

NOVAFORT®

Manual Técnico



PAVCO
wavin

INDICE

1 INTRODUCCIÓN

1.1.	¿QUÉ ES NOVAFORT®?	4
1.2.	HISTORIA Y EXPERIENCIA	4
1.3.	¿POR QUÉ ELEGIR NOVAFORT®?	4
1.3.1.	Confiabilidad	4
1.3.2.	Sencillez / Conveniencia	5
1.3.3.	Costos	5

2 CARACTERÍSTICAS PRINCIPALES

2.1.	FABRICACIÓN	6
2.2.	NORMAS / CERTIFICADOS	6
2.3.	MATERIAL	6
2.4.	DIMENSIONES	6
2.5.	SISTEMA DE UNIÓN	6
2.6.	LONGITUD	7
2.7.	RIGIDEZ ANULAR	7
2.8.	DISEÑO DE PARED	7
2.8.1.	¿Por qué pared perfilada?	7
2.8.2.	Diseño optimizado	8
2.8.2.1.	<i>Esbeltz controlada</i>	8
2.8.2.2.	<i>Espesor de corruga optimizado</i>	8
2.8.2.3.	<i>Espesor de valle incrementado</i>	8
2.8.2.4.	<i>Espesor de liner optimizado</i>	8
2.8.2.5.	<i>Superficie interna lisa</i>	8
2.9.	COMPORTAMIENTO FLEXIBLE	9
2.10.	RESISTENCIA ESTRUCTURAL A LARGO PLAZO	9
2.11.	RIGIDEZ LONGITUDINAL	10
2.12.	RUGOSIDAD HIDRÁULICA	10
2.13.	RESISTENCIA QUÍMICA	10
2.14.	ACCESORIOS COMPLEMENTARIOS	10

3 CÁLCULO HIDRÁULICO

3.1.	CÁLCULO DEL CAUDAL	11
3.2.	VERIFICACIÓN AL ARRASTRE DE PARTÍCULAS	11
3.2.1.	Criterio del esfuerzo tractivo	12
3.2.2.	Criterio de la velocidad de autolimpieza	12

4 CÁLCULO ESTRUCTURAL

4.1.	DISEÑO DE ZANJA	13
4.1.1.	Ancho de zanja	13
4.1.2.	Recubrimiento	14
4.1.3.	Cama de asiento / ángulo de Apoyo	14
4.1.4.	Relleno inicial	14
4.1.5.	Relleno final	16
4.2.	CÁLCULO DE ESFUERZOS ACTUANDO SOBRE LA TUBERÍA	17
4.2.1.	Carga del relleno de la zanja	17
4.2.2.	Cargas de tránsito	18
4.3.	VERIFICACIÓN ESTRUCTURAL	19
4.3.1.	Deflexión anular	19
4.3.2.	Pandeo (Buckling)	22
4.3.2.1.	<i>Presión admisible</i>	22
4.3.2.2.	<i>Presión total externa</i>	22
4.3.2.3.	<i>Verificación al pandeo</i>	23
4.4.	EJEMPLO PRÁCTICO	23

5. TRANSPORTE, MANIPULACIÓN Y ALMACENAMIENTO

5.1.	TRANSPORTE	25
5.2.	DESCARGA Y MANIPULACIÓN	26
5.3.	ALMACENAMIENTO	27

6 INSTALACIÓN EN ZANJA

6.1.	COMPORTAMIENTO ESPERADO	29
6.2.	EXCAVACIÓN DE LA ZANJA	29
6.2.1.	Medidas de seguridad	29
6.2.2.	Profundidad de zanja	29
6.3.	CONTROL DE AGUAS	29
6.3.1.	Nivel Freático	29
6.3.2.	Aguas escurriendo	30
6.4.	FONDO DE ZANJA	30
6.5.	CAMA DE ASIENTO	30
6.5.1.	Materiales	30
6.5.2.	Colocación	30
6.6.	COLOCACIÓN Y ACOPLÉ DE LA TUBERÍA	30
6.6.1.	Colocación	30
6.6.2.	Acople	31
6.6.3.	Nivelación	32
6.7.	RELLENO INICIAL	32
6.7.1.	Requisitos del material	33
6.7.2.	Colocación del relleno	33
6.8.	RELLENO FINAL	35
6.9.	CONSIDERACIONES ESPECIALES	35
6.9.1.	Migración de finos	35
6.9.2.	Prevención del fenómeno de lavado del relleno	36
6.9.3.	Prevención de la flotación de la tubería	36
6.9.4.	Instalación de tuberías en paralelo	36
6.9.5.	Uso de materiales cementicios o rígidos para el relleno inicial	37
6.9.6.	Instalación a la intemperie	37
6.10.	CONEXIONES	37
6.10.1.	<i>Conexiones Domiciliarias a través de "sillas"</i>	37
6.10.2.	<i>Instalación con hidrosello corrugado</i>	37
6.10.3.	<i>Instalación con Adhesivo</i>	38
6.10.4.	<i>Conexiones a cámaras y/o bocas de inspección</i>	38
6.10.4.1.	<i>Cámaras rígidas</i>	38
6.10.4.2.	<i>Cámaras plásticas Novacam</i>	39

7 CONTROLES

7.1.	Controles permanentes durante la instalación	40
7.2.	Deflexión de la tubería	40
7.3.	Prueba de estanqueidad	40
7.3.1.	Prueba con agua	40
7.3.2.	Prueba con aire	40
7.4.	Pruebas de infiltración	41

ANEXO I: ALGUNAS CARACTERÍSTICAS DISTINTIVAS DEL PVC-U

Performance/durabilidad probados	43
Mejores propiedades mecánicas (Corto y largo plazo)	43
Alta resistencia química	45
Menor mantenimiento	45

ANEXO II: TABLA DE RESISTENCIA QUÍMICA

Tabla de resistencia química	46
------------------------------	----

ANEXO III: CATÁLOGO DE PRODUCTOS **PAG.**

NORMA NTC 3722-3 S8	50
NORMA NTC 3722-3 S4	50
NORMA NTC 5055-3 SERIE 10 (S4)	50
NORMA NTC 5055-3 SERIE 46 (S6)	50
NORMA PAVCO WAVIN SERIE 40 (S5)	51
Uniones Campana x Campana	51
Codos 45° Campana x Campana	51
Codos 90° Campana x Campana	51
Yee reducida Campana x Campana x Campana	51
Silla Yee	51
Sillas Yee Kit	52
Transiciones conector Novafort concreto - gres	52
Tee Campana x Campana	52
Adaptador Novafort Sanitaria	52
Sillas Tee Kit S8	52
Sillas Tee	52
Hidrosellos Novafort	52
Lubricante Novafort Unión Platino	53
Adaptadores Espigo x Campana	53
Abrazaderas Acero inoxidable	53
Reducciones	53
Hidrosellos Silla Yee Kit	53
Adhesivo Epóxico Novafort	53

ANEXO IV: CÁLCULOS HIDRÁULICOS

Capacidad hidráulica - tubería Novafort vs. tubería de concreto	54
Cuadro gráfico de elementos hidráulicos en conjunto circular	63

8 ROTULADO

Edición	65
---------	----

1. INTRODUCCIÓN

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 1. Tubo NOVAFORT®

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:

- Hermeticidad.
- Resistencia estructural.
- Resistencia al impacto.
- Durabilidad
- Resistencia a la corrosión
- Resistencia a la abrasión
- Buen comportamiento hidráulico.
- 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.



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.

- La rigidez anular nominal (SN) del producto nunca es menor a 2 kN/m², 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 los esfuerzos 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 campana-espigo 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 performance 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 uniones 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 nuestro portafolio de cámaras plásticas, posibilitando la ejecución de sistemas integrales y completos.

Por otro lado, su excelente desempeño comprobado, 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 performance equivalente (a corto y largo plazo), **NOVAFORT®** suele ser la solución más económica:

- Menor costo del producto (a igualdad de desempeño).
- 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 uniones de reparación, 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.

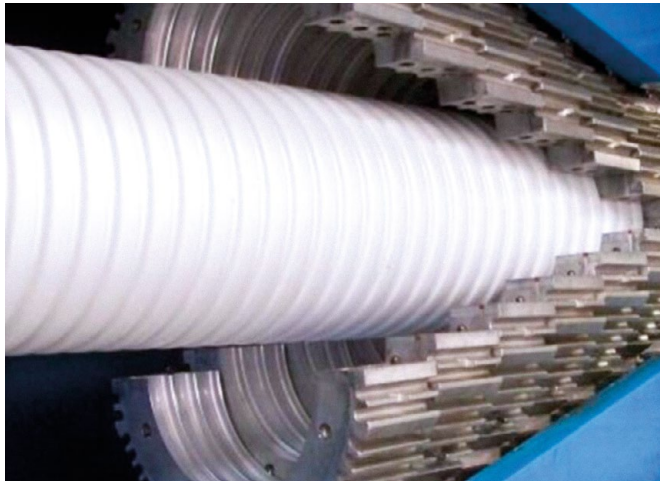


Figura 2.1. Fabricación Tubo NOVAFORT®

2.2. NORMAS / CERTIFICADOS

NOVAFORT® se fabrica de conformidad con las normas internacionales más exigentes (ISO 21138, EN 13376, ASTM F949, ASTM F794).

Adicionalmente, en cada país la tubería posee certificación de conformidad con las normativas locales:

México:	NMX-E-230-CNCP
Colombia	NTC 3722-3 / NTC 5055
Ecuador:	NTE INEN 2059
Perú:	NTP ISO 21138
Brasil:	NBR ISO 21138
Argentina:	IRAM 13414
Centroamérica	ASTM F949 / AASHTO M304

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.
- Alto desempeño 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 110 mm a los 1200 mm, con longitudes totales de 6.0 metros y 6.5 metros para grandes diámetros y en varias clases de rigidez, desde SN4, SN6 hasta SN8.

Ver catálogo completo en ANEXO III.

2.5. SISTEMA DE UNIÓN

Las tuberías **NOVAFORT®** poseen sistema de unión por Campana-espigo, con hidrosello de caucho sintético, 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 interior lisa y exterior perfilada. En el otro extremo, las tuberías mantienen el perfil de pared inalterado, por lo que el "espigo" no tiene diferencia con el resto de la tubería.

Con respecto al hidrosello de caucho, este va insertado en uno de los valles (espacio entre 2 corrugas) del espigo 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.

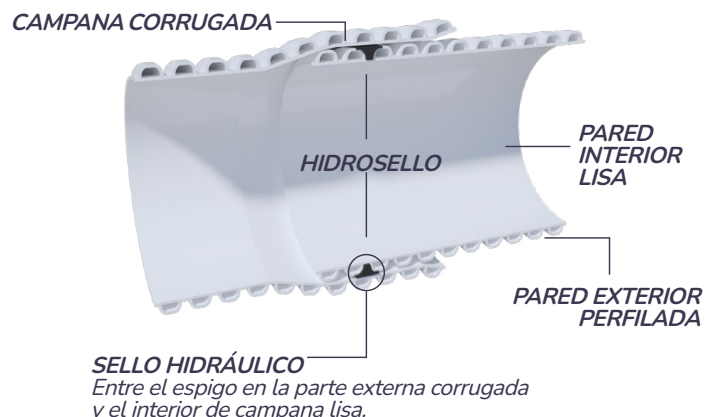


Figura 2.2. Sistema de Unión

2.6. LONGITUD

La longitud estándar de los tubos **NOVAFORT®** es de 6.0 metros y 6.5 metros para grandes diámetros, 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 los esfuerzos externos, 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).

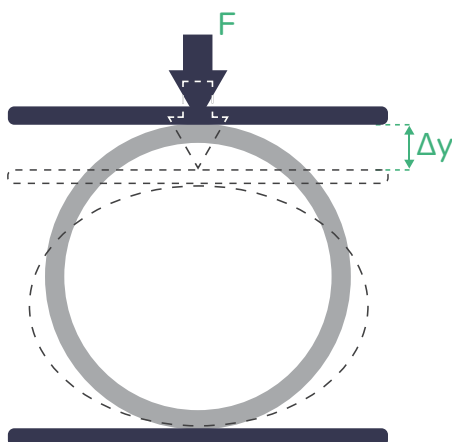


Figura 2.3. Concepto de rigidez anular

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 varias opciones de rigidez: desde SN = 4 kN/m² (SN4), SN=6 kN/m² hasta SN = 8 kN/m² (SN8), medidos de acuerdo con la Norma ISO 9969.

Este rango de rigideces 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 "perfiladas", es decir con una geometría especial, diferente del espesor constante que presentan las tuberías de pared sólida.

2.8.1 ¿Por qué pared perfilada?

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.

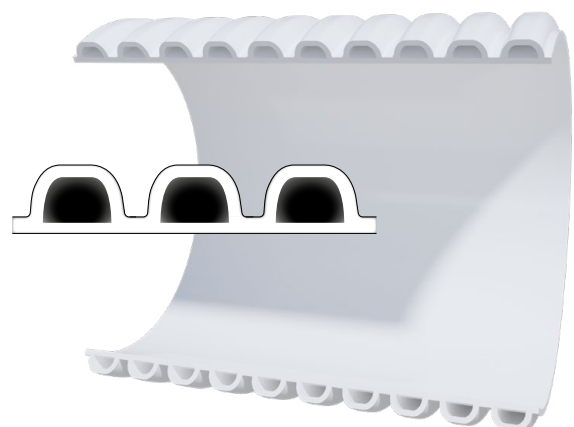


Figura 2.4. Diseño de la pared

En el caso de los tubos de pared perfilada, 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.

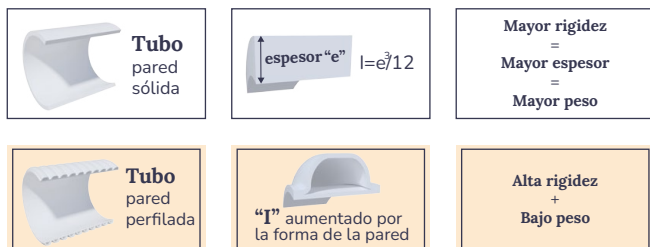


Figura 2.5. Pared Lisa vs Perfilada

En la Tabla 2.1 puede verse una comparativa, en cuanto a Rigidez Anular y Peso de tubos de PVC-U de pared compacta (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 fuerzas, 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 su excelente desempeño comprobado 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.

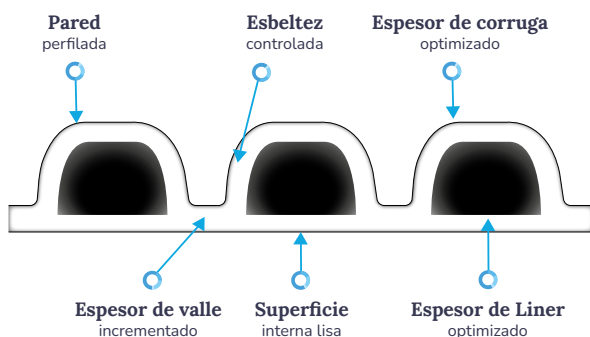


Figura 2.6. Diseño de Pared

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 de corruga optimizado

El diseño y espesor de la corruga 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 esfuerzos puntuales externos.

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 corrugas) 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 capítulo 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.

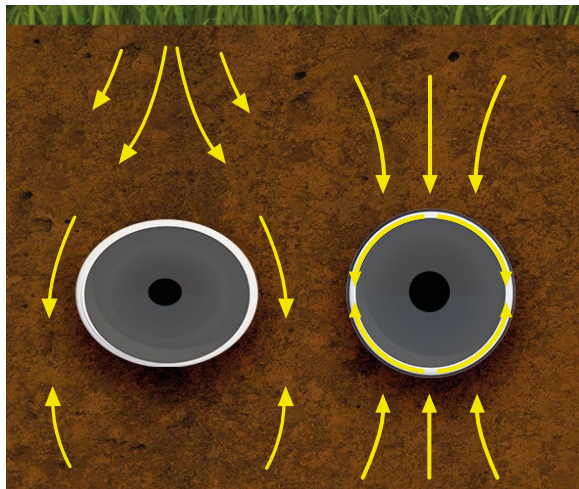


Figura 2.7. Tuberías Rígidas y Flexibles

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, permitiendo deflexiones de máximo 7.5% de acuerdo con la ASTM D3034, 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.

Las tuberías **NOVAFORT®** presentan comportamiento **FLEXIBLE** y es por esto que se las trata como tales a efectos de las recomendaciones incluidas en el presente manual.

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

- Resisten las cargas en conjunto con el suelo de relleno de la zanja, deformándose y transfiriendo los esfuerzos a éste.
- Se pueden instalar a mayores profundidades.
- Pueden adaptarse a los movimientos del suelo sin fallas estructurales ni fisuras.
- Su deflexión está gobernada por el asentamiento del suelo. Una vez ocurrido éste, el tráfico y otras cargas no afectan la tubería.
- Son muy indulgentes. Incluso en caso de mala instalación, esto no resultará en roturas debido a la alta capacidad de deformación del material.
- 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 esfuerzos sostenidos 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.

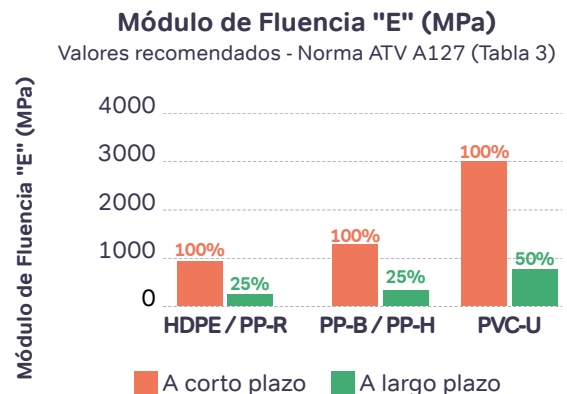


Figura 2.8. Efecto de Creep

Aquí es muy importante aclarar que, como veremos en el numeral 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 sometido a un esfuerzo de 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:

- 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.
- 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 sometida a un esfuerzo 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

Los tubos NOVAFORT® no solo poseen una alta rigidez anular, sino que, como ya se mencionó, también poseen una importante rigidez longitudinal, facilitando las tareas de manipulación e instalación, y garantizando pendientes longitudinales uniformes y acorde a las especificaciones del proyecto.



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.

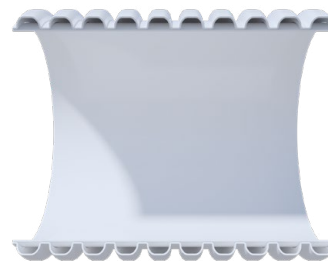


Figura 2.10. Superficie Interna Lisa

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 resistidos 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.

También están disponibles accesorios de adaptación, para su unión con sistemas de otras tecnologías.

En el ANEXO III puede encontrarse el portafolio completo de tuberías y accesorios NOVAFORT® que se ofrece en Colombia.

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:

$$Q = \frac{\Omega}{n} R^{2/3} \sqrt{i}$$

Donde:

- **Q** : Caudal transportado, en m³/s
- **Ω** : Área Mojada, en m³
- **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 “χ”, es decir:

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

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

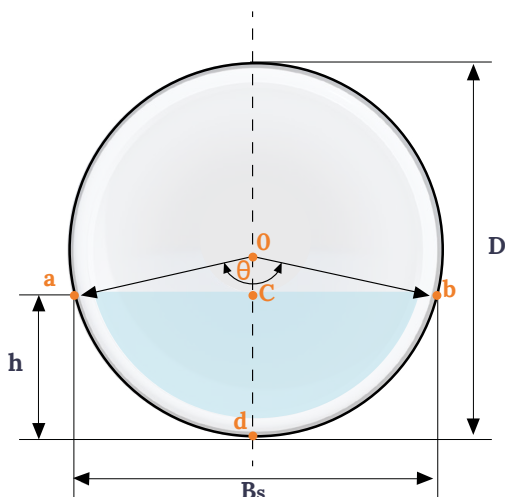


Figura 3.1. Sección Parcialmente Llena

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

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

$$Q = \frac{\sqrt{i}}{n} \left[\frac{D^2}{8} (\theta - \text{sen}\theta) \right] \left[\frac{D}{4} \left(1 - \frac{\text{sen}\theta}{\theta} \right) \right]^{2/3}$$

(Ec.1)

Siendo:

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

(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 < Qreq, seleccionar el diámetro “D” inmediato superior y volver a calcular “Q”, y así sucesivamente hasta encontrar el diámetro que cumpla con que Q > Qreq.

Ver tablas de cálculos hidráulicos en el ANEXO IV.

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 (τ)”, 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:

$$\tau = \gamma \cdot R \cdot i$$

Donde:

- τ es el “esfuerzo tractivo”, en kg/m^2 o N/m^2 .
- γ es el peso específico del agua, en kg/m^3 .
- R es el “Radio medio hidráulico” (“Área mojada” dividida por el “perímetro mojado”), en metros.
- i es la pendiente de la “solera del canal” (o batea de la tubería si es en un alcantarillado), en m/m .

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

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

(Ec.3)

De acuerdo con la resolución 0330 del Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio, el esfuerzo tractivo debe ser $\tau \geq 0.10 \text{ kg/m}^2$ en alcantarillados de aguas residuales y $\tau \geq 0.20 \text{ kg/m}^2$ en alcantarillados pluviales.



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 Q_{L0} , en función del tipo de alcantarillado a diseñar.
- II. Determinar el valor de “ θ ” utilizando la Ec.2, a partir de los valores de “i”, “n” y “D” utilizados en el ítem anterior y ahora para el valor Q_{L0} . Como es difícil despejar el valor de “ θ ” en la ecuación, se sugiere utilizar el método de prueba y error, proponiendo diferentes valores de “ θ ” hasta obtener el valor $Q \approx Q_{L0}$.
- III. Calcular el valor de “ τ_0 ” utilizando la Ec.3
- IV. Verificar que se cumpla que $\tau_0 \geq 0,10 \text{ kg/m}^2$ o $\tau_0 \geq 0,20 \text{ kg/m}^2$ de acuerdo con lo mencionado previamente.

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 “ \emptyset ” 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 todos los esfuerzos a los que será sometido a lo largo de la vida útil de la conducción.

Para esto, será necesario realizar un análisis de los esfuerzos 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 al 7.5% de acuerdo con la normatividad vigente.

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 los esfuerzos 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®**.

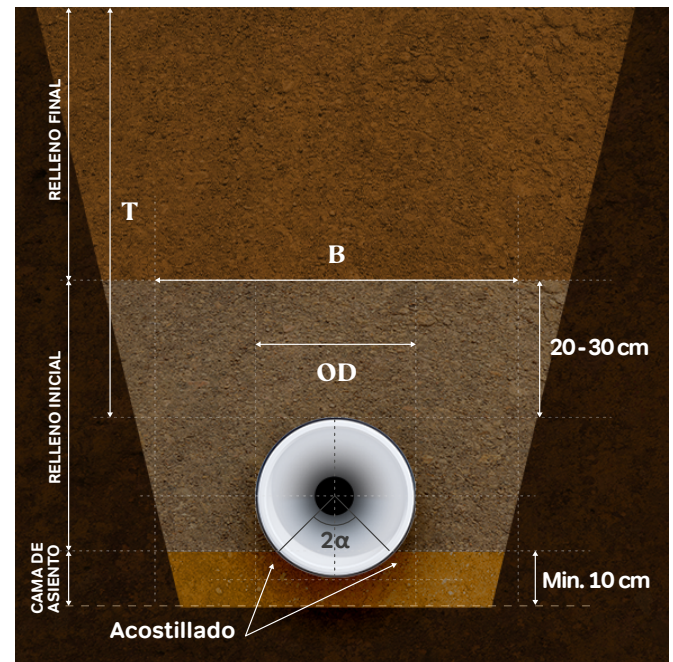


Figura 4.1. Diseño de Zanja

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 corrugado 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 Recubrimiento

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

Los recubrimientos 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:

$$T \geq 0,90 \text{ mts}$$

B) Caso sin tránsito vehicular:

T ≥ 0,60 mts en zonas verdes, peatonales o con muy bajo tránsito vehicular no pesado

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.

En lo que respecta a la verificación estructural de la tubería, el espesor de la cama de asiento determinará el "ángulo de apoyo α", 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 compactación 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 4.1. Tipos de Suelos

Clase de suelo			Descripción	Clasificación Universal a)	% Pasando Tamiz N°200
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	SC2	A1 A3	Suelos de grano grueso, limpios	GW, GP, SW, SP, o cualquier clasificación que comience con estos símbolos	≤ 12%
III	A	A-2-4	Suelo de grano grueso, con finos	GM, GC, SM, SC o cualquier clasificación que comience con estos símbolos	> 12% y ≤ 30%
	B	A-2-5 A-2-6	Suelo de grano grueso, con finos	GM, GC, SM, SC o cualquier clasificación que comience con estos símbolos	> 30% y ≤ 50%
	C	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*

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	Grava 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 geneales 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 perfilada.

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 recubrimientos, 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	85%	85%	90%	95%
Esfuerzo de compactación requerido para alcanzar la Densidad Proctor mínima requerida	Bajo	Moderado	Alto	Muy Alto
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 cubrir 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).

utilizarse el mismo material que se excavó de la zanja. La única excepción está dada en el caso de recubrimientos 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).

A los fines de la deformación de la tubería, las características de este relleno influyen poco y, por eso, para conformarlo suele

4.2. CÁLCULO DE LOS ESFUERZOS ACTUANDO SOBRE LA TUBERÍA

Toda tubería flexible que sea instalada y enterrada en zanja podrá estar sometida 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 (P_E).
- **Carga dinámica** generada por el tránsito vehicular (en caso de existir) que llega a la tubería (P_L).
- **Presión externa (P_w)** 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 (P_i)** 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.

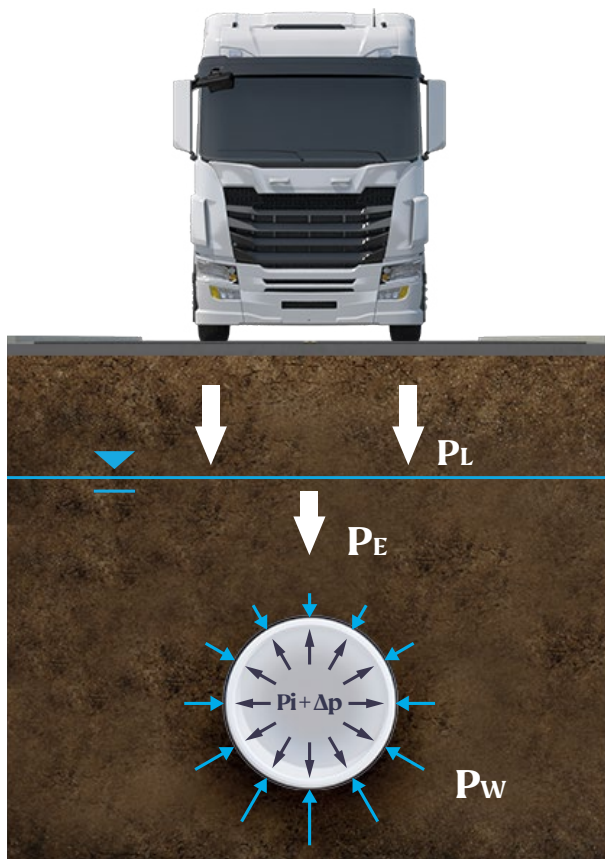


Figura 4.2. Esfuerzos sobre una tubería enterrada en zanja.

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. Carga del 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).

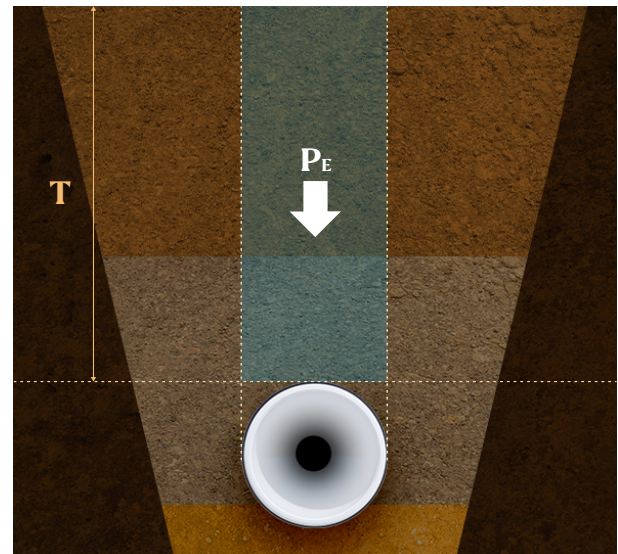


Figura 4.3. Esfuerzos por carga del relleno

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:

$$P_E = \gamma_s \cdot T$$

Donde:

P_E : Carga del relleno, por unidad de ancho, en kPa

γ_s : Peso específico del suelo del relleno por encima de la tubería, en kg/m^3

T : Recubrimiento, en metros.

Es de destacar que esta simplificación se recomienda para niveles de recubrimiento 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 recubrimiento (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.

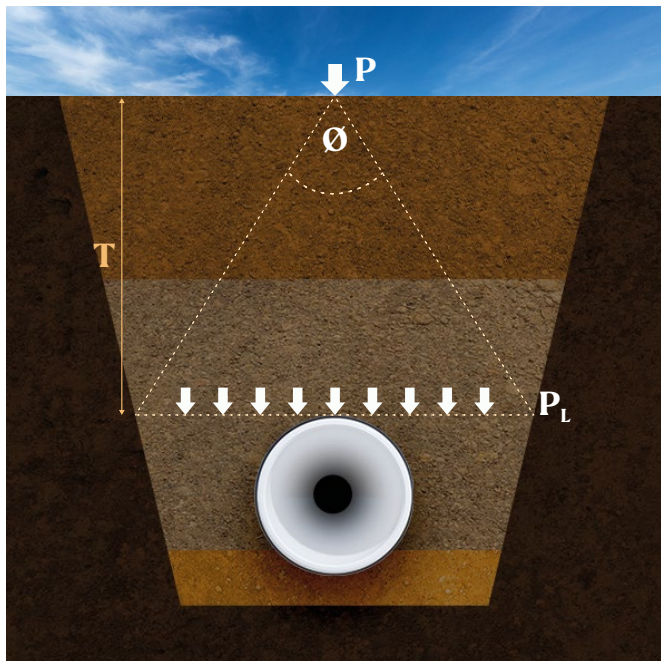


Figura 4.4. Esfuerzos por Carga de Tránsito

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_L dadas en la Tabla 4.4.

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

Recubrimiento mts	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 (W_{LH20}) 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 P_L de la Carga de Tránsito para Camión AASHTO H20 con Pavimento Flexible o Sin Pavimento en la Tabla 4.5.

Ferrocarril Cooper E-80

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

Recubrimiento mts	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
3,00	5,36

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_L de la Tabla 4.6.

Otros Vehículos

Tabla 4.6. Carga Tránsito FFCC COOPER E-80

Recubrimiento mts	P_L 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

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 $P_{L,H20}$ 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_L con respecto a la del AASHTO H20 ($W_{L,H20}$):

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

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:

$$P_L = 0,0098 \frac{I_f \cdot P}{A} \left(1 - \frac{T^3}{(R^2 + T^2)^{1,5}} \right)$$

Donde:

- P_L : Presión vertical actuando sobre el lomo de la tubería (kPa)
- I_f : Factor de Impacto
- P : Carga por rueda (kg)
- Ac : Área de contacto (m²)
- T : Recubrimiento (m)
- R : Radio Equivalente (m); siendo $R = \sqrt{(A/\pi)}$

4.3. VERIFICACIÓN ESTRUCTURAL

Una vez calculados los esfuerzos, como ya se mencionó, se establece una serie de verificaciones estructurales para las tuberías flexibles, estas 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_E) y tránsito (P_L) y eventuales cargas estáticas, se recomienda el uso de la **ecuación de Spangler-Iowa Modificada**, según la cual:

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

Donde:

- $\Delta y/D_m$: Deflexión vertical porcentual, en %
- Δy : Deflexión vertical absoluta (reducción del diámetro vertical del tubo), en mm.
- D_m : Diámetro medio de la tubería (distancia entre el eje central del tubo y el eje neutro de sus paredes), en mm.
- T_L : 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 $T_L = 1,5$ es conservador para tuberías flexibles.
- SN : Rigidez Anular Nominal de la tubería, en kN/m², 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.

- **E'**: Módulo resistente del suelo de relleno, en kPa. Este

Tabla 4.7. Coeficiente de Apoyo

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

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_E' del relleno alrededor del tubo con el Módulo Resistente E_N' 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_N'/E_E' y B/OD (ancho de zanja/diámetro exterior del tubo).

El valor del módulo E_N' para el suelo natural a los costados de la zanja puede tomarse 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_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_E' y E_N', y conociendo la relación B/OD, el módulo combinado E' podrá calcularse como:

$$E' = Sc \cdot E'_E$$

Donde Sc es el Factor de Combinación de Soporte del Suelo y puede adoptarse, en función de las relaciones E_N'/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 7.5% de acuerdo con lo establecido en la normatividad vigente.



Tabla 4.8 Módulo de Reacción EN' para el suelo natural

Tipo 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
B	1-2	Muy suelto	Muy Blando	13-25	1400
C	2-4		Blando	25-50	4800
D	4-8	Suelto	Mediano	50-100	10300
E	8-15	Ligeramente compacto	Rígido	100-200	20700
F	15-30	Compacto	Muy Rígido	200-400	34500
G	30-50	Denso	Duro	400-600	69000
H	>50	Muy Denso	Muy duro	>600	138000

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

Tipo 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 Suelo	Descripción	Prof. Máxima m	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						
	1,5	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.

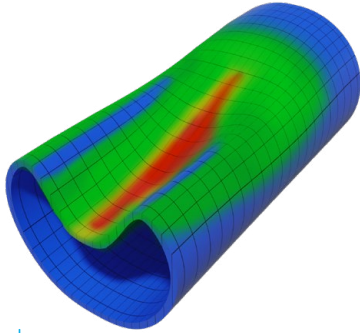


Figura 4.5. Pandeo

La verificación al pandeo consiste en comparar la presión externa de compresión que será capaz de resistir la tubería instalada en zanja (P_A) con la presión externa real total a la que estará sometida (P_T), 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:

- P_A : Presión admisible de pandeo, en kPa.
- H_w : Altura Napa freática sobre lomo tubería, en m.
- T : Recubrimiento, en metros.
- E' : Módulo resistente combinado del relleno, en kPa.
- E_i : Módulo de Creep del material de la tubería, en kPa.

- I : Momento de inercia de la sección de pared de la tubería, en mm^4/mm .
- D_m : Diámetro medio de la tubería, en mm.
- R_b : Factor de Flotabilidad en Agua (adimensional):

$$R_b = 1 - 0,33 \frac{H_w}{T} \quad (\text{si } 0 < H_w < T)$$

- 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_0 : 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 (P_T) a la que estará sometida la tubería deberá calcularse para cada caso particular, pero en general puede decirse que:

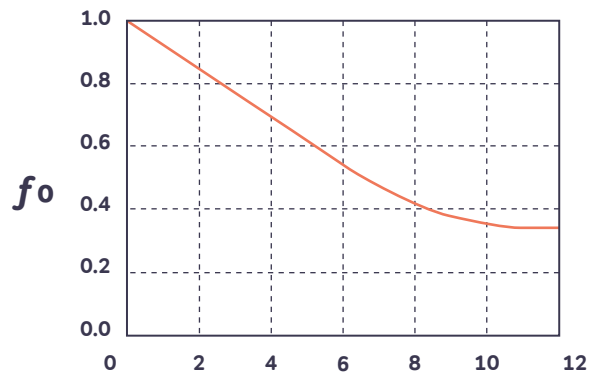


Figura 4.6. Factor de Compensación por Deflexión

- 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.
 $P_W = 0,0098 \cdot \gamma_w \cdot H_w$
- γ_w : Peso específico del agua, en kg/m^3 .
- 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:

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

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^2) 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 lomo 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^3 , 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:

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

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 los esfuerzos sobre la tubería:

a. Peso del relleno:

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

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

b. Carga de tránsito:

De la Tabla 4.4, para un recubrimiento 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 %:

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

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 $T_L = 1,5$ (valor conservador)

c. Módulo de reacción del Suelo (E’):

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

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

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

Adoptamos $E_b' = 11024$ kPa

Calculamos:

$$E_N'/E_E' = 10800 \text{ kPa} / 11024 \text{ kPa} = 0,98$$

$$B/OD = 1085 \text{ mm} / 500 \text{ mm} = 2,2$$

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

$$E' = S_c \cdot E_E' = 1 \cdot 11024 = 11024 \text{ kPa}$$

Aplicando la fórmula de Spangler:

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

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

$$\frac{\Delta y}{OD} (\%) = 1,09 \% < 7,5\% \text{ OK}$$

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):

$$H_w = T - h_w = 5 \text{ m} - 1 \text{ m} = 4 \text{ m}$$

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

- 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:

$$P_{A,LP} = \sqrt{32 \cdot R_b \cdot B' \cdot E' \cdot SN/2}$$

$$P_{A,LP} = \sqrt{32 \cdot 0,736 \cdot 0,42 \cdot 11024 \text{ kPa} \cdot 4 \text{ kPa}}$$

$$P_{CA,LP} = 467 \text{ kPa}$$

- Esfuerzos a corto plazo:

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

$$= 50 \text{ kPa} + 4,7 \text{ kPa} + 10 \text{ kN/m}^3 \cdot 4 \text{ m}$$

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

- Esfuerzos a 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, MANIPULACIÓN Y ALMACENAMIENTO

A continuación, se detallan todas las recomendaciones para un adecuado transporte, manipulación 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, manipulación 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.



Figura 5.1. Colocación de las tuberías en el camión

- La primera camada de tubos deberá apoyarse sobre tarimas o polines de madera de no menos de 10 cm 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 polines de madera distribuidas en la misma forma (Figura 5.2).

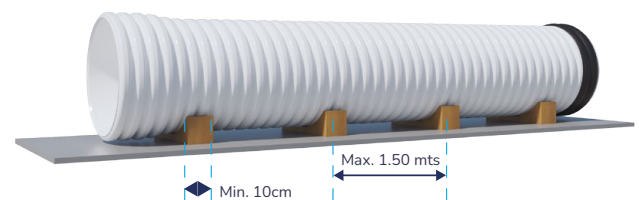


Figura 5.2. Apoyo sobre Tirantes de Madera

- Los tubos deberán acomodarse en el camión alternando espigas y campanas, 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).

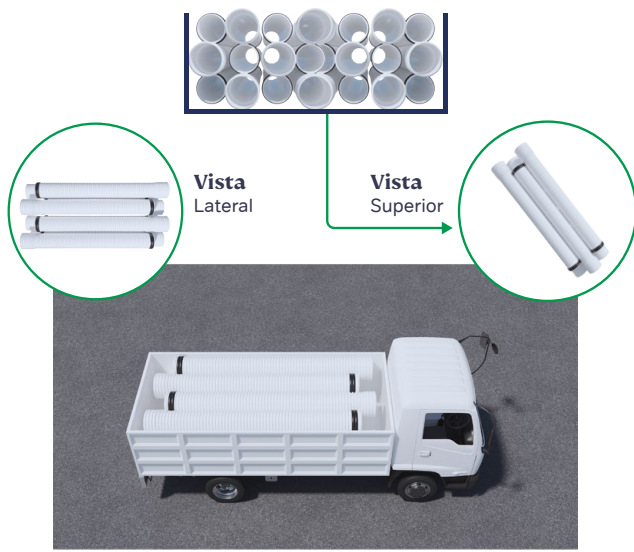


Figura 5.3. Disposición alternada en el camión

- 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).

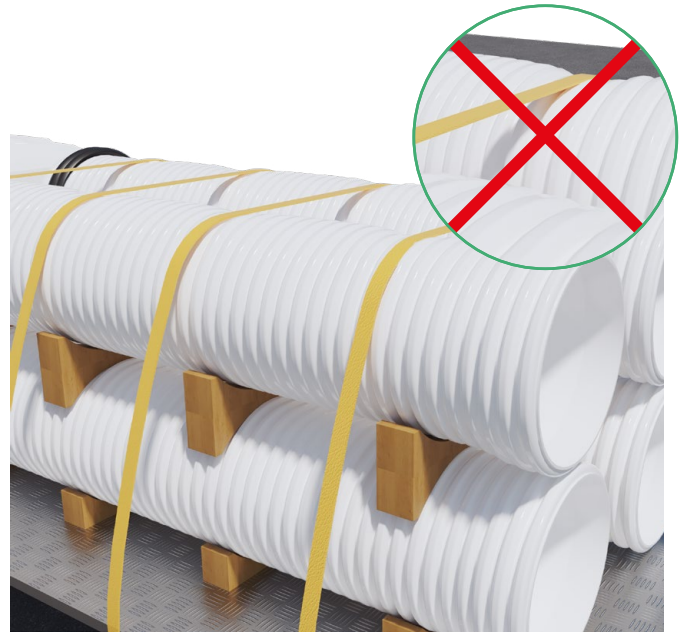


Figura 5.5. No deformar los tubos con las sujeciones

- Cuando se transporte a largas distancias, y sobre todo en zonas 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 MANIPULACIÓN

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 5.9. Alzaje de la tubería



Figura 5.7. No arrastrar las tuberías

- Las tuberías deberán ser depositadas en suelo firme, plano, liso y limpio.
- Cuando la descarga se realice en forma manual, es recomendable que la operación la realicen, como mínimo, dos personas debidamente calificadas. En este caso, deberá evitarse operar de pie sobre la tubería. (Figura 5.8).



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 esfuerzos 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 (1/4.L), como se muestra en la Figura 5.9.

- En el caso de diámetros grandes (iguales o mayores a 200 mm), para la descarga del camión es recomendable utilizar un montacarga, que deberá poseer sus uñas protegidas con caucho. La cantidad de tubos a cargar en las uñas del montacarga 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 polines de madera de no menos de 10cm 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 la campana del tubo apoye directamente sobre el piso. También podrán usarse tarimas de madera distribuidas en la misma forma. Si no se poseen tarimas o polines de madera, se deberá realizar una pequeña zanja en la zona de las campanas 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 el espigo hacia un sentido y el de al lado con el espigo hacia el sentido contrario, continuando en este orden y cuidando de dejar libre la longitud completa de la campana (Figura 5.10).



Figura 5.10. Almacenamiento alternado

- Para evitar deformaciones, en las pilas de almacenamiento

deberá evitarse el apoyo de los espigos de cada tubo en forma directa sobre la campana 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 las campanas desfasadas, 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 la manipulación 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).

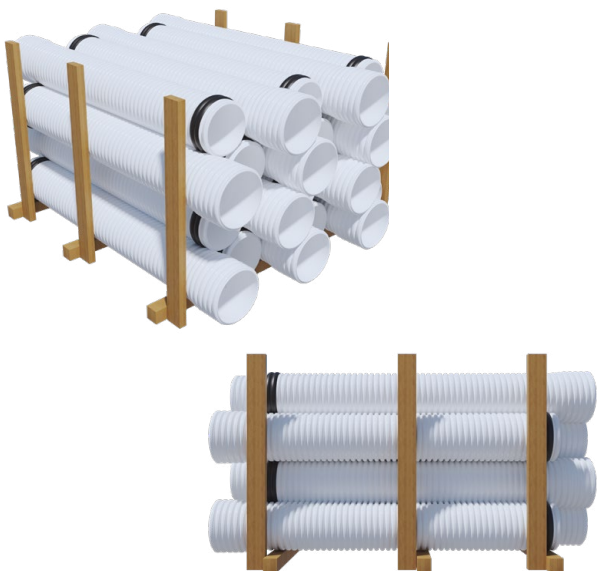


Figura 5.12. Almacenamiento Paralela

- 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 hidrosellos 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.

- Se deberá cuidar que el peso de los tubos colocados en las filas



Figura 5.14. Protección de radiación UV

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 un adecuado desempeño 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 excavarse 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 lomo 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 lomo 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:

$$H = T + a + D_E$$

Donde:

- **H** = profundidad total de la zanja, medida desde el nivel del suelo.
- **T** = recubrimiento por encima del nivel superior del tubo (lomo) hasta el nivel del suelo.
- **a** = espesor de la cama de asiento por debajo del tubo
- **D_E** = 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. Nivel Freático

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, suciedad u otros materiales no aptos.
- Se nivelará el fondo hasta obtener una superficie plana y lisa.

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 ingeniero responsable de la obra o especialista en geotecnia, pero que no será menor a 300 mm) y construir una cimentación, 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

	I	II	III	IV
	SC1	SC2	SC3	SC4
Clase de Suelo		A1, A3	A-2-4, A-2-5, A-2-6, A-4, A-6	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, 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 d_n	Espesor de la cama de asiento (1)
$DN \leq 400$ 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, d_n	Tamaño max. de partícula (mm)
$DN < 450$	13
$450 \leq DN \leq 600$	19
$600 < DN \leq 900$	25
$900 < DN \leq 1200$	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 ACOPLA DE LA TUBERÍA

6.6.1. Colocación

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

Aquí, la manipulación 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. Manipulación 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 las campanas 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).

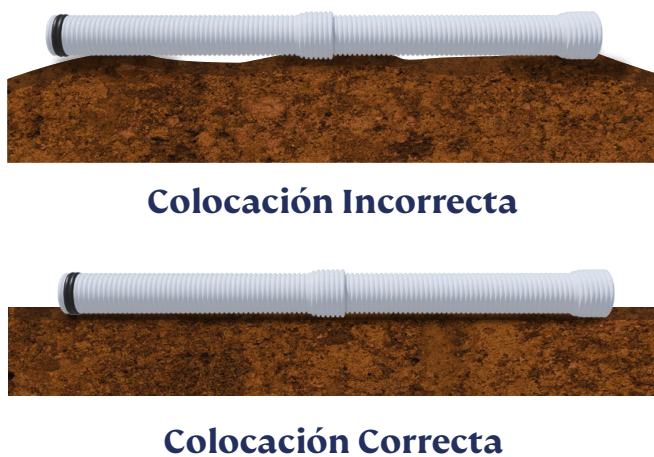


Figura 6.3. Apoyo del tubo sobre la cama de asiento

6.6.2. Acople

En general, los tubos **NOVAFORT®** salen de fábrica con los hidrosellos ya colocados en el espigo de los mismos y protegidos con vinipel.

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

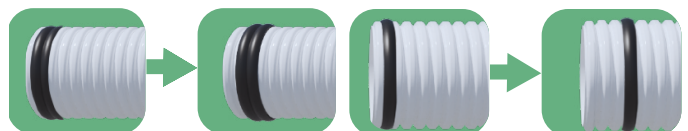
- I. Colocar el hidrosello con los labios apuntando siempre hacia la campana del mismo tubo.
- II. Colocar el hidrosello alojándolo en el segundo valle de la corruga, contando desde el extremo del tubo.

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



Figura 6.4. Colocación hidrosellos de caucho

En el caso de acoplar un tubo **NOVAFORT®** a un accesorio del tipo ramal inyectado, deberá correrse el hidrosello de caucho en el espigo del tubo del segundo al tercer valle de la corruga.



Adicionalmente, si el accesorio posee hidrosellos de caucho 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 del espigo (macho) de un tubo con la campana (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 de la campana, exterior del espigo y el hidrosello de caucho. Se deberá prestar especial atención a la correcta limpieza de la zona del alojamiento del hidrosello de caucho, pues cualquier basura que quede retenida en ese lugar hará que el hidrosello

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 el espigo indicando la profundidad de inserción, es decir el punto hasta el cual deberá llegar el extremo exterior de la campana durante el acople.

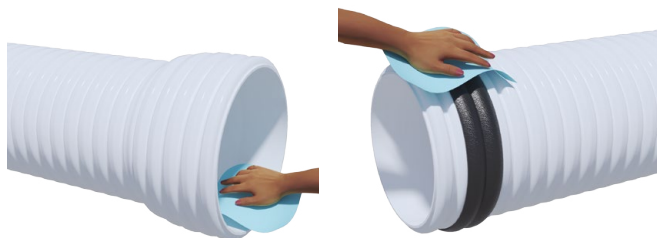


Figura 6.5. Limpieza de espigas y enchufes

IV. Si no está ya puesto, se colocará el hidrosello de caucho en uno de los valles del espigo (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 hidrosello de caucho y en la superficie interior de la campana, ya sea con estopa, trapo o pincel. Se utilizará lubricante Novafort o, en su defecto, se usará pasta jabonosa. No se deberán utilizar grasas minerales, pues pueden atacar al compuesto del hidrosello de caucho.



Figura 6.6. Colocación de Lubricante

VI. Se introducirá el espigo 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 de la campana. 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.

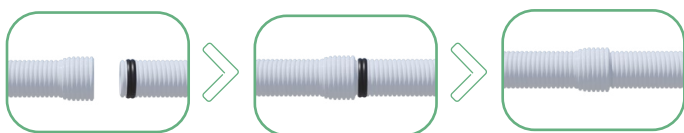


Figura 6.7. Acople de Tuberías

VII. Los tubos se conectarán 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.

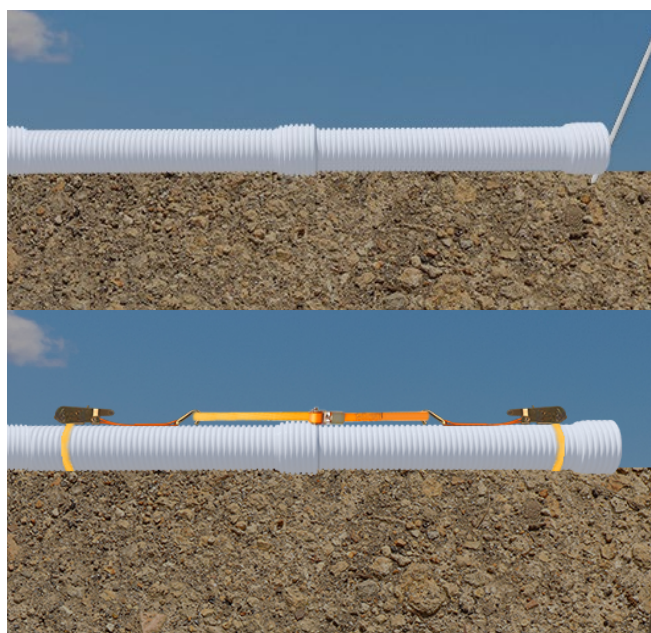


Figura 6.8. Métodos de Acople

No se aconseja el acople 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 lomo 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.

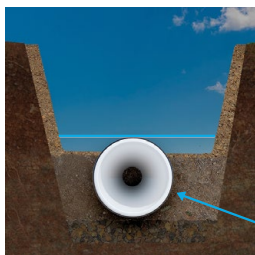
La calidad y compactación de este relleno deberá ser en la obra acordes a las previsiones del proyecto, por lo que será muy importante colocar el tipo de suelo recomendado por el ingeniero a cargo y compactarlo hasta la densidad Proctor especificada.

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 cargas 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:

Trozos de Raíces Piedras



Tamizado

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

- Satisfaga los requerimientos solicitados por el ingeniero diseñador en el cálculo estructural de las tuberías.
- Sea compactable.
- 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 la norma ASTM D698).
- Para tubos DN < 900 mm, el tamaño de las partículas no supere los 11 mm.
- No contenga terrones de suelo de tamaño superior a 2 veces el tamaño máximo de las partículas.
- No contenga material congelado ni material orgánico, ni desperdicios (raíces de vegetación, cauchos, botellas, metales, etc).

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

Adicionalmente, el material del corrugado 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).

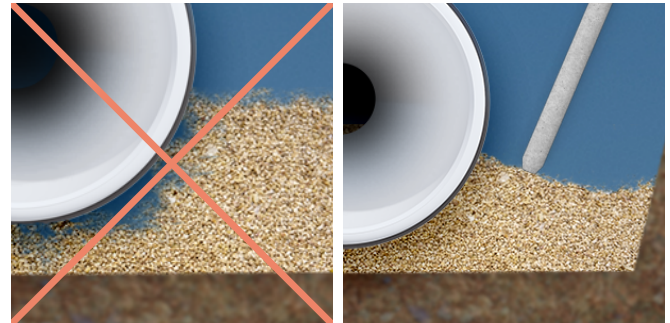


Figura 6.10. Cuidados en la colocación del relleno en el corrugado

6.7.2. Colocación del Relleno

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

- 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.
- 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 lomo de la tubería.
- 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 cimentaciones 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 lomo de la tubería, se adicionará material de relleno en cada flanco hasta completar una altura $hr = DN/2$ (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	SC2	SC3	SC4
		I	II A1, A3	III A-2-7, A-2-5, A-2-6, A-4, A-6	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	4	-	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 lomo 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.

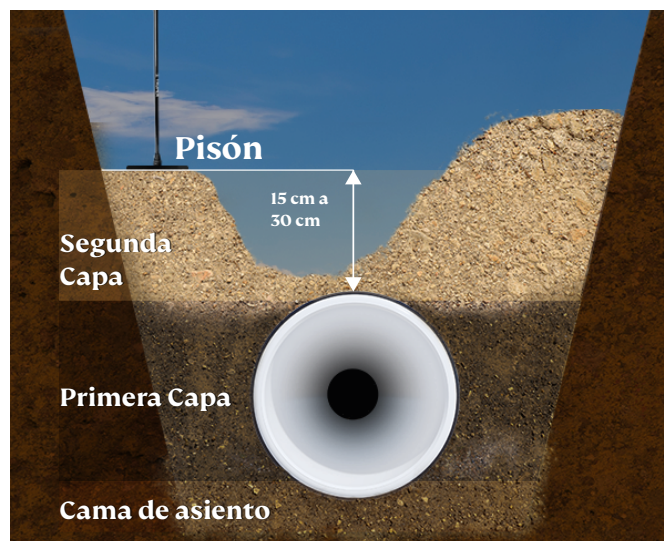


Figura 6.11. Compactación de capas en los laterales del tubo

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

Masa del equipo, m_{eq} (Kg)	Cobertura mínima del tubo (mm)	
	Apisonado	Vibrado
$m_{eq} < 50$	-----	-----
$50 \leq m_{eq} < 100$	250	150
$100 \leq m_{eq} < 200$	350	200
$200 \leq m_{eq} < 500$	450	300
$500 \leq m_{eq} < 1000$	700	450
$1000 \leq m_{eq} < 2000$	900	600
$2000 \leq m_{eq} < 4000$	1200	800
$4000 \leq m_{eq} < 8000$	1500	1000
$8000 \leq m_{eq} < 12000$	1800	1200
$12000 \leq m_{eq} < 18000$	2200	1500
Rodillo punta de diamante $m_{eq} < 500$		500
Pata de cabra $m_{eq} < 500$		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 recubrimiento dependerá del tipo de suelo utilizado para el relleno (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. Recubrimiento mínimo en tráfico de vehículos o equipos pesados

Tipo de suelo	Recubrimiento 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):

- $D_{15}/d_{85} < 5$; siendo D_{15} el diámetro de la malla del tamiz por el que pasa el 15% del material más grueso y d_{85} el diámetro de la malla del tamiz por el que pasa el 85% del material fino.
- $D_{50}/d_{50} < 25$; siendo D_{50} el diámetro de la malla del tamiz por el que pasa el 50% del material más grueso y d_{50} 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 D_{15}/d_{85} deberá cumplirse adicionalmente que $D_{15} < 0,5$ 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.

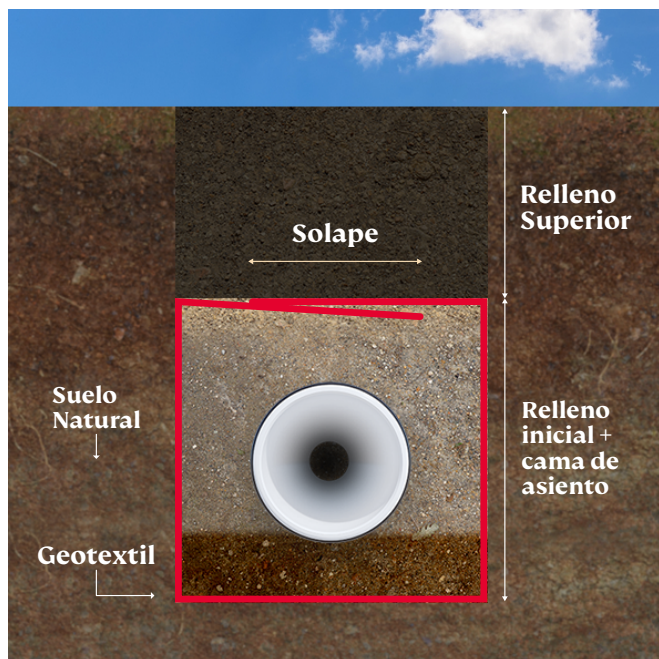


Figura 6.12. Colocación de geotextil para prevenir migración de finos

Figura 6.12.

- 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 sellan 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 recubrimiento mínimo para prevenir la flotación del tubo.

El valor de dicho recubrimiento 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: Recubrimiento, en metros.

V: Volumen del tubo, calculado en función de su diámetro exterior (OD), en m³.

γ : Peso específico del agua, en kg/m³.

L: Longitud del tubo.

γ' : Peso específico del suelo (valor sumergido o húmedo, de acuerdo con el nivel freático), en kg/m³.

W_t: 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_t) 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:

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

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

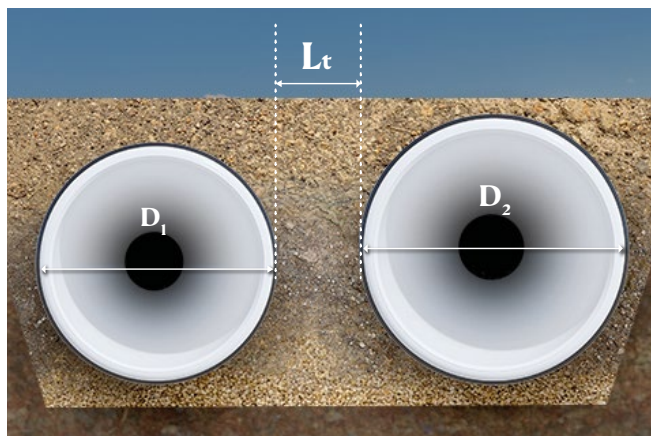


Figura 6.13. Separación de 2 tubos paralelos al mismo nivel

En el caso 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_t = 600 mm. Esta distancia también deberá ser verificada de acuerdo con la normativa local vigente, un ejemplo de esto se puede ver en la Figura 6.14

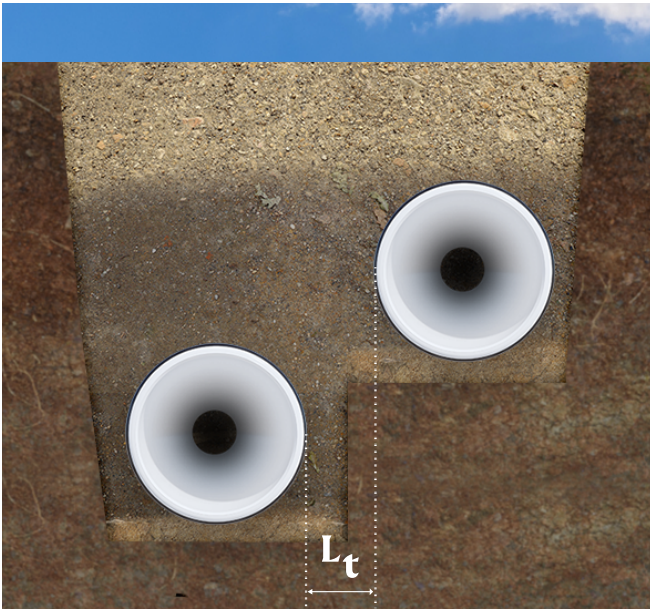


Figura 6.14. Separación de 2 tubos paralelos en zanja en escalera

6.9.5. Uso de 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 numeral 5.
- 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 recubrimiento superior.
- d. En el caso de nivel freático por encima del nivel de fondo de la zanja, éste deberá mantenerse abatido 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. Instalación a la 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 "Sillas"

Cuando se quiere realizar una derivación sobre una tubería ya instalada, se puede recurrir a la utilización de una "Silla" 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 el área técnica de Pavco Wavin), pero en general incluyen:

- a. Ramal Postizo de PVC-U o "Silla"
- b. 2 Abrazaderas
- c. Hidrosello corrugado o Adhesivo

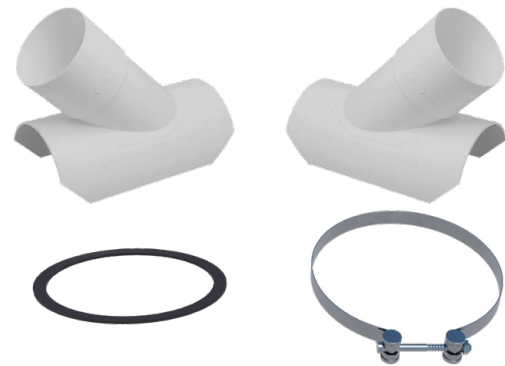


Figura 6.15. Opciones de Ramal Postizo

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

6.10.2 Instalación con Caucho corrugado

- I. Colocar la silla o el caucho sobre el tubo y marcar el contorno.

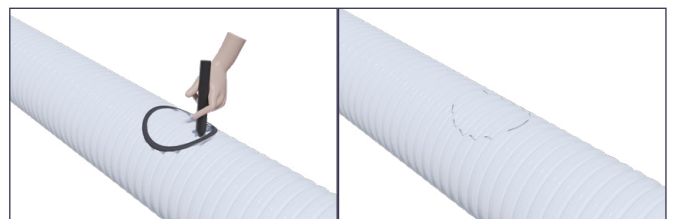


Figura 6.16 Marcar el contorno

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.

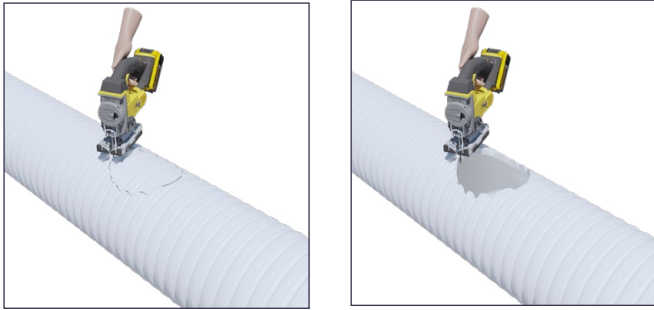


Figura 6.17. Perforar

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

IV. Instale la silla sobre el caucho y la tubería controlando que las aberturas en la tubería, caucho y salida de la silla coincidan.



Figura 6.19. Colocar Ramal

V. Coloque la abrazadera sobre la silla en la posición marcada y ajuste alternadamente hasta la línea de apriete. Con esto la silla quedará lista para su uso.

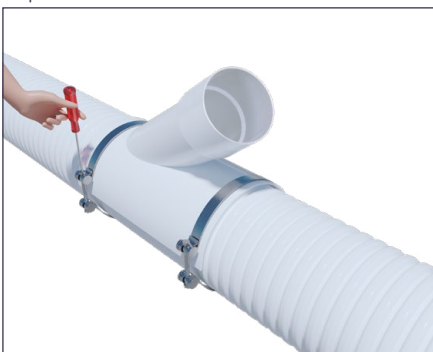


Figura 6.20. Abrazaderas

6.10.3. Instalación con Adhesivo

En este caso, el procedimiento será idéntico al del caso anterior, salvo en el Punto iii.- donde, en lugar de colocar caucho corrugado 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 adhesivo epóxico Novafort, asegurándose de llenar completamente los valles de la tubería en el perímetro de la perforación.

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

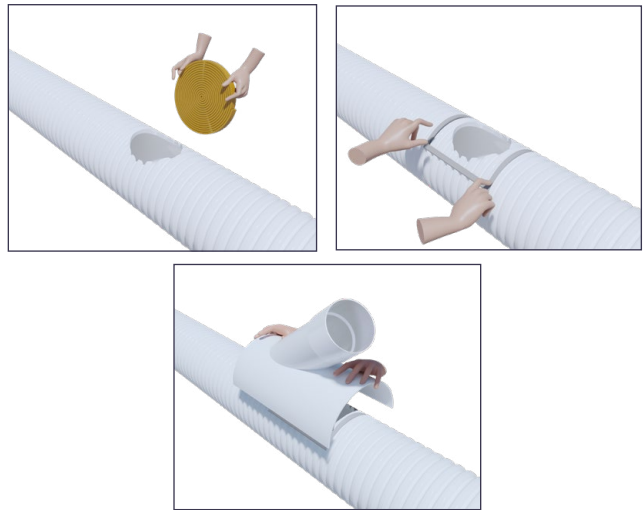


Figura 6.21. Colocación con Sellador

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 Pozos 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:

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

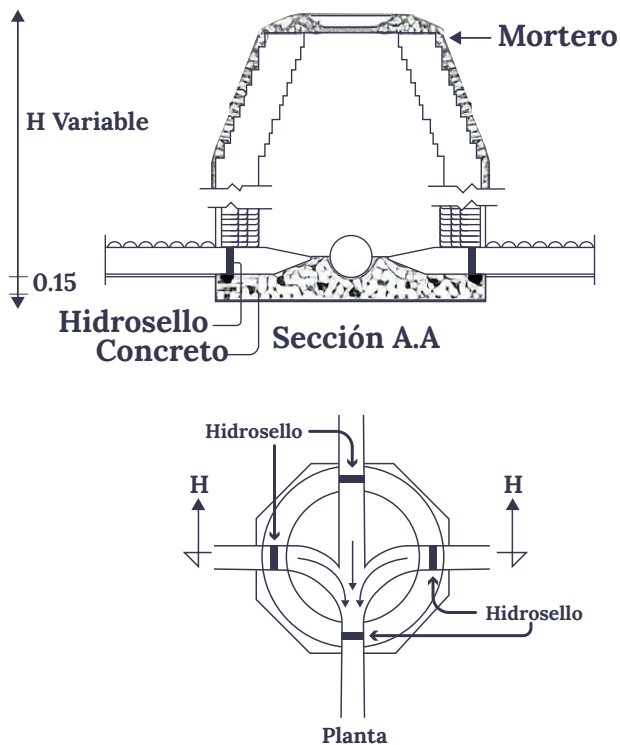


Figura 6.22. Conexión a Cámaras Rígidas

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 medias 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 Novacam

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 abatido), 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 recubrimientos 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 fracturas, desgastes o fugas.

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 7.5% de su diámetro interior inicial. Sin embargo, este requisito puede variar en función de la normativa local.

Para realizar la medición deberán utilizarse los instrumentos 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 de el recubrimiento ya que, 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 exfiltración o escape 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 Cubierta (con un recubrimiento mínimo de 600 mm y dejando las uniones de las tuberías descubiertas). Un procedimiento posible para esta prueba es el siguiente:

I. 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 se aparecer, serán motivo de reemplazo de los materiales afectados.

II. 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 fondo de la tubería 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 freático y se deberán hacer con la tubería cubierta 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:

$$V_2 = 0,001 \cdot L \cdot D \cdot h$$

Siendo:

V₂: Volumen de infiltración admisible, en m³

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
100				00:03:46			
150				00:05:40			
200				00:07:34			
250			00:09:26				00:10:54
300			00:11:20			00:13:28	00:15:42
375		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

Diám. Nom. DN (mm)	Tiempo de Ensayo para Diferentes Largos de Tuberías (h:min:seg)						
	Largo de Tubería (m)						
	96	108	120	132	144	168	204
100							00:04:59
150				00:06:10	00:06:44	00:07:51	00:09:32
200	00:04:59	00:08:58	00:09:58	00:10:58	00:11:58	00:13:58	00:16:57
250	00:12:28	00:14:01	00:15:35	00:17:08	00:18:42	00:21:49	00:26:29
300	00:17:57	00:20:11	00:22:26	00:24:41	00:26:55	00:31:24	00:38:08
375	00:28:03	00:31:33	00:35:03	00:38:34	00:42:40	00:49:04	00:59:35
450	00:40:23	00:45:26	00:50:29	00:55:31	01:00:34	01:10:40	01:25:49
600	01:11:47	01:20:46	01:29:44	01:38:43	01:47:41	02:05:38	02:32:33
750	01:09:32	02:06:12	02:20:13	02:34:14	02:48:15	03:16:18	03:58:22
900	02:41:32	03:01:43	03:21:54	03:42:06	04:02:17	04:42:40	05:43:15



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)

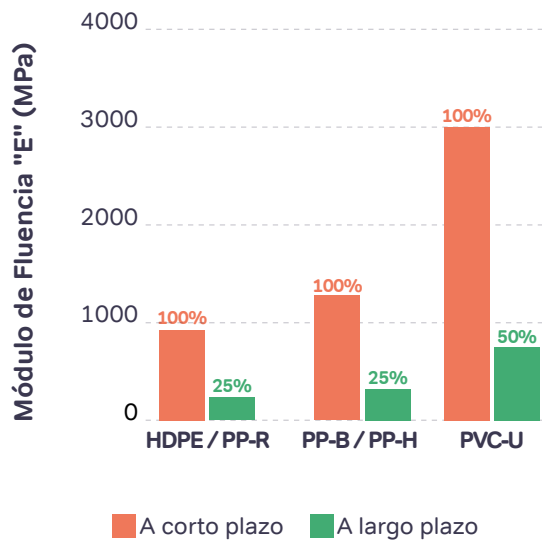
El PVC-U presenta parámetros mecánicos (módulo E, tensiones admisibles de tracción / compresión) más elevados que otros plásticos. Por lo tanto, una tubería de este material necesita espesores de pared más bajos (menos volumen) para lograr una resistencia similar que otros materiales termoplásticos.

MATERIAL	GRAVEDAD ESPECÍFICA	MÓDULO DE TENSIÓN GPa (ksi)	TENSIÓN DE ROTURA MPa (ksi)	LÍMITE ELÁSTICO MPa (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)	--
Polypropylene	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.

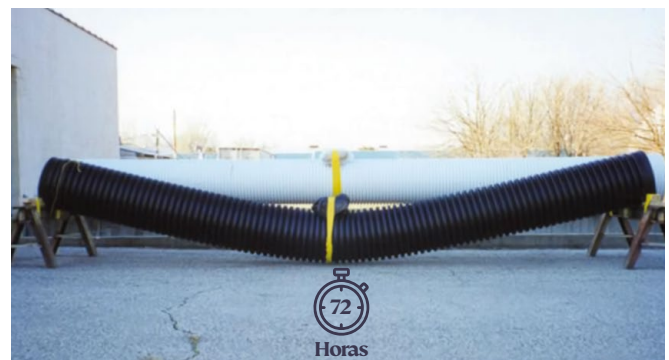
Por ejemplo, se sabe que, frente a una carga constante, el valor del módulo "E" del PVC-U disminuirá aproximadamente a un 50% de su valor inicial luego de 50 años, mientras que el valor del módulo "E" de los materiales pertenecientes a las poliolefinas, no solo parte de valores inferiores, sino que en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

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



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/m²). 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 SIMPLEMENTE 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:

E	EXCELENTE: Ácidos (diluidos / débiles) Bases / Álcalis
	30 días de exposición constante no causan daños. El plástico puede tolerarse durante años.
G	BUENA: Ácidos (fuerte / concentrado). Alcohol, Aldehídos, Hidrocarburos (alifáticos), Oxidantes (fuertes).
	Poco o ningún daño después de 30 días de exposición constante al reactivo.
F	JUSTO: Cetonas (aromáticas)
	Algunos efectos después de 7 días del reactivo. El efecto puede ser agrietamiento, pérdida de resistencia o decoloración.
N	NO RECOMENDADO: 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	FEPTFE/PFA	FLPE	FLPP	HDPE	LDPE	PC	PETG	PP	PVC-U	TYPE***
Ácidos, diluidos o débiles.	E	E	E	E	E	E	E	G	E	E	G
Ácidos,** fuertes/concentrados	E	E	G	G	G	G	G	N	G	G	F
Alcoholes alifáticos	E	E	E	E	E	E	G	G	E	G	E
Aldehídos	E	E	G	G	G	G	G	G	G	G	G
Bases/álcalis	E	E	F	E	E	E	N	N	E	E	F
Ésteres	G	E	G	G	G	G	N	G	G	N	N
Hidrocarburos alifáticos	E	E	E	G	G	F	G	G	G	G	E
Hidrocarburos aromáticos	G	E	E	N	N	N	N	N	N	N	N
Hidrocarburos halogenados	G	E	G	F	N	N	N	N	N	N	F
Cetonas aromáticas	G	E	G	G	N	N	N	N	N	F	N
Agentes oxidantes, fuertes.	E	E	F	F	F	F	F	F	F	G	N

*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

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.

• Deposición 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 alguna duda sobre algún compuesto que no se encuentra en este listado comunicarse con el Departamento Técnico de Pavco 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	23°C	60°C
Aceite de Algodón			E	E	Acido Diclocólico	
Aceite de Risino			E	E	Acido Esteárico	
Aceite de Linaza			E	E	Acido Fluorhídrico 10%	
Aceite de Lubricante			E	E	Acido Fluorhídrico 50%	
Aceites Minerales			E	B	Acido Fórmico	
Aceites y Grasas			E	B	Acido Fosfórico 25-85%	
Acetaldehido			NR	NR	Acido Gálico	
Acetato de Amilo			NR	NR	Acido Glicólico	
Acetato de Butilo			NR	NR	Acido Hipocloroso	
Acetato de Etilo			NR	NR	Acido Láctico 25%	
Acetato de Plomo			E	E	Acido Láurico	
Acetato de Sodio			E	E	Acido Linoleico	
Acetato de Vinilo			NR	NR	Acido Maléico	
Acetileno			I	I	Acido Málico	
Acetona			NR	NR	Acido Metusulfónico	
Acido Acético 80%			B	NR	Acido Nicotínico	
Acido Acético 20%			E	NR	Acido Nítrico 10%	
Acido Antraquinosulfónico			E	E	Acido Nítrico 66%	
Acido Artisulfónico			R	NR	Acido Oléico	
Acido Arsénico			E	B	Acido Oxálico	
Acido Bencesulfónico 10%			E	E	Acido Palmítico 10%	
Acido Benzóico			E	E	Acido Palmítico 70%	
Acido Bórico			E	E	Acido Peracético 40%	
Acido Bromhídrico 20%			E	E	Acido Perclórico 10%	
Acido Brómico			E	E	Acido Perclórico 70%	
Acido Butírico			R	NR	Acido Pírico	
Acido Carbónico			E	E	Acido Selénico	
Acido Cianhídrico			E	E	Acido Silícico	
Acido Cítrico			E	E	Acido Sulfuroso	
Acido Clorhídrico 20%			I	I	Acido Sulfúrico 10%	
Acido Clorhídrico 50%			E	E	Acido Sulfúrico 75%	
Acido Clorhídrico 80%			E	E	Acido Sulfúrico 90%	
Acido Cloracético 10%			B	R	Acido Sulfúrico 96%	
Acido Clorosulfónico			E	I	Acido Tánico	
Acido Cresílico 99%			B	NR	Acido Tartárico	
Acido Crómico 10%			E	E	Acidos Grasos	

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	
Acido Crómico 30%	E	NR	Acrilato de Etilo	NR	NR	
Acido 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 Etílico	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 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	Gasolina		NR	NR
Cloruro Ferroso		E	E	Gelatina		E	E
Cloruro Láurico		I	I	Glicerina Glicerol		E	E
Cloruro Mercúrico		B	B	Glicol		E	E
Cresol		NR	NR	Glucosa		E	E
Crotonaldehido		NR	NR	Heptano		I	I
Dextrosa		E	E	Hexano		NR	I
Dicloruro de Etileno		NR	NR	Hexanol (Terciario)		R	NR
Dicromato de Potasio		E	E	Hidrógeno		E	E
Dicromato de Sodio		B	R	Hidroquinina		E	E
Dimetil Amina		NR	NR	Hidróxido de Aluminio		E	E
Dióxido de Azufre (Húmedo)		NR	NR	Hidróxido de Amonio		E	E
Dióxido de Azufre (Seco)		E	E	Hidróxido de Bario 10%		E	E
Dióxido de Carbono		E	E	Hidróxido de Calcio		E	E
Disulfuro de Carbono		NR	NR	Hidróxido de Magnesio		E	E
Eter Etílico		NR	NR	Hidróxido de Potasio		E	E
Etilen Glicol		E	E	Hipoclorito de Calcio		E	E
Fenol		NR	NR	Hipoclorito de Sodio		E	E
Ferricianuro de Potasio		E	E	Kerosina		E	E
Ferricianuro de Sodio		E	I	Leche		E	E
Ferrocianuro de Sodio		E	E	Licor Blanco		E	E
Ferrocianuro de Potasio		E	E	Licor Lanning		E	E
Fluor (Gas Húmedo)		E	E	Melasas		E	E
Fluoruro de Aluminio		E	E	Mercurio		B	B
Fluoruro de Amonio 25%		NR	NR	Meta Fosfato de Amonio		E	E
Fluoruro de Cobre		E	E	Metil-etil-cetona		NR	NR
Fluoruro de Potasio		E	E	Monóxido de Carbono		E	E
Fluoruro de Sodio		I	I	Nafta		E	NR
Formaldehído		E	R	Nicotina		I	I
Fosfato Disódico		E	E	Nitrato de Aluminio		E	E
Fosfato Trisódico		E	E	Nitrato de Amonio		E	E
Fosgeno (Gas)		E	E	Nitrato de Calcio		E	E
Fosgeno (Líquido)		NR	NR	Nitrato de Cobre		E	E
Freon-12		I	I	Nitrato de Magnesio		E	E
Fructosa		E	E	Nitrato de Niquel		E	E
Frutas (Jugos - Pulpas)		E	E	Nitrato de Potasio		E	E
Furfural		NR	NR	Nitrato de Sodio		E	E
Gas Natural		E	E	Nitrato 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	Sulfito de Bario	E	E	
Nitrato Mercurioso	B	B	Sulfuro de Hidrógeno	E	E	
Nitrobenceno	NR	NR	Sulfuro 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	
Oxiclورو 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				
Sulfito de Sodio	E	E				

ANEXO III: CATÁLOGO DE PRODUCTOS

NORMA NTC 3722-3 S8



Referencia	Diámetro nominal	Diámetro exterior	Diámetro interior	Espesor de agua*	Rigidez mínima		Longitud total	Campana		Peso
					Tubería (PS)	Anular (RS)		Longitud	Diámetro exterior	
	mm	mm	mm	mm	psi	Kn/m2	m	mm	mm	kg/m
2900090	110	110	99	1	57	8	6	90	128	1,31
2900092	160	160	145	1,2	57	8	6	101	183	2,32
2900094	200	200	182	1,4	57	8	6	121	230	3,15
2900081	250	250	227	1,7	57	8	6	151	289	4,75
2900083	315	315	284	1,9	57	8	6	201	366	7,29
2902493	355	355	327	2,1	57	8	6	187	402	9,33
2900085	400	400	362	2,3	57	8	6	242	462	11,38
2900087	450	450	407	2,5	57	8	6	272	519	16,67
2900089	500	500	452	2,8	57	8	6	302	578	19,67

NORMA NTC 3722-3 S4



Referencia	Diámetro nominal	Diámetro exterior	Diámetro interior	Espesor de agua*	Rigidez mínima		Longitud total	Campana		Peso
					Tubería PS	Anular RS		Longitud	Diámetro exterior	
	mm	mm	mm	mm	psi	Kn/m2	m	mm	mm	kg/m
2900100	160	160	147	1,2	28	4	6	101	183	2,36
2900102	200	200	185	1,4	28	4	6	117	227	3,10
2900096	250	250	231	1,7	28	4	6	134	283	4,21
2904921	315	315	291	1,9	28	4	6	187	358	6,87
2902494	355	355	328	2,1	28	4	6	187	402	8,80
2909762	400	400	370	2,3	28	4	6	234	454	11,40

NORMA NTC 5055-3 SERIE 10 (S4)



Referencia	Diámetro Nominal	Diámetro Exterior	Diámetro interior	Espesor de agua*	Rigidez mínima		Longitud total	Campana		Peso
					Tubería PS	Anular RS		Longitud	Diámetro exterior	
	pulg.	mm	mm	mm	psi	Kn/m2	m	mm	mm	kg/m
2906313	24	650	594,7	1,78	28	4	6,5	345	688	22,31
2900511	27	730	669,8	1,78	28	4	6,5	394	833	24,54
2906378	30	813	746,5	2,16	28	4	6,5	450	927	29,60
2904604	33	898	823,1	2,41	28	4	6,5	525	1027	42,61
2904605	36	980	898,4	2,67	28	4	6,5	525	115	40,69
2905865	39	1065	974,9	3,05	28	4	6,5	401	1125	59,85
2905866	42	1149	1050,8	3,3	28	4	6,5	401	1209	64,62
2905867	45	1242	1126,9	3,68	28	4	6,5	400	1320	69,93
2905868	48	1325	1202,8	4,06	28	4	6,5	400	1403	73,89

NORMA NTC 5055-3 SERIE 46 (S6)



Referencia	Diámetro Nominal	Diámetro Exterior	Diámetro interior	Espesor de agua*	Rigidez mínima		Longitud total	Campana		Peso
					Tubería PS	Anular RS		Longitud	Diámetro exterior	
	pulg.	mm	mm	mm	psi	Kn/m2	m	mm	mm	kg/m
2909411	24	650	594,7	2,79	46	6	6,5	345	688	25,13
2909412	27	730	669,8	3,05	46	6	6,5	394	833	31,56
2909413	30	813	746,5	3,3	46	6	6,5	450	927	40,33
2909741	33	898	823,1	3,81	46	6	6,5	525	1027	45,47
2909414	36	980	898,4	3,94	46	6	6,5	525	115	54,51
2909811	39	1065	974,9	5,08	46	6	6,5	401	1125	66,61
2909818	42	1149	1050,8	5,08	46	6	6,5	401	1209	73,27
2913109	45	1242	1126,9	5,08	46	6	6,5	400	1320	78,63
2913110	48	1325	1202,8	5,08	46	6	6,5	400	1403	87,04

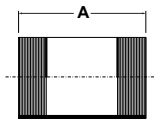
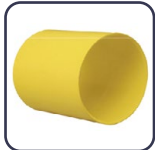
*Espesor de Liner. En caso de más información remitirse al numeral 2.8.2.

NORMA PAVCO WAVIN SERIE 40 (S5)



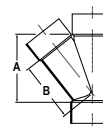
Referencia	Diámetro nominal	Diámetro exterior	Diámetro Interior	Espesor de agua*	Rigidez mínima		Longitud Total	Campana		Peso
					Tubería ps	Anular rs		Longitud	Diámetro exterior	
					psi	Kn/m2				
2910888	45	1242	1127	3,68	40	5	6,5	400	1320	71,54
2910889	48	1325	1203	4,06	40	5	6,5	400	1403	74,80

Uniones Campana x Campana



Referencia	Diámetro Nominal mm / pulg	Dimensiones mm	
		A	B
2901576	110	177,00	-
2901577	160	250,00	-
2907997	200	315,00	-
2902914	250	335,00	-
2902917	315	344,10	-
2910937	355	400,00	-
2902921	400	410,00	-
2902924	450	430,00	-
2902926	500	460,00	-
2906753	24"	704,00	-
2900517	27"	792,00	-
2900518	30"	905,00	-
2906333	33"	780,00	-
2907224	36"	780,00	-
2907225	39"	780,00	-
2907299	42"	856,00	-
2911972	45"	-	-
2911973	48"	-	-

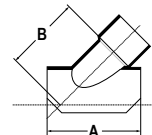
Yee reducida Campana x Campana x Campana



Referencia	Diámetro Nominal mm	Dimensiones	
		A (mm)	B (mm)
2901709	160 x 160 x 160	235,00	218,87
2901737	200 x 200 x 160	266,00	249
2902962	250 x 250 x 160	282,00	286
2902963	315 x 315 x 160	329,00	310

*Accesorios de diferentes dimensiones a las mostradas, se debe consultar a Pavco Wavin para posibilidad de fabricación bajo pedido.

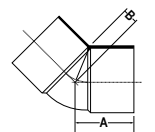
Silla Yee



Referencia	Diámetro Nominal mm	Dimensiones	
		A (mm)	B (mm)
2901309	160 x 110	260,00	190,25
2901311	200 x 110	320,00	218,82
2901313	200 x 160	398,45	246,80
2901315	250 x 110	390,00	263,39
2901317	250 x 160	390,00	287,34
2903113	250 x 200	450,00	300,00
2902777	315 x 110	320,00	300,00
2907844	315 x 160	398,45	325,00
2902978	315 x 200	450,00	340,00
2902983	355 x 110	310,00	325,00
2902982	355 x 160	390,00	360,37
2902979	355 x 200	450,00	370,00
2902781	400 x 110	320,00	360,00
2907845	400 x 160	400,00	385,00
2902785	400 x 200	360,00	410,00
2902776	400 x 250	500,00	435,00
2902787	450 x 160	420,00	431,38
2902980	450 x 200	450,00	445,00
2902789	500 x 160	420,00	467,48
2902990	500 x 200	450,00	480,00
2903112	24" x 160	390,00	565,15
2902977	24" x 200	450,00	580,00
2903107	27" x 160	390,00	620,00
2902987	27" x 200	450,00	640,00
2906134	30" x 160	390,00	675,00
2906474	30" x 200	450,00	700,00
2906159	33" x 160	390,00	735,00
2906135	36" x 160	390,00	795,00

*Accesorios de diferentes dimensiones a las mostradas, se debe consultar a Pavco Wavin para posibilidad de fabricación bajo pedido.

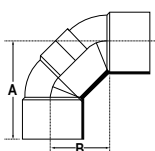
Codos 45° Campana x Campana



Referencia	Diámetro Nominal mm	Dimensiones	
		A (mm)	B (mm)
2901045	110	104,00	26,00
2901046	160	147,93	35,66
2902687	200	144,00	44,00
2902688	250	180,00	55,00
2903071	315	203,00	68,00

*Accesorios de diferentes dimensiones a las mostradas, se debe consultar a Pavco Wavin para posibilidad de fabricación bajo pedido.

Codos 90° Campana x Campana



Referencia	Diámetro Nominal mm	Dimensiones	
		A (mm)	B (mm)
2901051	110	212,00	130,00
2901052	160	295,00	185,00
2902689	200	207,00	107,00
2902690	250	257,00	132,00
2902691	315	299,00	164,00
2903061	355	324,00	184,00
2902692	400	352,00	207,00
2902693	450	382,00	232,00
2902723	500	412,00	257,00

*Accesorios de diferentes dimensiones a las mostradas, se debe consultar a Pavco Wavin para posibilidad de fabricación bajo pedido.

Sillas Yee Kit



EL KIT CONSTA DE:
 • Silla yee
 • 2 Abrazaderas
 • 1 Caucho

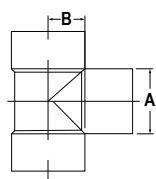
Referencia	Diámetro Nominal mm	Dimensiones	
		A (mm)	B (mm)
2901309	160 x 110	260,00	190,25
2901311	200 x 110	320,00	218,82
2901313	200 x 160	398,45	246,80
2901315	250 x 110	390,00	263,39
2901317	250 x 160	390,00	287,34
2903113	250 x 200	450,00	300,00
2902777	315 x 110	320,00	300,00
2907844	315 x 160	398,45	325,00

Transiciones conector Novafort concreto - gres



Referencia	Diámetro Nominal mm
2902606	200 x 8"
2903070	160 x 6"

Tee Campana x Campana



Referencia	Diámetro Nominal mm	Dimensiones	
		A (mm)	B (mm)
2901445	160 x 160	166,50	84,50
2901526	200 x 160	166,50	122,00
2902825	200 x 200	206,60	110,00
2902826	250 x 160	166,50	130,00
2903108	250 x 200	206,60	135,00
2902820	250 x 250	256,80	135,00
2903110	315 x 200	206,60	170,00
2902821	315 x 315	322,00	170,00
2903062	355 x 355	363,00	190,00
2902822	400 x 400	411,00	215,00
2902823	450 x 450	462,00	240,00

*Accesorios de diferentes dimensiones a las mostradas, se debe consultar a Pavco Wavin para posibilidad de fabricación bajo pedido.

Adaptador Novafort Sanitaria



Referencia	Diámetro Nominal mm / pulg.
2902965	110 x 4"
2902604	160 x 6"
2902605	200 x 6"
2904914	200 x 8"
2904915	250 x 10"

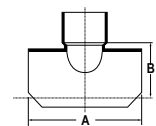
Sillas Tee Kit S8



EL KIT CONSTA DE:
 • Silla tee
 • 2 Abrazaderas
 • 1 Caucho

Referencia	Diámetro Nominal mm	Dimensiones	
		A (mm)	B (mm)
2901264	160 x 110	240,00	100,00
2901265	200 x 110	280,00	115,00
2901266	200 x 160	340,00	115,00
2901267	250 x 110	280,00	143,17
2901268	250 x 160	350,00	143,17
2902731	315 x 110	280,00	186,00
2902732	315 x 160	390,00	185,29

Sillas Tee



Referencia	Diámetro Nominal mm	Dimensiones	
		A (mm)	B (mm)
2901295	160 x 110	240,00	100,00
2903085	160 x 160	280,00	100,00
2901297	200 x 110	280,00	115,00
2901299	200 x 160	340,00	115,00
2901301	250 x 110	280,00	143,17
2901303	250 x 160	350,00	143,17
2903093	250 x 200	360,00	143,17
2902766	315 x 110	280,00	186,00
2902768	315 x 160	390,00	185,29
2903094	315 x 200	360,00	185,29
2903095	315 x 250	420,00	185,29
2902984	355 x 110	310,00	212,50
2902981	355 x 160	310,00	195,00
2903111	355 x 200	360,00	195,00
2902772	400 x 160	340,00	225,00
2903096	400 x 200	360,00	220,00
2903097	400 x 250	420,00	220,00
2902774	450 x 160	420,00	253,00
2902775	500 x 160	420,00	278,00
2902985	24" x 160	355,00	372,50
2902986	24" x 200	385,00	335,00
2902986	24 x 200	385,00	327,50


*Accesorios de diferentes dimensiones a las mostradas, se debe consultar a Pavco Wavin para posibilidad de fabricación bajo pedido.

Hidrosellos Novafort



Referencia	Diámetro Nominal mm / pulg.
2000281	110 - S8
2000282	160 - S8 y S4
2000283	200 - S8 y S4
2000284	250 - S8
2000390	250 - S4
2000285	315 - S8 y S4
2000386	355 - S8 y S4
2000286	400 - S8
2000391	400 - S4
2000287	450 - S8
2000288	500 - S8
2000357	24" - S4 y S6
2000358	27" - S4 y S6
2000359	30" - S4 y S6
2000541	33" - S4 y S6
2000542	36" - S4 y S6
2000734	39" - S4 y S6
2000751	42" - S4 y S6
2000752	45" - S4, S5 y S6
2000753	48" - S4, S5 y S6

Lubricante Novafort Unión Platino



Referencia	Und	Diámetro Nominal mm / pulg	Nº de Ensamblés por 500g
2902743	500g	110	100
		160	45
		200	30
		250	20
		315	15
		400	7
		450	6
		500	5
		24	2
		27	2
		30	2
		33	1
		36	1
		39	1
		42	1
		45	1
48	1		
2902741	4 kg		

Hidrosellos Silla Yee Kit




Referencia	Diámetro mm / pulg
S8	
2000252	160 x 110
2000253	200 x 110
2000254	200 x 160
2000255	250 x 110
2000256	250 x 160
2000257	315 x 110
2000258	315 x 160
2000245	160 x 110
2000246	200 x 110
2000247	200 x 160
2000248	250 x 110
2000249	250 x 160
2000250	315 x 110
2000251	315 x 160
S4	
2000401	200 x 160
2000402	250 x 160
2000400	315 x 160

Adaptadores Espigo x Campana



Referencia	Diámetro Nominal mm	Dimensiones	
		A (mm)	B (mm)
2900669	4" x 110	91,00	174,00
2900670	6" x 160	98,00	222,00
2900671	8" x 200	100,00	253,00


Adhesivo Epóxico Novafort



Referencia	Descripción
2906320	1/4 gl
2906396	1/2 gl


Rendimiento Instalación Sillas			
Diámetro silla	Rendimiento /gl	Diámetro Silla	Rendimiento /gl
160	31	400	12
200	24	450	11
250	19	500	9
315	15	24"	7
355	13	27"	6

Abrazaderas Acero inoxidable



Referencia	Descripción
2000225	Silla 160 Kit
2000226	Silla 200 Kit
2000227	Silla 250 Kit
2000228	Silla 315 Kit

Reducciones



Referencia	Descripción	Diámetro Nominal A (mm)
2902999	Reducción excéntrica	200 X 160
2903092	Reducción excéntrica	160 X 110
2903087	Reducción concéntrica	160 X 110
2903086	Reducción concéntrica	160 X 4"

ANEXO IV: CÁLCULOS HIDRÁULICOS

Capacidad hidráulica - tubería Novafort vs. tubería de concreto

Material	NOVAFORT		CONCRETO		NOVAFORT		CONCRETO		NOVAFORT		CONCRETO		NOVAFORT		CONCRETO	
D. Nominal	160		150		200		200		250		250		315		300	
D. Interno mm	145		150		182		200		227		250		284		300	
Pendiente %	V (m/s)	Q (L/s)	V (m/s)	Q (L/s)	V (m/s)	Q (L/s)	V (m/s)	Q (L/s)	V (m/s)	Q (L/s)	V (m/s)	Q (L/s)	V (m/s)	Q (L/s)	V (m/s)	Q (L/s)
0,1	0,38	6,36	0,27	4,82	0,45	11,65	0,33	10,37	0,52	21,00	0,38	18,81	0,60	38,16	0,43	30,58
0,2	0,54	8,99	0,39	6,81	0,63	16,48	0,47	14,67	0,73	29,70	0,54	26,59	0,85	53,97	0,61	43,25
0,3	0,67	11,01	0,47	8,34	0,78	20,18	0,57	17,96	0,90	36,37	0,66	32,57	1,04	66,10	0,75	52,97
0,4	0,77	12,71	0,55	9,63	0,90	23,30	0,66	20,74	1,04	42,00	0,77	37,61	1,20	76,33	0,87	61,16
0,5	0,86	14,21	0,61	10,77	1,00	26,05	0,74	23,19	1,16	46,96	0,86	42,05	1,35	85,34	0,97	68,38
0,6	0,94	15,57	0,67	11,80	1,10	28,54	0,81	25,41	1,27	51,44	0,94	46,06	1,48	93,48	1,06	74,90
0,7	1,02	16,81	0,72	12,74	1,18	30,82	0,87	27,44	1,37	55,56	1,01	49,75	1,59	100,97	1,14	80,91
0,8	1,09	17,97	0,77	13,62	1,27	32,95	0,93	29,34	1,47	59,40	1,08	53,19	1,70	107,94	1,22	86,49
0,9	1,15	19,07	0,82	14,45	1,34	34,95	0,99	31,12	1,56	63,00	1,15	56,42	1,81	114,49	1,30	91,74
1	1,22	20,10	0,86	15,23	1,42	36,84	1,04	32,80	1,64	66,41	1,21	59,47	1,91	120,69	1,37	96,70
1,5	1,49	24,61	1,06	18,65	1,73	45,12	1,28	40,17	2,01	81,33	1,48	72,83	2,33	147,81	1,68	118,43
2	1,72	28,42	1,22	21,54	2,00	52,10	1,48	46,38	2,32	93,91	1,71	84,10	2,69	170,68	1,93	136,76
2,5	1,92	31,78	1,36	24,08	2,24	58,25	1,65	51,86	2,59	105,00	1,92	94,03	3,01	190,82	2,16	152,90
3	2,11	34,81	1,49	26,38	2,45	63,81	1,81	56,81	2,84	115,02	2,10	103,00	3,30	209,03	2,37	167,49
3,5	2,28	37,60	1,61	28,49	2,65	68,92	1,95	61,36	3,07	124,23	2,27	111,25	3,56	225,78	2,56	180,91
4	2,43	40,19	1,72	30,46	2,83	73,68	2,09	65,60	3,28	132,81	2,42	118,94	3,81	241,37	2,74	193,40
4,5	2,58	42,63	1,83	32,31	3,00	78,15	2,21	69,58	3,48	140,87	2,57	126,15	4,04	256,01	2,90	205,13
5	2,72	44,94	1,93	34,05	3,17	82,38	2,33	73,34	3,67	148,49	2,71	132,97	4,26	269,86	3,06	216,23
5,5	2,85	47,13	2,02	35,72	3,32	86,40	2,45	76,92	3,85	155,74	2,84	139,46	4,47	283,03	3,21	226,78
6	2,98	49,23	2,11	37,30	3,47	90,24	2,56	80,34	4,02	162,66	2,97	145,67	4,67	295,62	3,35	236,87
6,5	3,10	51,24	2,20	38,83	3,61	93,93	2,66	83,62	4,18	169,30	3,09	151,61	4,86	307,69	3,49	246,54
7	3,22	53,17	2,28	40,29	3,75	97,47	2,76	86,78	4,34	175,69	3,21	157,34	5,04	319,30	3,62	255,85
7,5	3,33	55,04	2,36	41,71	3,88	100,89	2,86	89,82	4,49	181,86	3,32	162,86	5,22	330,51	3,75	264,83
8	3,44	56,84	2,44	43,08	4,01	104,20	2,95	92,77	4,64	187,83	3,43	168,20	5,39	341,35	3,87	273,51
8,5	3,55	58,59	2,51	44,40	4,13	107,41	3,04	95,62	4,78	193,61	3,53	173,38	5,55	351,86	3,99	281,93
9	3,65	60,29	2,59	45,69	4,25	110,52	3,13	98,40	4,92	199,22	3,63	178,40	5,72	362,06	4,10	290,10
9,5	3,75	61,94	2,66	46,94	4,36	113,55	3,22	101,09	5,06	204,68	3,73	183,29	5,87	371,98	4,22	298,05
10	3,85	63,55	2,73	48,16	4,48	116,50	3,30	103,72	5,19	210,00	3,83	188,05	6,02	381,64	4,33	305,79
10,5	3,94	65,12	2,79	49,35	4,59	119,38	3,38	106,28	5,32	215,18	3,93	192,70	6,17	391,07	4,43	313,35
11	4,04	66,65	2,86	50,51	4,70	122,19	3,46	108,78	5,44	220,24	4,02	197,23	6,32	400,27	4,54	320,72
11,5	4,13	68,15	2,92	51,65	4,80	124,93	3,54	111,22	5,56	225,19	4,11	201,66	6,46	409,27	4,64	327,93
12	4,22	69,62	2,99	52,76	4,91	127,62	3,62	113,62	5,68	230,04	4,20	206,00	6,60	418,07	4,74	334,98
12,5	4,30	71,05	3,05	53,84	5,01	130,25	3,69	115,96	5,80	234,78	4,28	210,25	6,74	426,69	4,84	341,89
13	4,39	72,46	3,11	54,91	5,11	132,83	3,76	118,26	5,92	239,43	4,37	214,41	6,87	435,14	4,93	348,66
13,5	4,47	73,84	3,17	55,96	5,20	135,36	3,84	120,51	6,03	243,99	4,45	218,50	7,00	443,43	5,03	355,30
14	4,55	75,19	3,22	56,98	5,30	137,85	3,91	122,72	6,14	248,47	4,53	222,51	7,13	451,57	5,12	361,82
14,5	4,63	76,53	3,28	57,99	5,39	140,29	3,98	124,89	6,25	252,87	4,61	226,45	7,25	459,56	5,21	368,23
15	4,71	77,83	3,34	58,98	5,48	142,68	4,04	127,03	6,35	257,19	4,69	230,32	7,38	467,41	5,30	374,52

Material	NOVAFORT		CONCRETO		NOVAFORT		CONCRETO		NOVAFORT		CONCRETO		NOVAFORT		CONCRETO	
D. Nominal	160		150		200		200		250		250		315		300	
D. Interno mm	145		150		182		200		227		250		284		300	
Pendiente %	V (m/s)	Q (L/s)	V (m/s)	Q (L/s)	V (m/s)	Q (L/s)	V (m/s)	Q (L/s)	V (m/s)	Q (L/s)	V (m/s)	Q (L/s)	V (m/s)	Q (L/s)	V (m/s)	Q (L/s)
15,5	4,79	79,12	3,39	59,96	5,58	145,04	4,11	129,13	6,46	261,44	4,77	234,12	7,50	475,14	5,39	380,71
16	4,87	80,39	3,45	60,92	5,66	147,36	4,18	131,19	6,56	265,63	4,85	237,87	7,62	482,74	5,47	386,80
16,5	4,94	81,63	3,50	61,86	5,75	149,65	4,24	133,23	6,67	269,74	4,92	241,56	7,74	490,23	5,56	392,80
17	5,02	82,86	3,55	62,79	5,84	151,90	4,30	135,23	6,77	273,80	4,99	245,19	7,86	497,60	5,64	398,71
17,5	5,09	84,07	3,61	63,71	5,92	154,12	4,37	137,21	6,86	277,80	5,07	248,77	7,97	504,87	5,72	404,53
18	5,16	85,26	3,66	64,61	6,01	156,30	4,43	139,15	6,96	281,74	5,14	252,30	8,08	512,03	5,80	410,27
18,5	5,23	86,44	3,71	65,50	6,09	158,46	4,49	141,07	7,06	285,62	5,21	255,78	8,19	519,09	5,88	415,93
19	5,30	87,60	3,76	66,38	6,17	160,59	4,55	142,97	7,15	289,46	5,28	259,21	8,30	526,06	5,96	421,51
19,5	5,37	88,74	3,81	67,25	6,25	162,69	4,61	144,83	7,25	293,24	5,35	262,60	8,41	532,93	6,04	427,02
20	5,44	89,87	3,85	68,11	6,33	164,76	4,67	146,68	7,34	296,98	5,42	265,95	8,52	539,72	6,12	432,46
20,5	5,51	90,99	3,90	68,95	6,41	166,80	4,73	148,50	7,43	300,67	5,49	269,25	8,63	546,43	6,19	437,83
21	5,58	92,09	3,95	69,79	6,49	168,83	4,78	150,30	7,52	304,31	5,55	272,51	8,73	553,05	6,27	443,14
21,5	5,64	93,18	4,00	70,62	6,57	170,82	4,84	152,08	7,61	307,91	5,62	275,74	8,83	559,60	6,34	448,38
22	5,71	94,26	4,04	71,43	6,64	172,80	4,90	153,84	7,70	311,47	5,68	278,93	8,94	566,07	6,42	453,57
22,5	5,77	95,33	4,09	72,24	6,72	174,75	4,95	155,58	7,78	314,99	5,75	282,08	9,04	572,46	6,49	458,69
23	5,84	96,38	4,13	73,04	6,79	176,68	5,01	157,30	7,87	318,47	5,81	285,20	9,14	578,79	6,56	463,76
23,5	5,90	97,42	4,18	73,83	6,86	178,59	5,06	159,00	7,95	321,92	5,87	288,28	9,24	585,05	6,63	468,77
24	5,96	98,45	4,22	74,61	6,94	180,48	5,11	160,68	8,04	325,32	5,93	291,33	9,33	591,24	6,70	473,74
24,5	6,02	99,47	4,27	75,38	7,01	182,35	5,17	162,34	8,12	328,69	6,00	294,35	9,43	597,36	6,77	478,64
25	6,09	100,48	4,31	76,15	7,08	184,20	5,22	163,99	8,20	332,03	6,06	297,34	9,53	603,43	6,84	483,50
25,5	6,15	101,48	4,35	76,90	7,15	186,04	5,27	165,62	8,29	335,34	6,12	300,30	9,62	609,43	6,91	488,31
26	6,21	102,47	4,39	77,66	7,22	187,85	5,32	167,24	8,37	338,61	6,18	303,23	9,71	615,38	6,98	493,08
26,5	6,26	103,45	4,44	78,40	7,29	189,65	5,37	168,84	8,45	341,85	6,24	306,13	9,81	621,27	7,04	497,80
27	6,32	104,42	4,48	79,13	7,36	191,43	5,42	170,43	8,53	345,06	6,29	309,00	9,90	627,10	7,11	502,47
27,5	6,38	105,39	4,52	79,86	7,43	193,20	5,47	172,00	8,60	348,24	6,35	311,85	9,99	632,88	7,17	507,10
28	6,44	106,34	4,56	80,59	7,49	194,94	5,52	173,55	8,68	351,39	6,41	314,67	10,08	638,61	7,24	511,69
28,5	6,50	107,29	4,60	81,30	7,56	196,68	5,57	175,10	8,76	354,51	6,47	317,47	10,17	644,29	7,30	516,24
29	6,55	108,22	4,64	82,01	7,63	198,39	5,62	176,63	8,84	357,61	6,52	320,24	10,26	649,91	7,37	520,75
29,5	6,61	109,15	4,68	82,72	7,69	200,10	5,67	178,14	8,91	360,68	6,58	322,99	10,35	655,49	7,43	525,22
30	6,67	110,07	4,72	83,41	7,76	201,79	5,72	179,64	8,99	363,72	6,64	325,72	10,43	661,02	7,49	529,65
30,5	6,72	110,99	4,76	84,11	7,82	203,46	5,77	181,14	9,06	366,74	6,69	328,42	10,52	666,51	7,56	534,05
31	6,78	111,89	4,80	84,79	7,88	205,12	5,81	182,61	9,14	369,73	6,75	331,10	10,61	671,95	7,62	538,41
31,5	6,83	112,79	4,84	85,47	7,95	206,77	5,86	184,08	9,21	372,70	6,80	333,76	10,69	677,35	7,68	542,73
32	6,88	113,68	4,88	86,15	8,01	208,40	5,91	185,54	9,28	375,65	6,85	336,40	10,78	682,70	7,74	547,02
32,5	6,94	114,57	4,91	86,82	8,07	210,03	5,95	186,98	9,35	378,57	6,91	339,02	10,86	688,02	7,80	551,28

Caudal y velocidad a tubo lleno

$$V = \frac{1}{n} R^{2/3} S^{1/2}$$

Donde
n NOVAFORT = 0,009
n CONCRETO = 0,013

Material	NOVAFORT		CONCRETO		NOVAFORT		CONCRETO		NOVAFORT		CONCRETO		NOVAFORT		CONCRETO	
D. Nominal	355		350		400		400		450		450		500		500	
D. Interno mm	327		350		362		400		407		450		452		500	
Pendiente %	V (m/s)	Q (L/s)	V (m/s)	Q (L/s)	V (m/s)	Q (L/s)	V (m/s)	Q (L/s)	V (m/s)	Q (L/s)	V (m/s)	Q (L/s)	V (m/s)	Q (L/s)	V (m/s)	Q (L/s)
0,1	0,66	55,58	0,48	46,13	0,71	72,89	0,52	65,86	0,77	99,63	0,57	90,16	0,82	131,78	0,61	119,41
0,2	0,94	78,60	0,68	65,23	1,00	103,09	0,74	93,14	1,08	140,90	0,80	127,50	1,16	186,36	0,86	168,87
0,3	1,15	96,27	0,83	79,89	1,23	126,26	0,91	114,07	1,33	172,57	0,98	156,16	1,42	228,25	1,05	206,82
0,4	1,32	111,16	0,96	92,25	1,42	145,79	1,05	131,71	1,53	199,26	1,13	180,32	1,64	263,56	1,22	238,81
0,5	1,48	124,29	1,07	103,14	1,58	163,00	1,17	147,26	1,71	222,78	1,27	201,60	1,84	294,66	1,36	267,00
0,6	1,62	136,15	1,17	112,99	1,73	178,56	1,28	161,32	1,88	244,04	1,39	220,84	2,01	322,79	1,49	292,48
0,7	1,75	147,06	1,27	122,04	1,87	192,86	1,39	174,24	2,03	263,60	1,50	238,54	2,17	348,65	1,61	315,92
0,8	1,87	157,21	1,36	130,47	2,00	206,18	1,48	186,27	2,17	281,80	1,60	255,01	2,32	372,72	1,72	337,73
0,9	1,99	166,75	1,44	138,38	2,12	218,68	1,57	197,57	2,30	298,89	1,70	270,48	2,46	395,33	1,82	358,22
1	2,09	175,77	1,52	145,87	2,24	230,51	1,66	208,26	2,42	315,06	1,79	285,11	2,60	416,72	1,92	377,60
1,5	2,56	215,27	1,86	178,65	2,74	282,32	2,03	255,06	2,97	385,87	2,20	349,18	3,18	510,37	2,36	462,46
2	2,96	248,57	2,14	206,29	3,17	326,00	2,34	294,52	3,42	445,56	2,54	403,20	3,67	589,33	2,72	534,00
2,5	3,31	277,91	2,40	230,63	3,54	364,47	2,62	329,28	3,83	498,15	2,83	450,79	4,11	658,89	3,04	597,03
3	3,63	304,44	2,63	252,65	3,88	399,26	2,87	360,71	4,19	545,70	3,10	493,82	4,50	721,78	3,33	654,01
3,5	3,92	328,83	2,84	272,89	4,19	431,25	3,10	389,61	4,53	589,42	3,35	533,38	4,86	779,61	3,60	706,42
4	4,19	351,53	3,03	291,73	4,48	461,03	3,31	416,51	4,84	630,12	3,59	570,21	5,19	833,44	3,85	755,19
4,5	4,44	372,86	3,22	309,43	4,75	488,99	3,52	441,78	5,14	668,34	3,80	604,80	5,51	883,99	4,08	801,00
5	4,68	393,02	3,39	326,17	5,01	515,44	3,71	465,68	5,42	704,49	4,01	637,52	5,81	931,81	4,30	844,33
5,5	4,91	412,21	3,56	342,09	5,25	540,60	3,89	488,41	5,68	738,88	4,20	668,63	6,09	977,29	4,51	885,54
6	5,13	430,54	3,71	357,30	5,49	564,64	4,06	510,12	5,93	771,73	4,39	698,36	6,36	1020,75	4,71	924,92
6,5	5,34	448,12	3,87	371,89	5,71	587,70	4,23	530,95	6,17	803,25	4,57	726,88	6,62	1062,43	4,90	962,68
7	5,54	465,03	4,01	385,93	5,93	609,88	4,38	551,00	6,41	833,57	4,74	754,32	6,87	1102,53	5,09	999,02
7,5	5,73	481,35	4,15	399,47	6,13	631,29	4,54	570,34	6,63	862,83	4,91	780,80	7,11	1141,23	5,27	1034,09
8	5,92	497,14	4,29	412,57	6,33	651,99	4,69	589,04	6,85	891,12	5,07	806,40	7,35	1178,66	5,44	1068,00
8,5	6,10	512,44	4,42	425,27	6,53	672,06	4,83	607,17	7,06	918,55	5,23	831,22	7,57	1214,93	5,61	1100,87
9	6,28	527,30	4,55	437,60	6,72	691,54	4,97	624,77	7,26	945,18	5,38	855,32	7,79	1250,16	5,77	1132,79
9,5	6,45	541,75	4,67	449,59	6,90	710,49	5,11	641,89	7,46	971,08	5,53	878,76	8,00	1284,41	5,93	1163,83
10	6,62	555,82	4,79	461,27	7,08	728,95	5,24	658,57	7,66	996,31	5,67	901,58	8,21	1317,78	6,08	1194,06
10,5	6,78	569,55	4,91	472,66	7,26	746,95	5,37	674,83	7,85	1020,91	5,81	923,85	8,42	1350,32	6,23	1223,55
11	6,94	582,95	5,03	483,78	7,43	764,53	5,50	690,71	8,03	1044,93	5,95	945,59	8,61	1382,10	6,38	1252,34
11,5	7,10	596,05	5,14	494,66	7,60	781,71	5,62	706,23	8,21	1068,42	6,08	966,84	8,81	1413,16	6,52	1280,49
12	7,25	608,87	5,25	505,30	7,76	798,52	5,74	721,42	8,39	1091,40	6,21	987,64	9,00	1443,56	6,66	1308,03
12,5	7,40	621,43	5,36	515,71	7,92	814,99	5,86	736,30	8,56	1113,90	6,34	1008,00	9,18	1473,32	6,80	1335,00
13	7,55	633,73	5,47	525,93	8,08	831,13	5,98	750,88	8,73	1135,96	6,46	1027,96	9,36	1502,50	6,93	1361,44
13,5	7,69	645,81	5,57	535,95	8,23	846,96	6,09	765,19	8,90	1157,60	6,59	1047,55	9,54	1531,12	7,07	1387,37
14	7,83	657,66	5,67	545,78	8,38	862,50	6,20	779,23	9,06	1178,84	6,71	1066,77	9,72	1559,22	7,20	1412,83
14,5	7,97	669,30	5,77	555,44	8,53	877,77	6,31	793,02	9,22	1199,71	6,83	1085,65	9,89	1586,82	7,32	1437,84
15	8,11	680,74	5,87	564,94	8,67	892,78	6,42	806,58	9,38	1220,22	6,94	1104,21	10,06	1613,95	7,45	1462,42
15,5	8,24	691,99	5,97	574,28	8,82	907,53	6,52	819,91	9,53	1240,39	7,06	1122,46	10,22	1640,62	7,57	1486,59
16	8,37	703,06	6,06	583,46	8,96	922,06	6,63	833,03	9,69	1260,24	7,17	1140,42	10,39	1666,88	7,69	1510,38
16,5	8,50	713,96	6,16	592,51	9,10	936,35	6,73	845,94	9,84	1279,78	7,28	1158,11	10,55	1692,72	7,81	1533,80
17	8,63	724,70	6,25	601,42	9,23	950,43	6,83	858,67	9,98	1299,02	7,39	1175,52	10,71	1718,18	7,93	1556,87
17,5	8,76	735,28	6,34	610,20	9,37	964,31	6,93	871,20	10,13	1317,99	7,50	1192,68	10,86	1743,26	8,04	1579,59
18	8,88	745,71	6,43	618,86	9,50	977,99	7,03	883,56	10,27	1336,68	7,61	1209,60	11,02	1767,99	8,16	1602,00
18,5	9,00	756,00	6,52	627,39	9,63	991,48	7,13	895,75	10,42	1355,12	7,71	1226,29	11,17	1792,38	8,27	1624,10
19	9,12	766,15	6,61	635,82	9,76	1004,79	7,22	907,77	10,56	1373,31	7,81	1242,75	11,32	1816,44	8,38	1645,90
19,5	9,24	776,16	6,69	644,13	9,89	1017,92	7,32	919,64	10,69	1391,26	7,92	1258,99	11,47	1840,18	8,49	1667,42
20	9,36	786,05	6,78	652,33	10,02	1030,89	7,41	931,35	10,83	1408,99	8,02	1275,03	11,61	1863,62	8,60	1688,66
20,5	9,48	795,81	6,86	660,44	10,14	1043,70	7,50	942,92	10,96	1426,49	8,12	1290,87	11,76	1886,78	8,71	1709,64
21	9,59	805,46	6,95	668,44	10,26	1056,35	7,59	954,35	11,10	1443,78	8,21	1306,52	11,90	1909,65	8,81	1730,36

Material	NOVAFORT		CONCRETO		NOVAFORT		CONCRETO		NOVAFORT		CONCRETO		NOVAFORT		CONCRETO	
D. Nominal	355		350		400		400		450		450		500		500	
D. Interno mm	327		350		362		400		407		450		452		500	
Pendiente %	V (m/s)	Q (L/s)	V (m/s)	Q (L/s)	V (m/s)	Q (L/s)	V (m/s)	Q (L/s)	V (m/s)	Q (L/s)	V (m/s)	Q (L/s)	V (m/s)	Q (L/s)	V (m/s)	Q (L/s)
21,5	9,70	814,99	7,03	676,35	10,39	1068,85	7,68	965,65	11,23	1460,87	8,31	1321,98	12,04	1932,25	8,92	1750,84
22	9,82	824,42	7,11	684,17	10,51	1081,21	7,77	976,81	11,36	1477,76	8,41	1337,27	12,18	1954,58	9,02	1771,08
22,5	9,93	833,73	7,19	691,90	10,62	1093,42	7,86	987,85	11,49	1494,46	8,50	1352,38	12,32	1976,67	9,12	1791,09
23	10,04	842,94	7,27	699,55	10,74	1105,51	7,95	998,77	11,61	1510,97	8,60	1367,32	12,45	1998,51	9,22	1810,88
23,5	10,15	852,06	7,35	707,11	10,86	1117,46	8,03	1009,56	11,74	1527,31	8,69	1382,10	12,59	2020,12	9,32	1830,46
24	10,25	861,07	7,43	714,60	10,97	1129,28	8,12	1020,25	11,86	1543,47	8,78	1396,73	12,72	2041,50	9,42	1849,83
24,5	10,36	870,00	7,50	722,00	11,09	1140,99	8,20	1030,82	11,99	1559,46	8,87	1411,20	12,85	2062,65	9,52	1869,00
25	10,46	878,83	7,58	729,33	11,20	1152,57	8,29	1041,29	12,11	1575,30	8,96	1425,53	12,99	2083,59	9,62	1887,98
25,5	10,57	887,57	7,66	736,59	11,31	1164,04	8,37	1051,65	12,23	1590,97	9,05	1439,72	13,11	2104,33	9,71	1906,76
26	10,67	896,23	7,73	743,77	11,42	1175,39	8,45	1061,91	12,35	1606,49	9,14	1453,76	13,24	2124,86	9,81	1925,37
26,5	10,77	904,81	7,80	750,89	11,53	1186,64	8,53	1072,07	12,47	1621,87	9,23	1467,67	13,37	2145,19	9,90	1943,79
27	10,88	913,31	7,88	757,94	11,64	1197,78	8,61	1082,14	12,58	1637,10	9,31	1481,45	13,49	2165,33	9,99	1962,04
27,5	10,98	921,72	7,95	764,93	11,75	1208,82	8,69	1092,11	12,70	1652,19	9,40	1495,11	13,62	2185,29	10,08	1980,13
28	11,07	930,07	8,02	771,85	11,85	1219,76	8,77	1101,99	12,81	1667,14	9,49	1508,64	13,74	2205,07	10,18	1998,05
28,5	11,17	938,33	8,09	778,71	11,96	1230,61	8,85	1111,79	12,93	1681,96	9,57	1522,05	13,86	2224,67	10,27	2015,81
29	11,27	946,53	8,16	785,51	12,06	1241,35	8,92	1121,50	13,04	1696,65	9,65	1535,34	13,99	2244,10	10,36	2033,41
29,5	11,37	954,65	8,23	792,26	12,16	1252,01	9,00	1131,13	13,15	1711,21	9,74	1548,52	14,11	2263,36	10,44	2050,87
30	11,46	962,71	8,30	798,94	12,27	1262,58	9,08	1140,67	13,26	1725,65	9,82	1561,59	14,22	2282,46	10,53	2068,17
30,5	11,56	970,70	8,37	805,57	12,37	1273,05	9,15	1150,14	13,37	1739,97	9,90	1574,55	14,34	2301,41	10,62	2085,34
31	11,65	978,62	8,44	812,15	12,47	1283,45	9,23	1159,53	13,48	1754,18	9,98	1587,40	14,46	2320,19	10,71	2102,36
31,5	11,75	986,48	8,51	818,67	12,57	1293,76	9,30	1168,84	13,59	1768,27	10,06	1600,15	14,58	2338,83	10,79	2119,25
32	11,84	994,28	8,58	825,14	12,67	1303,98	9,37	1178,08	13,70	1782,25	10,14	1612,80	14,69	2357,32	10,88	2136,00
32,5	11,93	1002,02	8,64	831,57	12,77	1314,13	9,45	1187,25	13,81	1796,12	10,22	1625,36	14,81	2375,66	10,96	2152,62

Material	NOVAFORT		CONCRETO		NOVAFORT		CONCRETO		NOVAFORT		CONCRETO	
D. Nominal	24"		600		27"		700		30"		800	
D. Interno mm	595		600		670		700		747		800	
Pendiente %	V (m/s)	Q (L/s)	V (m/s)	Q (L/s)	V (m/s)	Q (L/s)	V (m/s)	Q (L/s)	V (m/s)	Q (L/s)	V (m/s)	Q (L/s)
0,1	0,99	274,27	0,69	194,17	1,07	376,42	0,76	292,89	1,15	503,11	0,83	418,16
0,2	1,40	387,88	0,97	274,59	1,51	532,34	1,08	414,21	1,62	711,50	1,18	591,37
0,3	1,71	475,06	1,19	336,31	1,85	651,98	1,32	507,30	1,99	871,41	1,44	724,28
0,4	1,97	548,55	1,37	388,33	2,14	752,84	1,52	585,78	2,30	1006,22	1,66	836,33
0,5	2,21	613,30	1,54	434,17	2,39	841,70	1,70	654,92	2,57	1124,99	1,86	935,04
0,6	2,42	671,83	1,68	475,61	2,62	922,04	1,86	717,43	2,81	1232,36	2,04	1024,29
0,7	2,61	725,66	1,82	513,72	2,82	995,92	2,01	774,91	3,04	1331,10	2,20	1106,36
0,8	2,79	775,77	1,94	549,19	3,02	1064,68	2,15	828,41	3,25	1423,01	2,35	1182,75
0,9	2,96	822,82	2,06	582,50	3,20	1129,26	2,28	878,66	3,44	1509,33	2,50	1254,49
1	3,12	867,33	2,17	614,01	3,38	1190,35	2,41	926,19	3,63	1590,97	2,63	1322,35
1,5	3,82	1062,26	2,66	752,01	4,14	1457,87	2,95	1134,35	4,45	1948,53	3,22	1619,54
2	4,41	1226,59	3,07	868,34	4,77	1683,40	3,40	1309,83	5,13	2249,97	3,72	1870,09
2,5	4,93	1371,37	3,43	970,84	5,34	1882,10	3,81	1464,44	5,74	2515,55	4,16	2090,82
3	5,40	1502,27	3,76	1063,50	5,85	2061,74	4,17	1604,21	6,29	2755,64	4,56	2290,38
3,5	5,84	1622,63	4,06	1148,71	6,32	2226,93	4,50	1732,75	6,79	2976,43	4,92	2473,89
4	6,24	1734,67	4,34	1228,02	6,75	2380,69	4,81	1852,39	7,26	3181,94	5,26	2644,70
4,5	6,62	1839,89	4,61	1302,52	7,16	2525,11	5,11	1964,75	7,70	3374,96	5,58	2805,13
5	6,98	1939,42	4,86	1372,97	7,55	2661,70	5,38	2071,03	8,12	3557,52	5,88	2956,87
5,5	7,32	2034,08	5,09	1439,98	7,92	2791,61	5,64	2172,11	8,51	3731,16	6,17	3101,19

Caudal y velocidad a tubo lleno

$$V = \frac{1}{n} R^{2/3} S^{1/2}$$

Donde
n NOVAFORT = 0,009
n CONCRETO = 0,013

Material	NOVAFORT		CONCRETO		NOVAFORT		CONCRETO		NOVAFORT		CONCRETO	
D. Nominal	24"		600		27"		700		30"		800	
D. Interno mm	595		600		670		700		747		800	
Pendiente %	V (m/s)	Q (L/s)	V (m/s)	Q (L/s)	V (m/s)	Q (L/s)	V (m/s)	Q (L/s)	V (m/s)	Q (L/s)	V (m/s)	Q (L/s)
6	7,64	2124,52	5,32	1504,01	8,27	2915,74	5,90	2268,70	8,89	3897,07	6,44	3239,08
6,5	7,95	2211,27	5,54	1565,43	8,61	3034,80	6,14	2361,34	9,26	4056,20	6,71	3371,34
7	8,25	2294,75	5,75	1624,52	8,93	3149,36	6,37	2450,48	9,60	4209,31	6,96	3498,61
7,5	8,54	2375,29	5,95	1681,54	9,25	3259,90	6,59	2536,48	9,94	4357,05	7,20	3621,41
8	8,82	2453,19	6,14	1736,69	9,55	3366,81	6,81	2619,67	10,27	4499,95	7,44	3740,17
8,5	9,09	2528,69	6,33	1790,14	9,84	3470,43	7,02	2700,29	10,58	4638,44	7,67	3855,28
9	9,36	2602,00	6,51	1842,03	10,13	3571,04	7,22	2778,58	10,89	4772,91	7,89	3967,05
9,5	9,61	2673,30	6,69	1892,51	10,41	3668,90	7,42	2854,72	11,19	4903,70	8,11	4075,76
10	9,86	2742,75	6,87	1941,67	10,68	3764,21	7,61	2928,88	11,48	5031,09	8,32	4181,64
10,5	10,11	2810,48	7,04	1989,62	10,94	3857,16	7,80	3001,21	11,76	5155,34	8,52	4284,90
11	10,35	2876,62	7,20	2036,45	11,20	3947,93	7,98	3071,83	12,04	5276,65	8,73	4385,74
11,5	10,58	2941,27	7,36	2082,21	11,45	4036,66	8,16	3140,87	12,31	5395,25	8,92	4484,31
12	10,81	3004,53	7,52	2127,00	11,70	4123,48	8,34	3208,43	12,58	5511,29	9,11	4580,76
12,5	11,03	3066,49	7,68	2170,86	11,94	4208,51	8,51	3274,59	12,83	5624,93	9,30	4675,21
13	11,25	3127,21	7,83	2213,85	12,17	4291,86	8,68	3339,43	13,09	5736,33	9,49	4767,80
13,5	11,46	3186,79	7,98	2256,02	12,41	4373,61	8,84	3403,05	13,34	5845,60	9,67	4858,63
14	11,67	3245,26	8,13	2297,42	12,63	4453,87	9,00	3465,50	13,58	5952,87	9,84	4947,78
14,5	11,88	3302,71	8,27	2338,09	12,86	4532,71	9,16	3526,84	13,82	6058,24	10,02	5035,36
15	12,08	3359,17	8,41	2378,06	13,08	4610,19	9,32	3587,13	14,06	6161,80	10,19	5121,44
15,5	12,28	3414,69	8,55	2417,37	13,29	4686,40	9,48	3646,42	14,29	6263,66	10,36	5206,10
16	12,48	3469,33	8,69	2456,05	13,50	4761,39	9,63	3704,77	14,52	6363,88	10,52	5289,40
16,5	12,67	3523,12	8,82	2494,13	13,71	4835,21	9,78	3762,21	14,75	6462,56	10,69	5371,41
17	12,86	3576,11	8,95	2531,63	13,92	4907,93	9,92	3818,79	14,97	6559,74	10,85	5452,19
17,5	13,05	3628,31	9,08	2568,59	14,12	4979,58	10,07	3874,54	15,19	6655,51	11,01	5531,79
18	13,23	3679,78	9,21	2605,03	14,32	5050,21	10,21	3929,50	15,40	6749,92	11,16	5610,26
18,5	13,42	3730,54	9,34	2640,96	14,52	5119,88	10,35	3983,71	15,61	6843,03	11,32	5687,64
19	13,60	3780,62	9,47	2676,41	14,72	5188,60	10,49	4037,18	15,82	6934,88	11,47	5763,99
19,5	13,77	3830,04	9,59	2711,40	14,91	5256,43	10,63	4089,96	16,03	7025,54	11,62	5839,34
20	13,95	3878,83	9,71	2745,94	15,10	5323,39	10,76	4142,06	16,23	7115,04	11,76	5913,73
20,5	14,12	3927,02	9,83	2780,06	15,29	5389,52	10,90	4193,52	16,44	7203,43	11,91	5987,20
21	14,29	3974,62	9,95	2813,75	15,47	5454,85	11,03	4244,35	16,64	7290,75	12,06	6059,77
21,5	14,46	4021,66	10,07	2847,05	15,66	5519,41	11,16	4294,58	16,83	7377,03	12,20	6131,49
22	14,63	4068,15	10,19	2879,97	15,84	5583,22	11,29	4344,23	17,03	7462,32	12,34	6202,37
22,5	14,80	4114,12	10,30	2912,51	16,01	5646,31	11,42	4393,32	17,22	7546,64	12,48	6272,46
23	14,96	4159,58	10,41	2944,70	16,19	5708,70	11,54	4441,86	17,41	7630,03	12,62	6341,77
23,5	15,12	4204,55	10,53	2976,53	16,37	5770,42	11,67	4489,89	17,60	7712,52	12,75	6410,33
24	15,28	4249,05	10,64	3008,03	16,54	5831,48	11,79	4537,40	17,78	7794,14	12,89	6478,17
24,5	15,44	4293,08	10,75	3039,20	16,71	5891,92	11,91	4584,42	17,97	7874,91	13,02	6545,30
25	15,60	4336,67	10,86	3070,06	16,88	5951,73	12,03	4630,96	18,15	7954,86	13,15	6611,75
25,5	15,75	4379,82	10,97	3100,61	17,05	6010,96	12,15	4677,04	18,33	8034,01	13,28	6677,54
26	15,91	4422,55	11,07	3130,86	17,22	6069,60	12,27	4722,67	18,51	8112,39	13,41	6742,69
26,5	16,06	4464,87	11,18	3160,82	17,38	6127,69	12,39	4767,87	18,69	8190,03	13,54	6807,21
27	16,21	4506,80	11,28	3190,50	17,54	6185,22	12,51	4812,64	18,86	8266,93	13,67	6871,13
27,5	16,36	4548,33	11,39	3219,90	17,71	6242,23	12,62	4856,99	19,04	8343,12	13,80	6934,46
28	16,51	4589,50	11,49	3249,04	17,87	6298,72	12,73	4900,95	19,21	8418,63	13,92	6997,22
28,5	16,65	4630,29	11,59	3277,92	18,02	6354,71	12,85	4944,52	19,38	8493,46	14,04	7059,42
29	16,80	4670,73	11,69	3306,55	18,18	6410,21	12,96	4987,70	19,55	8567,64	14,17	7121,07
29,5	16,94	4710,82	11,79	3334,94	18,34	6465,24	13,07	5030,51	19,72	8641,19	14,29	7182,20
30	17,09	4750,58	11,89	3363,08	18,49	6519,80	13,18	5072,97	19,88	8714,11	14,41	7242,81
30,5	17,23	4790,00	11,99	3390,99	18,65	6573,91	13,29	5115,07	20,05	8786,43	14,53	7302,92
31	17,37	4829,11	12,09	3418,67	18,80	6627,57	13,40	5156,82	20,21	8858,15	14,65	7362,53
31,5	17,51	4867,90	12,19	3446,13	18,95	6680,80	13,51	5198,24	20,37	8929,30	14,76	7421,67
32	17,65	4906,38	12,28	3473,37	19,10	6733,62	13,61	5239,34	20,54	8999,89	14,88	7480,34
32,5	17,78	4944,56	12,38	3500,40	19,25	6786,02	13,72	5280,11	20,70	9069,93	15,00	7538,56

Material	NOVAFORT		CONCRETO		NOVAFORT		CONCRETO		NOVAFORT		CONCRETO	
D. Nominal	33"		850		36"		900		39"		1000	
D. Interno mm	824		838,2		900		900		977,6		1000	
Pendiente %	V (m/s)	Q (L/s)	V (m/s)	Q (L/s)	V (m/s)	Q (L/s)	V (m/s)	Q (L/s)	V (m/s)	Q (L/s)	V (m/s)	Q (L/s)
0,1	1,23	653,55	0,86	473,55	1,30	826,90	0,90	572,47	1,37	1030,95	0,97	758,18
0,2	1,73	924,26	1,21	669,70	1,84	1169,42	1,27	809,60	1,94	1457,98	1,37	1072,23
0,3	2,12	1131,98	1,49	820,21	2,25	1432,24	1,56	991,55	2,38	1785,66	1,67	1313,21
0,4	2,45	1307,10	1,72	947,10	2,60	1653,80	1,80	1144,94	2,75	2061,90	1,93	1516,36
0,5	2,74	1461,39	1,92	1058,89	2,91	1849,01	2,01	1280,08	3,07	2305,27	2,16	1695,35
0,6	3,00	1600,87	2,10	1159,96	3,18	2025,49	2,20	1402,26	3,36	2525,30	2,36	1857,16
0,7	3,24	1729,14	2,27	1252,90	3,44	2187,78	2,38	1514,61	3,63	2727,63	2,55	2005,96
0,8	3,47	1848,52	2,43	1339,41	3,68	2338,83	2,55	1619,19	3,88	2915,96	2,73	2144,46
0,9	3,68	1960,66	2,57	1420,65	3,90	2480,71	2,70	1717,41	4,12	3092,85	2,90	2274,54
1	3,88	2066,71	2,71	1497,50	4,11	2614,89	2,85	1810,31	4,34	3260,15	3,05	2397,58
1,5	4,75	2531,19	3,32	1834,06	5,03	3202,58	3,49	2217,17	5,32	3992,85	3,74	2936,42
2	5,48	2922,77	3,84	2117,79	5,81	3698,02	4,02	2560,17	6,14	4610,54	4,32	3390,69
2,5	6,13	3267,76	4,29	2367,76	6,50	4134,51	4,50	2862,35	6,87	5154,75	4,83	3790,91
3	6,71	3579,65	4,70	2593,75	7,12	4529,13	4,93	3135,55	7,52	5646,74	5,29	4152,73
3,5	7,25	3866,46	5,08	2801,57	7,69	4892,02	5,32	3386,78	8,13	6099,18	5,71	4485,46
4	7,75	4133,42	5,43	2995,00	8,22	5229,79	5,69	3620,62	8,69	6520,29	6,11	4795,16
4,5	8,22	4384,16	5,76	3176,68	8,72	5547,03	6,04	3840,25	9,21	6915,82	6,48	5086,04
5	8,67	4621,31	6,07	3348,51	9,19	5847,08	6,36	4047,98	9,71	7289,91	6,83	5361,15
5,5	9,09	4846,87	6,36	3511,95	9,64	6132,47	6,67	4245,56	10,19	7645,72	7,16	5622,82
6	9,49	5062,39	6,65	3668,11	10,07	6405,16	6,97	4434,34	10,64	7985,70	7,48	5872,85
6,5	9,88	5269,10	6,92	3817,89	10,48	6666,70	7,25	4615,41	11,07	8311,78	7,78	6112,65
7	10,25	5468,01	7,18	3962,01	10,87	6918,36	7,53	4789,63	11,49	8625,54	8,08	6343,40
7,5	10,61	5659,92	7,43	4101,07	11,26	7161,18	7,79	4957,74	11,89	8928,28	8,36	6566,04
8	10,96	5845,54	7,68	4235,57	11,63	7396,04	8,05	5120,33	12,28	9221,09	8,63	6781,38
8,5	11,30	6025,45	7,91	4365,93	11,98	7623,66	8,30	5277,92	12,66	9504,88	8,90	6990,09
9	11,63	6200,14	8,14	4492,50	12,33	7844,68	8,54	5430,93	13,03	9780,44	9,16	7192,74
9,5	11,95	6370,03	8,36	4615,61	12,67	8059,64	8,77	5579,75	13,39	10048,45	9,41	7389,84
10	12,26	6535,52	8,58	4735,51	13,00	8269,02	9,00	5724,71	13,73	10309,49	9,65	7581,82
10,5	12,56	6696,91	8,79	4852,46	13,32	8473,22	9,22	5866,08	14,07	10564,08	9,89	7769,05
11	12,85	6854,51	9,00	4966,65	13,63	8672,62	9,44	6004,12	14,41	10812,69	10,12	7951,87
11,5	13,14	7008,56	9,20	5078,27	13,94	8867,54	9,65	6139,06	14,73	11055,70	10,35	8130,59
12	13,43	7159,30	9,40	5187,49	14,24	9058,26	9,86	6271,10	15,05	11293,48	10,57	8305,46
12,5	13,70	7306,93	9,59	5294,46	14,53	9245,05	10,06	6400,42	15,36	11526,36	10,79	8476,73
13	13,97	7451,64	9,78	5399,31	14,82	9428,13	10,26	6527,17	15,66	11754,63	11,01	8644,60
13,5	14,24	7593,58	9,97	5502,17	15,10	9607,73	10,46	6651,51	15,96	11978,55	11,22	8809,27
14	14,50	7732,93	10,15	5603,13	15,38	9784,04	10,65	6773,56	16,25	12198,35	11,42	8970,92
14,5	14,76	7869,80	10,33	5702,31	15,65	9957,22	10,84	6893,46	16,54	12414,27	11,62	9129,71
15	15,01	8004,34	10,51	5799,79	15,92	10127,44	11,02	7011,30	16,82	12626,50	11,82	9285,79
15,5	15,26	8136,65	10,68	5895,67	16,18	10294,85	11,20	7127,20	17,10	12835,21	12,02	9439,28
16	15,50	8266,85	10,86	5990,00	16,44	10459,58	11,38	7241,24	17,37	13040,59	12,21	9590,32
16,5	15,74	8395,02	11,02	6082,88	16,70	10621,75	11,56	7353,52	17,64	13242,78	12,40	9739,02
17	15,98	8521,27	11,19	6174,35	16,95	10781,48	11,73	7464,10	17,91	13441,93	12,59	9885,48
17,5	16,21	8645,68	11,35	6264,49	17,19	10938,89	11,90	7573,07	18,17	13638,17	12,77	10029,80
18	16,44	8768,32	11,51	6353,36	17,44	11094,06	12,07	7680,50	18,43	13831,63	12,95	10172,07
18,5	16,67	8889,26	11,67	6440,99	17,68	11247,08	12,24	7786,44	18,68	14022,42	13,13	10312,38
19	16,89	9008,59	11,83	6527,45	17,92	11398,06	12,40	7890,96	18,93	14210,65	13,31	10450,81
19,5	17,11	9126,35	11,98	6612,78	18,15	11547,06	12,57	7994,12	19,18	14396,42	13,48	10587,43
20	17,33	9242,62	12,14	6697,03	18,38	11694,16	12,73	8095,96	19,42	14579,82	13,65	10722,31
20,5	17,55	9357,44	12,29	6780,22	18,61	11839,44	12,88	8196,53	19,67	14760,94	13,82	10855,51
21	17,76	9470,86	12,44	6862,41	18,84	11982,95	13,04	8295,89	19,90	14939,87	13,99	10987,09

Caudal y velocidad a tubo lleno

$$V = \frac{1}{n} R^{2/3} S^{1/2}$$

Donde
n NOVAFORT = 0,009
n CONCRETO = 0,013

Material	NOVAFORT		CONCRETO		NOVAFORT		CONCRETO		NOVAFORT		CONCRETO	
D. Nominal	33"		850		36"		900		39"		1000	
D. Interno mm	824		838,2		900		900		977,6		1000	
Pendiente %	V (m/s)	Q (L/s)	V (m/s)	Q (L/s)	V (m/s)	Q (L/s)	V (m/s)	Q (L/s)	V (m/s)	Q (L/s)	V (m/s)	Q (L/s)
21,5	17,97	9582,95	12,58	6943,62	19,06	12124,76	13,19	8394,07	20,14	15116,68	14,15	11117,12
22	18,18	9693,74	12,73	7023,90	19,28	12264,94	13,35	8491,11	20,37	15291,45	14,32	11245,65
22,5	18,38	9803,28	12,87	7103,27	19,50	12403,53	13,50	8587,06	20,60	15464,24	14,48	11372,72
23	18,59	9911,60	13,02	7181,76	19,71	12540,59	13,65	8681,95	20,83	15635,12	14,64	11498,39
23,5	18,79	10018,76	13,16	7259,40	19,93	12676,17	13,79	8775,81	21,06	15804,15	14,80	11622,70
24	18,99	10124,78	13,29	7336,22	20,14	12810,31	13,94	8868,68	21,28	15971,39	14,96	11745,70
24,5	19,18	10229,70	13,43	7412,25	20,35	12943,06	14,09	8960,58	21,50	16136,91	15,11	11867,42
25	19,38	10333,56	13,57	7487,50	20,55	13074,47	14,23	9051,56	21,72	16300,74	15,26	11987,90
25,5	19,57	10436,38	13,70	7562,01	20,76	13204,57	14,37	9141,62	21,93	16462,94	15,42	12107,19
26	19,76	10538,20	13,84	7635,78	20,96	13333,39	14,51	9230,81	22,15	16623,55	15,57	12225,31
26,5	19,95	10639,05	13,97	7708,86	21,16	13460,99	14,65	9319,15	22,36	16782,64	15,71	12342,30
27	20,14	10738,95	14,10	7781,24	21,36	13587,39	14,79	9406,65	22,57	16940,22	15,86	12458,19
27,5	20,32	10837,93	14,23	7852,96	21,55	13712,62	14,92	9493,35	22,78	17096,36	16,01	12573,02
28	20,51	10936,01	14,36	7924,03	21,75	13836,72	15,06	9579,27	22,98	17251,08	16,15	12686,80
28,5	20,69	11033,22	14,49	7994,46	21,94	13959,71	15,19	9664,42	23,19	17404,42	16,30	12799,58
29	20,87	11129,58	14,61	8064,29	22,13	14081,63	15,32	9748,82	23,39	17556,43	16,44	12911,37
29,5	21,05	11225,12	14,74	8133,51	22,32	14202,51	15,46	9832,51	23,59	17707,13	16,58	13022,20
30	21,23	11319,85	14,86	8202,15	22,51	14322,36	15,59	9915,48	23,79	17856,56	16,72	13132,09
30,5	21,40	11413,79	14,99	8270,22	22,70	14441,22	15,72	9997,77	23,99	18004,75	16,86	13241,07
31	21,58	11506,96	15,11	8337,73	22,89	14559,11	15,84	10079,39	24,18	18151,73	17,00	13349,16
31,5	21,75	11599,39	15,23	8404,70	23,07	14676,06	15,97	10160,35	24,38	18297,53	17,13	13456,39
32	21,92	11691,09	15,35	8471,14	23,25	14792,07	16,10	10240,67	24,57	18442,18	17,27	13562,76
32,5	22,09	11782,07	15,47	8537,07	23,43	14907,19	16,22	10320,36	24,76	18585,70	17,40	13668,31

Material	NOVAFORT		CONCRETO		NOVAFORT		CONCRETO		NOVAFORT		CONCRETO	
D. Nominal	42"		1100		45"		1100		48"		1200	
D. Interno mm	1054		1100		1127		1100		1203		1200	
Pendiente %	V (m/s)	Q (L/s)	V (m/s)	Q (L/s)	V (m/s)	Q (L/s)	V (m/s)	Q (L/s)	V (m/s)	Q (L/s)	V (m/s)	Q (L/s)
0,1	1,44	1260,03	1,03	977,58	1,51	1506,39	1,03	977,58	1,58	1792,73	1,09	1232,89
0,2	2,04	1781,96	1,45	1382,51	2,14	2130,36	1,45	1382,51	2,23	2535,31	1,54	1743,57
0,3	2,50	2182,44	1,78	1693,22	2,62	2609,15	1,78	1693,22	2,73	3105,11	1,89	2135,42
0,4	2,89	2520,07	2,06	1955,17	3,02	3012,78	2,06	1955,17	3,15	3585,47	2,18	2465,77
0,5	3,23	2817,52	2,30	2185,94	3,38	3368,39	2,30	2185,94	3,53	4008,67	2,44	2756,82
0,6	3,54	3086,44	2,52	2394,58	3,70	3689,89	2,52	2394,58	3,86	4391,28	2,67	3019,94
0,7	3,82	3333,74	2,72	2586,44	4,00	3985,54	2,72	2586,44	4,17	4743,13	2,88	3261,91
0,8	4,08	3563,91	2,91	2765,02	4,27	4260,72	2,91	2765,02	4,46	5070,62	3,08	3487,13
0,9	4,33	3780,10	3,09	2932,75	4,53	4519,17	3,09	2932,75	4,73	5378,20	3,27	3698,66
1	4,57	3984,58	3,25	3091,39	4,78	4763,63	3,25	3091,39	4,99	5669,12	3,45	3898,73
1,5	5,59	4880,09	3,98	3786,16	5,85	5834,23	3,98	3786,16	6,11	6943,23	4,22	4774,95
2	6,46	5635,04	4,60	4371,88	6,75	6736,79	4,60	4371,88	7,05	8017,35	4,88	5513,64
2,5	7,22	6300,17	5,14	4887,92	7,55	7531,96	5,14	4887,92	7,89	8963,67	5,45	6164,43
3	7,91	6901,49	5,63	5354,44	8,27	8250,85	5,63	5354,44	8,64	9819,21	5,97	6752,80
3,5	8,54	7454,46	6,09	5783,46	8,93	8911,93	6,09	5783,46	9,33	10605,95	6,45	7293,86
4	9,13	7969,16	6,51	6182,78	9,55	9527,26	6,51	6182,78	9,98	11338,24	6,89	7797,46
4,5	9,69	8452,57	6,90	6557,83	10,13	10105,18	6,90	6557,83	10,58	12026,02	7,31	8270,46
5	10,21	8909,79	7,27	6912,56	10,68	10651,80	7,27	6912,56	11,15	12676,54	7,71	8717,83
5,5	10,71	9344,66	7,63	7249,95	11,20	11171,70	7,63	7249,95	11,70	13295,27	8,08	9143,33
6	11,19	9760,18	7,97	7572,33	11,70	11668,46	7,97	7572,33	12,22	13886,45	8,44	9549,90
6,5	11,64	10158,72	8,29	7881,53	12,17	12144,92	8,29	7881,53	12,72	14453,48	8,79	9939,85
7	12,08	10542,20	8,61	8179,05	12,63	12603,37	8,61	8179,05	13,20	14999,08	9,12	10315,07
7,5	12,51	10912,22	8,91	8466,12	13,08	13045,73	8,91	8466,12	13,66	15525,53	9,44	10677,11
8	12,92	11270,09	9,20	8743,77	13,51	13473,57	9,20	8743,77	14,11	16034,70	9,75	11027,27
8,5	13,31	11616,94	9,48	9012,87	13,92	13888,24	9,48	9012,87	14,54	16528,19	10,05	11366,65

Material	NOVAFORT		CONCRETO		NOVAFORT		CONCRETO		NOVAFORT		CONCRETO	
D. Nominal	42"		1100		45"		1100		48"		1200	
D. Interno mm	1054		1100		1127		1100		1203		1200	
Pendiente %	V (m/s)	Q (L/s)	V (m/s)	Q (L/s)	V (m/s)	Q (L/s)	V (m/s)	Q (L/s)	V (m/s)	Q (L/s)	V (m/s)	Q (L/s)
9	13,70	11953,73	9,76	9274,17	14,33	14290,88	9,76	9274,17	14,96	17007,36	10,34	11696,19
9,5	14,08	12281,29	10,03	9528,30	14,72	14682,49	10,03	9528,30	15,37	17473,40	10,63	12016,69
10	14,44	12600,34	10,29	9775,83	15,10	15063,91	10,29	9775,83	15,77	17927,33	10,90	12328,87
10,5	14,80	12911,51	10,54	10017,25	15,47	15435,92	10,54	10017,25	16,16	18370,05	11,17	12633,33
11	15,15	13215,35	10,79	10252,98	15,84	15799,17	10,79	10252,98	16,54	18802,35	11,43	12930,63
11,5	15,49	13512,36	11,03	10483,41	16,19	16154,25	11,03	10483,41	16,91	19224,92	11,69	13221,24
12	15,82	13802,98	11,27	10708,89	16,54	16501,69	11,27	10708,89	17,28	19638,41	11,94	13505,60
12,5	16,15	14087,61	11,50	10929,71	16,88	16841,97	11,50	10929,71	17,63	20043,37	12,19	13784,09
13	16,47	14366,60	11,73	11146,16	17,22	17175,50	11,73	11146,16	17,98	20440,31	12,43	14057,07
13,5	16,78	14640,27	11,95	11358,49	17,55	17502,69	11,95	11358,49	18,33	20829,68	12,67	14324,85
14	17,09	14908,93	12,17	11566,92	17,87	17823,86	12,17	11566,92	18,66	21211,91	12,90	14587,71
14,5	17,39	15172,82	12,39	11771,66	18,18	18139,35	12,39	11771,66	18,99	21587,37	13,13	14845,92
15	17,69	15432,20	12,60	11972,90	18,49	18449,45	12,60	11972,90	19,32	21956,41	13,35	15099,72
15,5	17,98	15687,30	12,81	12170,81	18,80	18754,42	12,81	12170,81	19,64	22319,35	13,57	15349,32
16	18,27	15938,31	13,01	12365,56	19,10	19054,51	13,01	12365,56	19,95	22676,48	13,79	15594,92
16,5	18,55	16185,43	13,21	12557,28	19,40	19349,95	13,21	12557,28	20,26	23028,08	14,00	15836,72
17	18,83	16428,84	13,41	12746,12	19,69	19640,94	13,41	12746,12	20,56	23374,38	14,21	16074,88
17,5	19,10	16668,69	13,61	12932,21	19,98	19927,68	13,61	12932,21	20,86	23715,63	14,42	16309,56
18	19,38	16905,13	13,80	13115,65	20,26	20210,36	13,80	13115,65	21,16	24052,04	14,63	16540,91
18,5	19,64	17138,32	13,99	13296,57	20,54	20489,14	13,99	13296,57	21,45	24383,81	14,83	16769,07
19	19,91	17368,37	14,18	13475,05	20,82	20764,17	14,18	13475,05	21,74	24711,13	15,03	16994,17
19,5	20,17	17595,42	14,36	13651,21	21,09	21035,61	14,36	13651,21	22,02	25034,16	15,22	17216,33
20	20,42	17819,57	14,55	13825,11	21,36	21303,59	14,55	13825,11	22,31	25353,08	15,42	17435,65
20,5	20,68	18040,94	14,73	13996,86	21,62	21568,24	14,73	13996,86	22,58	25668,04	15,61	17652,25
21	20,93	18259,63	14,91	14166,53	21,88	21829,68	14,91	14166,53	22,86	25979,18	15,80	17866,23
21,5	21,18	18475,73	15,08	14334,18	22,14	22088,03	15,08	14334,18	23,13	26286,63	15,98	18077,67
22	21,42	18689,33	15,26	14499,90	22,40	22343,39	15,26	14499,90	23,39	26590,53	16,17	18286,67
22,5	21,66	18900,51	15,43	14663,75	22,65	22595,87	15,43	14663,75	23,66	26891,00	16,35	18493,30
23	21,90	19109,37	15,60	14825,78	22,90	22845,56	15,60	14825,78	23,92	27188,15	16,53	18697,65
23,5	22,14	19315,96	15,77	14986,07	23,15	23092,54	15,77	14986,07	24,18	27482,08	16,71	18899,80
24	22,37	19520,37	15,94	15144,65	23,39	23336,91	15,94	15144,65	24,43	27772,91	16,89	19099,80
24,5	22,60	19722,66	16,10	15301,60	23,64	23578,75	16,10	15301,60	24,69	28060,72	17,06	19297,73
25	22,83	19922,89	16,26	15456,95	23,88	23818,14	16,26	15456,95	24,94	28345,60	17,24	19493,65
25,5	23,06	20121,13	16,43	15610,75	24,11	24055,14	16,43	15610,75	25,19	28627,66	17,41	19687,62
26	23,29	20317,44	16,59	15763,05	24,35	24289,83	16,59	15763,05	25,43	28906,96	17,58	19879,70
26,5	23,51	20511,87	16,75	15913,90	24,58	24522,27	16,75	15913,90	25,68	29183,59	17,75	20069,94
27	23,73	20704,47	16,90	16063,33	24,81	24752,54	16,90	16063,33	25,92	29457,62	17,91	20258,40
27,5	23,95	20895,30	17,06	16211,38	25,04	24980,67	17,06	16211,38	26,16	29729,12	18,08	20445,11
28	24,17	21084,41	17,21	16358,09	25,27	25206,75	17,21	16358,09	26,39	29998,17	18,24	20630,14
28,5	24,38	21271,83	17,37	16503,50	25,49	25430,81	17,37	16503,50	26,63	30264,82	18,40	20813,52
29	24,59	21457,61	17,52	16647,64	25,72	25652,92	17,52	16647,64	26,86	30529,15	18,56	20995,31
29,5	24,80	21641,80	17,67	16790,54	25,94	25873,12	17,67	16790,54	27,09	30791,21	18,72	21175,53
30	25,01	21824,43	17,82	16932,24	26,16	26091,46	17,82	16932,24	27,32	31051,05	18,88	21354,23
30,5	25,22	22005,55	17,97	17072,76	26,37	26307,99	17,97	17072,76	27,55	31308,74	19,04	21531,44
31	25,43	22185,19	18,11	17212,13	26,59	26522,76	18,11	17212,13	27,77	31564,33	19,19	21707,21
31,5	25,63	22363,39	18,26	17350,38	26,80	26735,79	18,26	17350,38	27,99	31817,86	19,35	21881,57
32	25,83	22540,18	18,40	17487,54	27,01	26947,15	18,40	17487,54	28,21	32069,39	19,50	22054,55
32,5	26,03	22715,59	18,54	17623,63	27,22	27156,86	18,54	17623,63	28,43	32318,96	19,65	22226,18

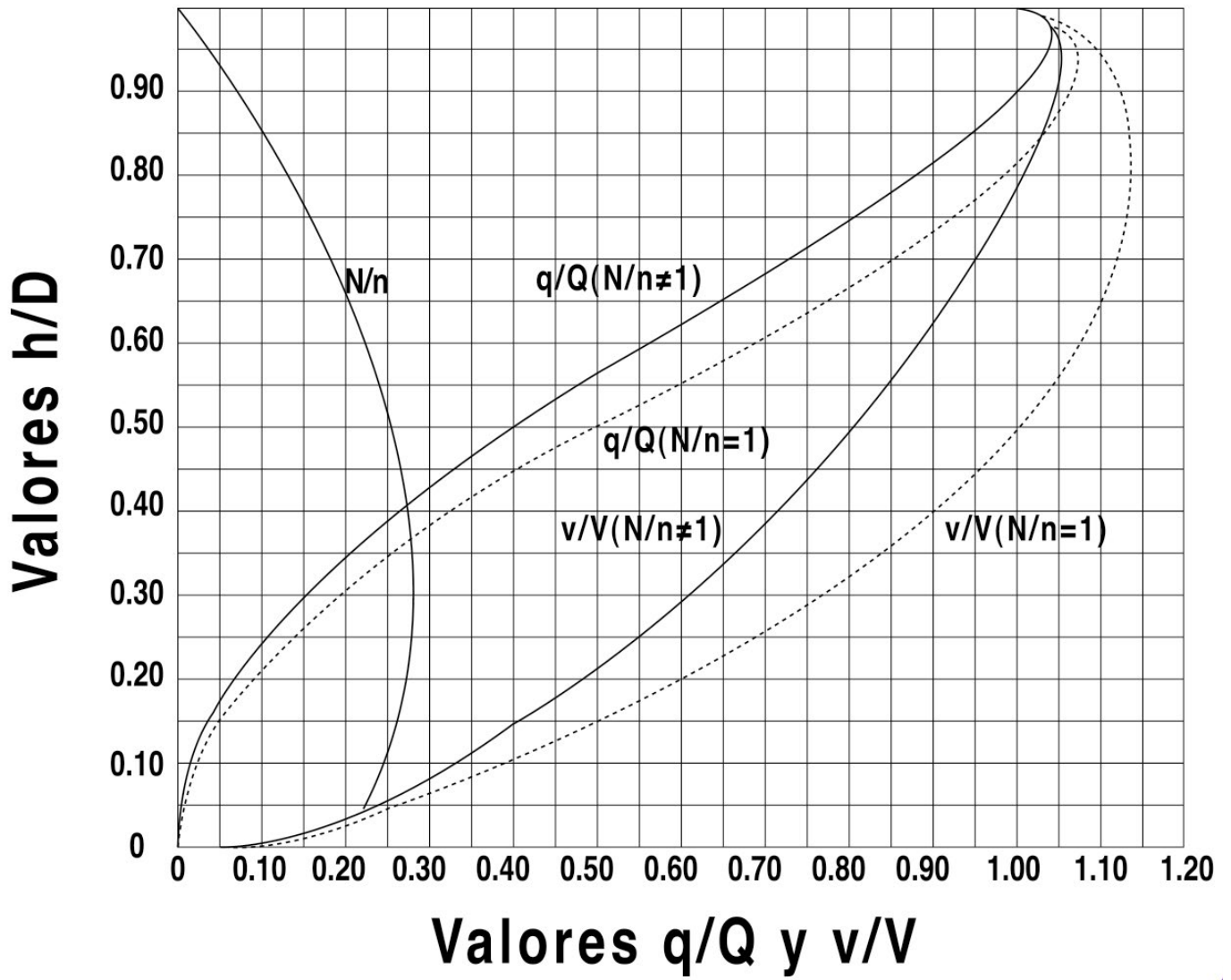
Caudal y velocidad a tubo lleno

$$V = \frac{1}{n} R^{2/3} S^{1/2}$$

Donde
n NOVAFORT = 0,009
n CONCRETO = 0,013

Material	D. Nominal (mm-pulg)	D. Interno (mm)	Mayor capacidad hidráulica del PVC (%)
NOVAFORT	160	145	31,96%
CONCRETO	150	150	
NOVAFORT	200	182	12,33%
CONCRETO	200	200	
NOVAFORT	250	227	11,67%
CONCRETO	250	250	
NOVAFORT	315	284	24,80%
CONCRETO	300	300	
NOVAFORT	355	327	20,50%
CONCRETO	350	350	
NOVAFORT	400	362	10,69%
CONCRETO	400	400	
NOVAFORT	450	407	10,51%
CONCRETO	450	450	
NOVAFORT	500	452	10,36%
CONCRETO	500	500	
NOVAFORT	24"	595	41,26%
CONCRETO	600	600	
NOVAFORT	27"	670	28,52%
CONCRETO	700	700	
NOVAFORT	30"	747	20,31%
CONCRETO	800	800	
NOVAFORT	33"	824	38,01%
CONCRETO	850	838,2	
NOVAFORT	36"	900	44,44%
CONCRETO	900	900	
NOVAFORT	39"	977,6	35,98%
CONCRETO	1000	1000	
NOVAFORT	42"	1054	28,89%
CONCRETO	1100	1100	
NOVAFORT	45"	1127	54,09%
CONCRETO	1100	1100	
NOVAFORT	48"	1203	45,41%
CONCRETO	1200	1200	

Cuadro gráfico de elementos hidráulicos en conjunto circular



Rotulado

Marca y Uso	Pavco Wavin Novafort Alcantarillado												
País de origen y fabricante	Pavco Wavin												
Norma de fabricación	Por ejemplo NTC 3722-1 ó ASFM 794 NTC 5055 Resolución 501 de 2017												
Diámetro nominal	Por ejemplo 110mm 4"												
Rigidez	Por ejemplo 8 kN/m ² (PS:57 psi) ó 4KN/m ² (28 psi)												
Código trazabilidad 1	<table border="0"> <tr> <td>Planta</td> <td>año</td> <td>mes</td> <td>día</td> <td>turno</td> <td>No. Máquina</td> </tr> <tr> <td>1 dígito</td> <td>2 dígitos</td> <td>2 dígitos</td> <td>2 dígitos</td> <td>1 dígito</td> <td>2 dígitos</td> </tr> </table>	Planta	año	mes	día	turno	No. Máquina	1 dígito	2 dígitos	2 dígitos	2 dígitos	1 dígito	2 dígitos
Planta	año	mes	día	turno	No. Máquina								
1 dígito	2 dígitos	2 dígitos	2 dígitos	1 dígito	2 dígitos								
Lote RT	Por ejemplo 001												

Identifique el código de trazabilidad impreso en todas nuestras tuberías y cajas de accesorios para acceder a los certificados de calidad Pavco Wavin

ESTE MANUAL TÉCNICO HA SIDO REVISADO Y APROBADO POR LA GERENCIA DE PRODUCTO DE PAVCO WAVIN.

- Producto no biodegradable.
- No incinere.
- Haga disposición adecuada de desperdicios
- Recicle con pavco wavin

Edición

Febrero de 2026
reemplaza la de junio de 2023

Descubra nuestro amplio portafolio en pavcowavin.com.co

Únase a nosotros para crear entornos más saludables, saneamiento accesible y ciudades resilientes en todo el mundo. Juntos, forjamos un mejor mañana.

Para más información no dude en contactar a su representante técnico de Pavco Wavin local. **Estamos para ayudarle.**



**Building &
Infraestructura**

PAVCO **wavin**

Orbia es una empresa motivada por un propósito compartido: impulsar la vida en todo el mundo. Los cinco grupos de negocio de Orbia se centran colectivamente en garantizar la seguridad alimentaria e hídrica, ampliar el acceso a la información y la conectividad, e impulsar la descarbonización y la transición energética con materiales básicos y avanzados, productos especiales y soluciones innovadoras.

Wavin, el negocio de Building & Infraestructura (B&I) de Orbia, es un proveedor de soluciones innovadoras para el sector global de construcción e infraestructura. Con el respaldo de más de 60 años de experiencia en el desarrollo de productos, Orbia B&I impulsa la vida en todo el mundo construyendo entornos saludables y sostenibles para ciudadanos de todo el mundo. Ya se trate de optimizar el suministro de agua, mejorar el saneamiento de agua y la higiene, crear ciudades resistentes al clima y reducir el uso de energía en edificios, Orbia B&I colabora con líderes municipales, ingenieros, contratistas e instaladores para ayudar a comunidades, edificios y hogares a prepararse para el futuro. Orbia B&I cuenta con más de 11.000 empleados en aproximadamente 50 plantas de producción en todo el mundo y atiende a más de 90 países a través de una red global de ventas y distribución.

Los manuales de Pavco Wavin sobre PVC y CPVC, incluyendo el diseño de sistemas de tuberías, son meramente ilustrativos y se proporcionan como guía. No constituyen una recomendación técnica para ningún proyecto en particular. El cliente y/o usuario final acepta haber leído y comprendido el alcance de los manuales y guías de Pavco Wavin. Pavco Wavin, sus empresas relacionadas, subsidiarias, representantes, propietarios y/o personal, no se responsabilizan por la selección de tuberías PVC o CPVC, sus dimensiones, especificaciones, instalación, uso o mantenimiento. Pavco Wavin y sus afiliadas no serán responsables por daños o perjuicios ocasionados por la interpretación errónea del Manual de Diseño de Sistemas de Tuberías. El cliente y/o usuario final deberá contar en todo momento con la experiencia o asesoría técnica adecuada para cada caso en particular. El cliente y/o usuario final de las tuberías de Pavco Wavin eximen a la empresa de cualquier responsabilidad, incluyendo civil, penal, administrativa y cualquier otra, por el uso inadecuado de los productos. Pavco Wavin se reserva el derecho de modificar las especificaciones de sus productos y servicios sin previo aviso para información actualizada, contacte nuestro equipo de soporte.