

#### ⌚ Acumulación de limos y corrosión

El poli-cloruro de vinilo (PVC-U) es esencialmente inerte en presencia de ácido sulfúrico diluido. En consecuencia, el advenimiento de condiciones corrosivas severas posteriores a la acumulación de limo no es un problema en las tuberías de alcantarillado de este material

#### ⌚ Depositos de grasa

No hay problemas particulares en la limpieza de tuberías de alcantarillado de PVC-U con depósitos de grasa durante largos períodos de tiempo (10-15 años) con limpiadores hidráulicos de alta presión o herramientas de limpieza mecánica.

#### ⌚ Obstrucciones

Los datos de laboratorio y la experiencia de campo demuestran que la tubería de alcantarillado de PVC-U se puede limpiar con dispositivos mecánicos sin dificultad.

#### ⌚ Abrasión

La investigación realizada en la Universidad Técnica de Darmstadt (W. Alemania) demostró que la resistencia del PVC-U a la abrasión está dentro de los más altos entre los diferentes materiales de tubos, al mismo nivel de arcilla vitrificada y muy superior al hormigón.



## Anexo II: Tabla de resistencia química

**NOTA:** los datos que figuran en la tabla deben tomarse como una guía. En caso de duda comunicarse con la Oficina de Gestión de Servicio al Cliente de Amanco Wavin

RESISTENCIA A LA CORROSIÓN						
E=Excelente	B=Buena	R=Regular		NR=No Recomendable	I=Información no comprobada	
Descripción	23°C	60°C	Descripción	23°C	60°C	
Aceite de algodón	E	E	Ácido Diclocólico	E	E	
Aceite de Risino	E	E	Ácido Esteárico	B	B	
Aceite de Linaza	E	E	Ácido Fluorhídrico 10%	E	NR	
Aceite de Lubricante	E	E	Ácido Fluorhídrico 50%	E	E	
Aceites Minerales	E	E	Ácido Fórmico	E	E	
Aceites y Grasas	E	E	Ácido Fosfórico 25-85%	E	E	
Acetaldehido	NR	NR	Ácido Gálico	E	E	
Acetato de Amilo	NR	NR	Ácido Glicólico	E	E	
Acetato de Butilo	NR	NR	Ácido Hipocloroso	E	E	
Acetato de Etilo	NR	NR	Ácido Láctico 25%	E	E	
Acetato de Plomo	E	E	Ácido Láurico	E	E	
Acetato de Sodio	E	E	Ácido Linleico	E	E	
Acetato de Vinilo	NR	NR	Ácido Maléico	E	E	
Acetileno	I	I	Ácido Málico	E	E	
Acetona	NR	NR	Ácido Metusulfónico	E	E	
Ácido Acético 80%	B	NR	Ácido Nicotínico	E	NR	
Ácido Acético 20%	E	NR	Ácido Nítrico 10%	NR	NR	
Ácido Antraquinosulfónico	E	E	Ácido Nítrico 66%	NR	NR	
Ácido Artisulfónico	R	NR	Ácido Oléico	E	E	
Ácido Arsénico	E	B	Ácido Oxálico	E	E	
Ácido Bencesulfónico 10%	E	E	Ácido Palmítico 10%	E	E	
Ácido Benzóico	E	E	Ácido Palmítico 70%	NR	NR	
Ácido Bórico	E	E	Ácido Paracético 40%	NR	NR	
Ácido Bromhídrico 20%	E	E	Ácido Perclórico 10%	E	E	
Ácido Brómico	E	E	Ácido Perclórico 70%	NR	NR	
Ácido Butírico	R	NR	Ácido Pítrico	NR	NR	
Ácido Carbónico	E	E	Ácido Selénico	I	I	
Ácido Cianhídrico	E	E	Ácido Silícico	E	E	
Ácido Cítrico	E	E	Ácido Sulfuroso	E	E	
Ácido Clorhídrico 20%	I	I	Ácido Sulfúrico 10%	E	E	
Ácido Clorhídrico 50%	E	E	Ácido Sulfúrico 75%	E	E	
Ácido Clorhídrico 80%	E	E	Ácido Sulfúrico 90%	NR	NR	
Ácido Cloracético 10%	B	R	Ácido Sulfúrico 96%	NR	NR	
Ácido Clorosulfónico	E	I	Ácido Tánico	E	E	
Ácido Cresílico 99%	B	NR	Ácido Tartárico	E	E	
Ácido Crómico 10%	E	E	Ácidos Grasos	E	E	

RESISTENCIA A LA CORROSIÓN						
E=Excelente	B=Buena	R=Regular		NR=No Recomendable		I=Información no comprobada
Descripción	23°C	60°C	Descripción	23°C	60°C	
Ácido Crómico 30%	E	NR	Acrilato de Etilo	NR	NR	
Ácido Crómico 50%	B	NR	Agua de Bromo	R	NR	
Agua de mar	E	E	Carbonato de Calcio	E	E	
Agua Potable	E	E	Carbonato de Magnesio	E	E	
Agua Regia	R	NR	Carbonato de Potasio	B	B	
Alcohol Alílico 96%	NR	NR	Carbonato de Sodio (S Asn)	E	E	
Alcohol Amílico	R	NR	Celulosa	R	NR	
Alcohol Butílico	B	NR	Cianuro de Cobre	E	E	
Alcohol Etilico	E	E	Cianuro de Plata	E	E	
Alcohol Metílico	E	E	Cianuro de Potasio	E	E	
Alcohol Propargílico	I	NR	Cianuro de Sodio	E	E	
Alcohol Propílico	B	NR	Cianuro de Mercurio	B	B	
Amoníaco (Gas Seco)	E	E	Ciclohexano	NR	NR	
Amoníaco (Cloruro de Amonio)	E	NR	Ciclohexanol	NR	NR	
Anhídrico Acético	NR	NR	Clorato de Calcio	E	E	
Anilina	NR	NR	Clorato de Sodio	I	I	
Antraquinona	E	I	Cloro (Acuoso) Z	E	NR	
Benceno	NR	NR	Cloro (Húmedo)	E	R	
Benzoato de Sodio	B	R	Cloro (Seco)	E	NR	
Bicarbonato de Potasio	E	E	Clorobenceno	NR	NR	
Bicarbonato de Sodio	E	E	Cloroformo	NR	NR	
Bicromato de Potasio	E	E	Cloruro de Alilo	NR	NR	
Bifluoruro de Amonio	E	E	Cloruro de Aluminio	E	E	
Bifluoruro de Calcio	E	E	Cloruro de Amonio	NR	E	
Bisulfato de Sodio	E	E	Cloruro de Amilo	NR	NR	
Blanqueador 12.5%	B	R	Cloruro de Bario	E	E	
Borato de Potasio	E	E	Cloruro de Calcio	E	E	
Borax	E	B	Cloruro de Cobre	E	E	
Bromato de Potasio	E	E	Cloruro de Etilo	NR	NR	
Bromo (Líquido)	NR	NR	Cloruro de Fenilhidrazina	R	NR	
Bromuro de Etileno	NR	NR	Cloruro de Magnesio	E	E	
Bromuro de Potasio	E	B	Cloruro de Metileno	NR	NR	
Bromuro de Sodio	I	I	Cloruro de Metilo	NR	NR	
Butadieno	R	NR	Cloruro de Niquel	E	E	
Butano	I	I	Cloruro de Potasio	E	E	
Butanodiol	I	I	Cloruro de Sodio	E	E	
Butil Fenol	B	NR	Cloruro de Tionilo	NR	NR	
Butileno	E	I	Cloruro de Zinc	E	E	
Carbonato de Amonio	E	E	Cloruro de Estánico	E	E	
Carbonato de Bario	E	E	Cloruro Estanoso	E	E	

RESISTENCIA A LA CORROSIÓN						
E=Excelente	B=Buena	R=Regular		NR=No Recomendable	I=Información no comprobada	
Descripción	23°C	60°C	Descripción	23°C	60°C	
Cloruro Férrico	E	E	Acrilato de Etilo	NR	NR	
Cloruro Ferroso	E	E	Agua de Bromo	E	E	
Cloruro Láurico	I	I	Carbonato de Calcio	E	E	
Cloruro Mercúrico	B	B	Carbonato de Magnesio	E	E	
Cresol	NR	NR	Carbonato de Potasio	E	E	
Crotonaidehído	NR	NR	Carbonato de Sodio (S Asn)	I	I	
Dextrosa	E	E	Celulosa	NR	I	
Dicloruro de Etileno	NR	NR	Cianuro de Cobre	R	NR	
Dicromato de Potasio	E	E	Cianuro de Plata	E	E	
Dicromato de Sodio	B	R	Cianuro de Potasio	E	E	
Dimetil Amina	NR	NR	Cianuro de Sodio	E	E	
Dióxido de Azufre (Húmedo)	NR	NR	Cianuro de Mercurio	E	E	
Dióxido de Azufre (Seco)	E	E	Ciclohexano	E	E	
Dióxido de Carbono	E	E	Ciclohexanol	E	E	
Disulfuro de Carbono	NR	NR	Clorato de Calcio	E	E	
Eter Etílico	NR	NR	Clorato de Sodio	E	E	
Etilen Glicol	E	E	Cloro (Acuoso) Z	E	E	
Fenol	NR	NR	Cloro (Húmedo)	E	E	
Ferricianuro de Potasio	E	E	Cloro (Seco)	E	E	
Ferricianuro de Sodio	E	I	Clorobenceno	E	E	
Ferrocianuro de Sodio	E	E	Cloroformo	E	E	
Ferrocianuro de Potasio	E	E	Cloruro de Alilo	E	E	
Fluor (Gas Húmedo)	E	E	Cloruro de Aluminio	E	E	
Fluoruro de Aluminio	E	E	Cloruro de Amonio	B	B	
Fluoruro de Amonio 25%	NR	NR	Cloruro de Amilo	E	E	
Fluoruro de Cobre	E	E	Cloruro de Bario	NR	NR	
Fluoruro de Potasio	E	E	Cloruro de Calcio	E	E	
Fluoruro de Sodio	I	I	Cloruro de Cobre	E	NR	
Formaldehído	E	R	Cloruro de Etilo	I	I	
Fosfato Disódico	E	E	Cloruro de Fenilhidrazina	E	E	
Fosfato Trisódico	E	E	Cloruro de Magnesio	E	E	
Fosgeno (Gas)	E	E	Cloruro de Metileno	E	E	
Fosgeno (Líquido)	NR	NR	Cloruro de Metilo	E	E	
Freon - 12	I	I	Cloruro de Niquel	E	E	
Fructosa	E	E	Cloruro de Potasio	E	E	
Frutas (Jugos - Pulpas)	E	E	Cloruro de Sodio	E	E	
Furfural	NR	NR	Cloruro de Tionilo	E	E	
Gas Natural	E	E	Cloruro de Zinc	E	E	

RESISTENCIA A LA CORROSIÓN						
E=Excelente	B=Buena	R=Regular		NR=No Recomendable	I=Información no comprobada	
Descripción	23°C	60°C	Descripción	23°C	60°C	
Nitrato Férrico	E	E	Sulfato de Bario	E	E	
Nitrato Mercurioso	B	B	Sulfato de Hidrógeno	E	E	
Nitrobenceno	NR	NR	Sulfato de Sodio	E	E	
Nitrito de Sodio	E	E	Tetracloruro de Carbono	NR	NR	
Ocenol	I	I	Tetracloruro de Titanio	B	NR	
Oleum	NR	NR	Tetra Etilo de Plomo	I	I	
Oxicloruro de Aluminio	E	E	Tiocianato de Amonio	E	E	
Oxido Nitroso	E	E	Tiosulfato de Sodio	E	E	
Oxígeno	E	E	Tolueno	NR	NR	
Pentóxido de Fósforo	I	I	Tributilfosfato	NR	NR	
Perborato de Potasio	E	E	Tricloruro de Fósforo	NR	NR	
Perclorato de Potasio	E	E	Trietanol Amina	B	NR	
Permanganato de Potasio 10%	B	B	Trietanol Propano	B	NR	
Peróxido de Hidrógeno 30%	E	I	Trióxido de Azufre	B	E	
Persulfato de Amonio	E	E	Urea	E	E	
Persulfato de Potasio	E	E	Vinagre	E	NR	
Petróleo Crudo	E	E	Vinos	E	E	
Potasa Cáustica	E	E	Whisky	E	E	
Propano	E	I	Xileno	NR	NR	
Soluciones Electrolíticas	E	E				
Soluciones Fotográficas	E	E				
Soda Cáustica	E	E				
Sub-Carbonato de Bismuto	E	E				
Sulfato de Aluminio	E	E				
Sulfato de Amonio	E	E				
Sulfato de Bario	E	E				
Sulfato de Calcio	E	E				
Sulfato de Cobre	E	E				
Sulfato de Hidroxilamina	E	E				
Sulfato de Magnesio	E	E				
Sulfato de Metilo	E	R				
Sulfato de Niquel	E	E				
Sulfato de Potasio	E	E				
Sulfato de Sodio	E	E				
Sulfato de Zinc	E	E				
Sulfato Férrico	E	E				
Sulfato Ferroso	E	E				
Sulfato de Sodio	E	E				

Veamos nuestra amplia gama de productos en  
**[www.wavin.mx](http://www.wavin.mx)**



**Building &  
Infrastructure**



Amanco Wavin es parte de Orbia, una comunidad de compañías trabajando juntas para enfrentar algunos de los retos más complejos del mundo. Nos une un objetivo en común: Impulsar la vida alrededor del mundo.

Amanco Wavin, el negocio de construcción e infraestructura de Orbia, es un proveedor de soluciones innovadoras para la industria global de construcción e infraestructura. Con el respaldo de más de 60 años de experiencia en el desarrollo de productos, Amanco Wavin está mejorando la vida en todo el mundo mediante la construcción de entornos saludables y sostenibles para los ciudadanos globales. Ya sea para mejorar la distribución de agua potable, hacer que el saneamiento sea accesible para todos, crear ciudades resilientes al clima o diseñar espacios habitables cómodos, Amanco Wavin colabora con líderes municipales, ingenieros, contratistas e instaladores para ayudar a comunidades y edificios preparados para el futuro. y hogares. Amanco Wavin tiene más de 12.000 empleados en aproximadamente 65 sitios de producción en todo el mundo y presta servicios en más de 80 países a través de una red global de ventas y distribución.

**Amanco Wavin México** | [www.wavin.mx](http://www.wavin.mx) | Teléfono 55 5899 4600

© 2025 Amanco Wavin se reserva el derecho de hacer alteraciones sin previo aviso. Debido a cambios en el desarrollo de los productos las especificaciones técnicas pueden cambiar. La instalación debe cumplir con las instrucciones de instalación.