

KanaWEHOLITE

Tubería de HDPE con pared estructurada

MANUAL TÉCNICO

Grandes Diámetros

Kanaflex[®]

WEHOLITE
- EXCELLENCE SINCE 1983 -

1. Introducción.....	4
2. Características técnicas y dimensionales – Tubo y accesorios	4
2.1. Materia prima	
2.1.1. Polietileno	7
2.1.2. Tipos de PE en función de la densidad	7
2.1.3. PE Resistencia química	7
2.1.4. Resistencia a la abrasión del PE.....	9
2.1.5. Otras características	9
2.1.6. Temperatura de funcionamiento	10
2.2. El Tubo KANAWEHOLITE.....	11
2.3. Accesorios.....	12
3. Dimensionamiento	13
3.1. Dimensionamiento mecánico e influencia de cargas externas	
3.1.1. Clasificación de rigidez del tubo	13
3.1.2. Condiciones de instalación e interacción entre la tubería y el suelo	14
3.1.3. Diseño estructural de tubos	17
3.1.4. Estructura de suelo/tubo (Marston-Spangler)	20
3.1.5. Cálculo de la deflexión vertical de la tubería - ΔD_v	22
3.1.5.1. Carga del suelo (carga estática) - P_s	22
3.1.5.2. Coeficiente de corrección de carga del suelo - SC.....	23
3.1.5.3. Módulo de rigidez del material de envoltura y Vertedero final - E_R	25
3.1.5.4. Carga de tráfico (carga dinámica) - P_t	25
3.1.5.5. Factores de autocompactación y distribución Carga en el atracadero.....	26
3.1.5.6. Clase de rigidez o rigidez nominal del anillo corrugado	27
3.2. Dimensionamiento Hidráulico	
3.2.1. Conductos libres	27
3.2.1.1 Dimensionamiento hidráulico de conductos libres.....	28
3.2.1.1.1 Ángulo de hoja de agua	29
3.2.1.1.2 Área húmeda (A_m).....	29
3.2.1.1.3 Radio hidráulico (R_h)	29
3.2.1.1.4 Pendiente (i)	29
3.2.1.1.5 Velocidad del flujo (V).....	29
3.2.1.1.6 Tasa de flujo (Q).....	30
3.2.1.1.7 Esfuerzo trativo.....	30
3.2.1.1.8 Consideraciones generales para	

	Dimensionamiento hidráulico	30
	3.2.1.1.9 Tabla de flujo y velocidad	30
4.	Instalación.....	30
4.1.	Consideraciones generales sobre el suelo y las propiedades geotécnicas .	31
4.1.1.	Apertura de zanjas y relleno de suelo.....	31
4.1.2.	Suelos para uso en envoltura de tuberías.....	33
4.1.3.	Compactación de suelos para uso en envolvente y relleno final...	34
4.2.	Procedimiento de instalación	
4.2.1.	Apertura y preparación de zanjas	34
4.2.2.	Excavación de trincheras.....	35
4.2.3.	Ancho de zanja	35
4.2.4.	Profundidad de la zanja	35
4.2.5.	Alineación y pendiente	36
4.2.6.	Zanjas con apuntalamiento anjas con presencia de agua	36
4.2.7.	Anclaje de tuberías - Instalación de tuberías bajo agua subterránea	38
4.2.8.	Envoltura de tubo: recomendaciones de construcción	39
4.2.9.1.	Capa base	39
4.2.9.2.	Capa de zona de vertedero inversa e inicial	40
4.2.9.3.	Compactación de capas	40
4.3.	Instalación de tuberías	41
4.3.1.	Posicionamiento de tuberías en la zanja	42
4.3.2.	Tuberías paralelas en zanja	42
4.3.3.	Instalación de tuberías en terrenos con importante pendiente....	42
4.3.4.	Tubos salientes o con generador superior por encima del nivel del terreno natural.....	43
4.3.5.	Deflexión angular	43
4.4.	Recomposición del pavimento	43
4.5.	Llegada y salida en passage box o PV	44
5.	Unión de tuberías y accesorios.....	44
5.1.	Juntas de soldadura por extrusión	45
5.1.1.	Proceso de soldadura por extrusión	46
5.2.	Juntas roscadas (no estancas)	50
5.3.	Conexión a tuberías existentes.....	52
5.4.	Conexión a estructuras rígidas	52
5.5.	Reparar	53
5.6.	Pruebas.....	53
6.	Manipulación y transporte	53
7.	Almacenamiento.....	55
8.	Aspectos de calidad	

8.1.	Estándares normativos de tubos KANAWEHOLITE.....	56
8.2.	Identificación de producto	56
8.3.	Control de calidad KANAWEHOLITE	56
8.3.1.	Control de materias primas	56
8.3.2.	Control de producto en el proceso de fabricación	57
8.3.3.	Inspección final	57
9.	Bibliografía.....	57
	Notificaciones.....	58

1. Introducción

ANAWEHOLITE es un tubo de pared estructurada, fabricado en PEAD (Polietileno de Alta Densidad), destinado al transporte de líquidos por gravedad en redes de infraestructuras enterradas.

Este manual proporciona información técnica para diseñadores e instaladores y no reemplaza los criterios de ingeniería, las normas de seguridad ni ninguna otra ley y disposición local, ni tampoco las especificaciones e instrucciones del diseñador, la autoridad final en todas las etapas del trabajo de ingeniería.

En el ítem 2 se presentan las características técnicas y dimensionales de los tubos KANAWEHOLITE.

En el ítem 3 se presentan los parámetros y fórmulas que permiten el cálculo de deflexiones verticales y desempeño hidráulico de los tubos..

Las tuberías KANAWEHOLITE deben instalarse teniendo en cuenta el tendido y soporte de relleno de la tubería de acuerdo con las pautas contenidas en el punto 4, ya que el éxito de la construcción de redes con tuberías no rígidas depende principalmente del tipo de ejecución (zanja o vertedero) y el comportamiento del suelo circundante y de cobertura. La tubería y el material de envoltura/cobertura forman un sistema tubería-suelo, ya que las tuberías enterradas no rígidas constituyen estructuras que interactúan fuertemente con el suelo circundante. Para brindar información a quienes desconocen el área de la geotecnia, este tema cubre algunos conceptos de la mecánica de suelos, con el fin de brindar las bases mínimas necesarias para comprender una correcta instalación, involucrando materiales, cuidados y métodos que agreguen seguridad en la ejecución de la misma. El sistema de tuberías en el campo.

La instalación debe realizarse de forma cuidadosa y adecuada, buscando maximizar el resultado de las numerosas ventajas que aportan las tuberías KANAWEHOLITE..

2. Características Técnicas y Dimensionales – Tubo KANAWEHOLITE y accesorios

KANAWEHOLITE es una tubería de pared estructurada, lisa interior y exteriormente, fabricada en HDPE (Polietileno de Alta Densidad), desarrollada para su uso en instalaciones enterradas, aplicada en drenaje de aguas pluviales, alcantarillado, efluentes químicos y transporte de aguas subterráneas. KANAWEHOLITE proporciona mayores velocidades y caudales en el sistema de tuberías, en comparación con la mayoría de las tuberías fabricadas con otros materiales.

Se produce en barras de 6 o 12 metros, con uniones roscadas o soldadas entre tubos. Permite deflexiones angulares en la red que facilitan la acomodación de las tuberías al trazado del proyecto, reduciendo el uso de conexiones.

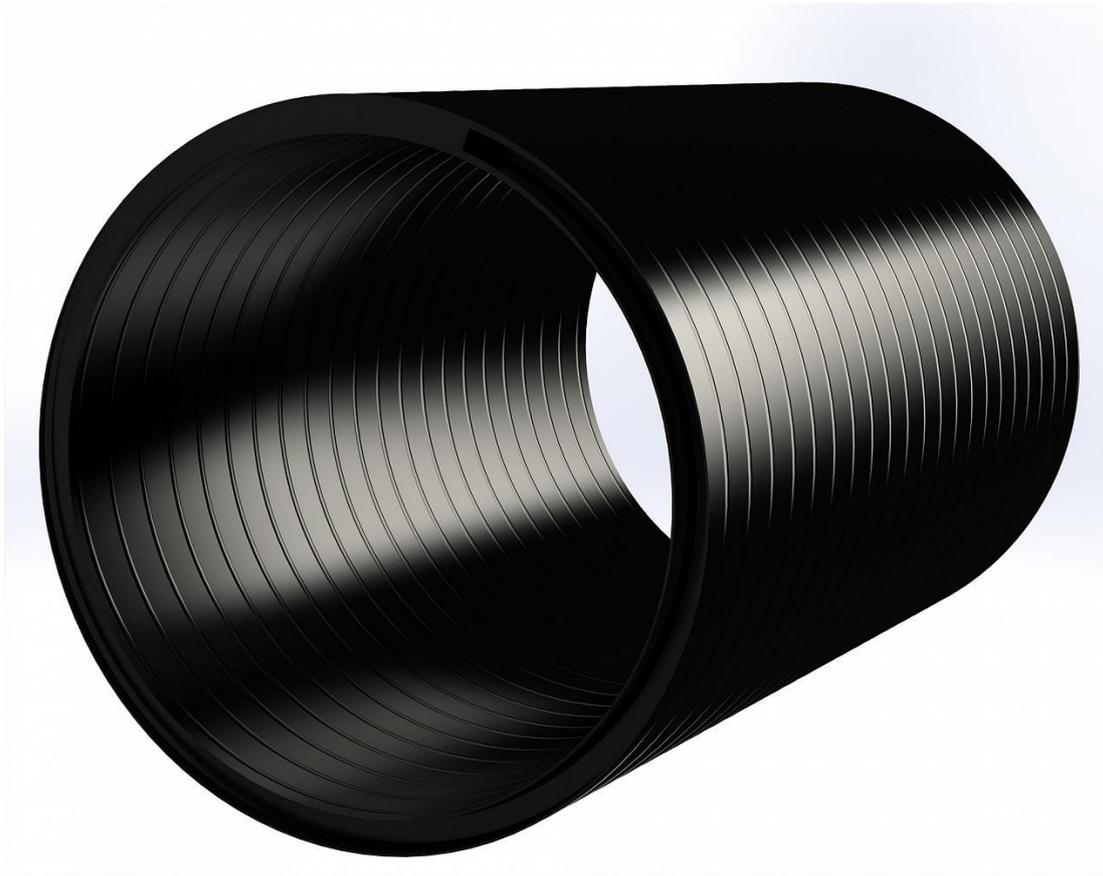


Figura 1 - Tubo KANAWEHOLITE

Disponible en clases de rigidez SN2 (2kN/m²) y SN4 (4kN/m²) según ISO 9969, en diámetros nominales de 800 a 3000 (Tabla 2), el tubo KANAWEHOLITE presenta altas prestaciones mecánicas, permitiendo una instalación segura, cuando los parámetros del proyecto y se respetan las directrices contenidas en este manual. Las superficies exterior e interior son de color negro.

KANAWEHOLITE se fabrica con altos estándares, cumpliendo con la norma EN 13476-3:2018 - Sistemas de tuberías de plástico para drenaje subterráneo y alcantarillado sin presión - Sistemas de tuberías de pared estructuradas hechos de poli(cloruro de vinilo) no plastificado (PVC-U), polipropileno (PP) y polietileno (PE) - Parte 2: Especificaciones para tuberías y accesorios con superficies internas y externas lisas y el sistema, Tipo A.

Estas son características de KANAWEHOLITE:

- **Ligereza:** reduce significativamente el riesgo de accidentes con el personal durante la instalación y la necesidad de maquinaria pesada durante las etapas de transporte, manipulación y colocación de zanjas;
- **Barra de 6 o 12 metros:** agiliza la instalación en comparación con otras tuberías para la misma aplicación, proporcionando ganancias significativas de productividad en obra;
- **Alta resistencia química:** permite la instalación en suelos con alta salinidad, gran tolerancia al paso/contacto de líquidos agresivos o efluentes industriales.;

- **Baja rugosidad:** Coeficiente de Manning igual a 0,010, permite la reducción de la pendiente de instalación y/o, en muchos casos, la reducción del diámetro interno de galerías previamente diseñadas para tuberías con mayor rugosidad, sin sacrificar el caudal de diseño;
- **Alta resistencia al impacto:** reduce a cero las pérdidas de material por roturas derivadas de caídas y posibles golpes mecánicos durante las etapas de movimiento/transporte/instalación en obra;

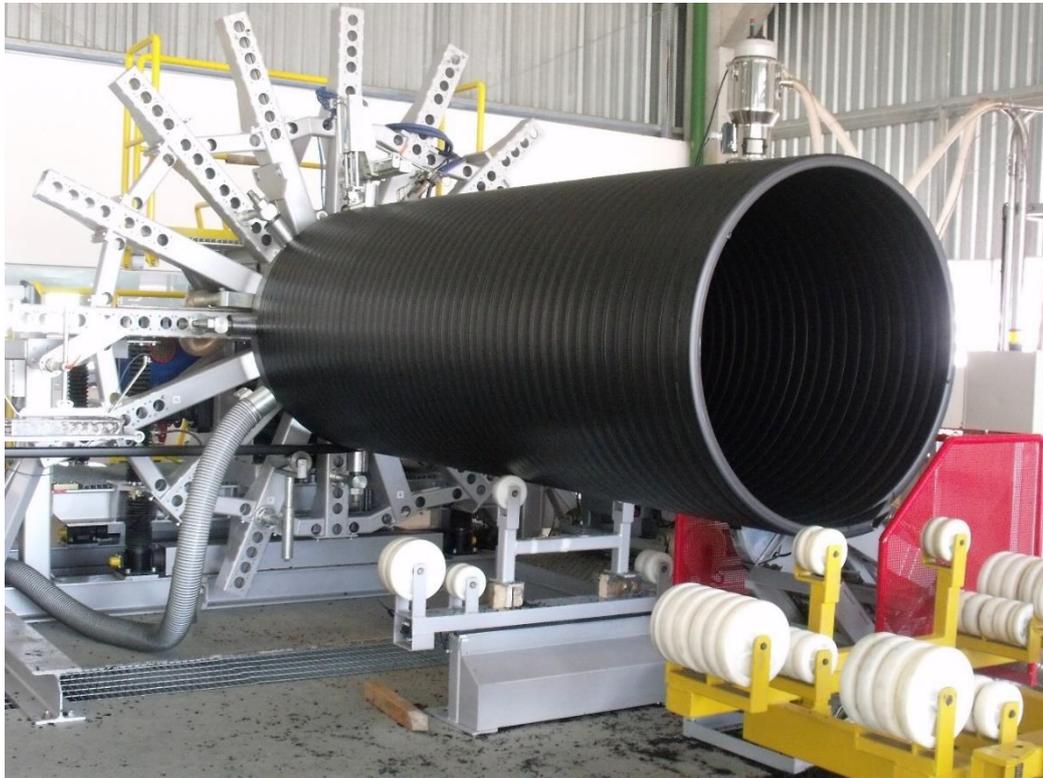


Figura 2 - Tubo KANAWEHOLITE - Producción

2.1 Materia prima

2.1.1. Polietileno

El polietileno (PE) es un plástico que se obtiene por la unión de numerosas moléculas de etileno (monómeros), mediante la reacción de polimerización, generando una macromolécula de gran tamaño, que, a su vez, le confiere a este material las características de un polímero.

Los polímeros que están compuestos únicamente de carbono e hidrógeno (hidrocarburos) se clasifican como poliolefinas. El PE es la poliolefina que tiene la estructura molecular más simple y es el plástico más utilizado hoy en día en el mundo.

Entre las ventajas del PE podemos destacar:

- ligereza;
- alta resistencia química;
- excelente elasticidad;
- alta resistencia a la abrasión;
- alta resistencia al impacto, incluso a bajas temperaturas.

2.1.2. Tipos de PE en función de la densidad

El PE destaca por su amplio rango de densidad y, según esta propiedad, se puede dividir en:

Polietileno de Alta Densidad	PEAD
Polietileno de Media Densidad	PEMD
Polietileno de Baja Densidad	PEBD

El PE utilizado para fabricar el tubo KANAWEHOLITE tiene un valor de densidad típico de aproximadamente $0,95 \text{ g/cm}^3$, lo que lo clasifica como un tubo de HDPE. Debido a esta característica, combinada con la estructura perfilada helicoidal del tubo, el producto final es extremadamente liviano en comparación con tubos para la misma aplicación fabricados con otros materiales.

2.1.3. PE Resistencia química

El PE tiene una estructura apolar similar a la de los hidrocarburos parafínicos y por ello este polímero tiene una excelente resistencia a las sustancias químicas.

El PE es resistente a soluciones salinas acuosas, ácidos diluidos y álcalis. Sólo agentes fuertemente oxidantes como peróxidos y ácidos altamente concentrados o halógenos atacan al PE después de una exposición prolongada.

Sin embargo, esta resistencia no excluye la posibilidad de que, en determinadas condiciones, las propiedades mecánicas del PE puedan verse influidas por la acción de compuestos químicos. Para información más específica y detallada recomendamos consultar la norma ISO/TR 10358 "Plastics pipes and fittings - Combined chemical - resistance classification table".

Alguna información sobre la Resistencia Química del PE se indica en la Tabla 1.

Producto	Temperatura		Producto	Temperatura	
	20 °C	60 °C		20 °C	60 °C
Acetato de plomo	E	E	Cloruro de sodio	E	E
Acetona 100%	E	E,D	Cloruro de zinc	E	E
Ácido acético glacial	E	G,D,c,f	Cloro (gas y líquido)	F	N
Ácido bromhídrico 100%	E	E	Clorobenceno	G	F,D,d,c
Ácido carbónico	E	E	Cloroformo	G	F,D,d,c
Ácido carboxílico	E	E	Detergentes	E	E,c
Ácido cianhídrico	E	E	Diclorobenceno	F	F
Ácido clorhídrico	E	E,d	Ftalato de dioctilo	E	G,c
Ácido clorosulfónico	F	N	Dióxido de azufre líquido	F	N
Ácido cromico 80%	E	F,D	Azufre	E	E
Ácido fluorhídrico 1-75%	E	E	Esencia de trementina	G	G
Ácido fosfórico 30-90%	E	G,D	Ésteres alifáticos	E	G
Ácido glicólico 55-70%	E	E	Éter	G	F
Ácido nítrico 50%	G,D	F,D,f	Éter de petróleo	G,d,i	F,d
Ácido nítrico 95%	N,F,f	N,c	Flúor gaseoso 100%	N	N
Ácido perclórico 70%	E	F,D	Gasolina	E	G,c
Ácido salicílico	E	E	Hidróxido de amonio 30%	E	E
Ácido sulfocrómico	F	F,f	Hidróxido potasio conc.	E	E,c
Ácido sulfúrico 50%	E	E	Hidróxido de sódio conc.	E	E,c
Ácido sulfúrico 98%	G,D	F,D,f	Hipoclorito de calcio sat.	E	E
Ácido sulfuroso	E	E	Hipoclorito de sodio 15%	E	E,D,d
Ácido tartárico	E	E	Isooctano	G	G
Ácido tricloroacético 50%	E	E	Metiletilcetona	E	F
Ácido tricloroacético 100%	E	F	Nafta	E	G
Acrilonitrilo	E	E	Nitrato de amonio saturado	E	E
Agua de mar	E	E	Nitrato de plata	E	E
Alcohol bencilico	E	E	Nitrato de sodio	E	E
Alcohol butílico	E	E	Nitrobenceno	F	N,c
Alcohol etílico 96%	E	E	Aceite comestible	E	E
Alcohol metílico	E	E	Diesel	E	G
Amoníaco	E,D,d	E,D,d	Pentóxido de fósforo	E	E
Acético anhidro	E	G,D	Permanganato de potasio	D,E	E
Anilina	E	G	Peroxido de hidrogeno 30%	E	E,d
Benceno	G,d	G,d,i	Petróleo	E	G
Benzonato de sodio	E	E	Queroseno	G	G,c
Bicromato de potasio 40%	E	E,D	Sales de níquel	E	E
Borato de sodio	E	E	Sulfatos metálicos	E	E
Blanqueadores	E	G,c	Sulfuro de sodio	E	G
Bromo líquido	F	N	Tetracloruro de carbono	G,d,i	F,d,c
Carbonato de sodio	E	E	Tricloroetileno	F,D	N,D
Cloruro amónico	E	E	Xileno (xilol)	G,d,i	F,c,d

Tabela 1 - Resistencia química del PE
SUBTITULAR:

D - Descoloramiento.

E - Exposición durante 30 días, sin pérdida de características, pudiendo tolerar el contacto durante muchos años.

F - Algunos signos de ataque tras 7 días en contacto con el producto.

G - Ligera absorción tras 30 días de exposición, sin comprometer las propiedades mecánicas.

N - No recomendado. Signos de ataque detectados minutos u horas después del inicio de la exposición.

c - Agrietamiento.

f - Fragilidad.

d - Deformación.

i - Hinchazón.

2.1.4. Resistencia a la abrasión del PEAD

El PEAD tiene una excelente resistencia a la abrasión en comparación con otros materiales utilizados en la fabricación de tuberías para aplicaciones de infraestructura.

Para evaluar esta propiedad, se desarrolló un método de prueba, que pasó a conocerse como Prueba de Abrasión de Darmstadt, estandarizada en DIN 19534.

Se sometieron muestras de tubos fabricados de diferentes materiales a la misma prueba de abrasión y los resultados encontrados se muestran en la Figura 3.

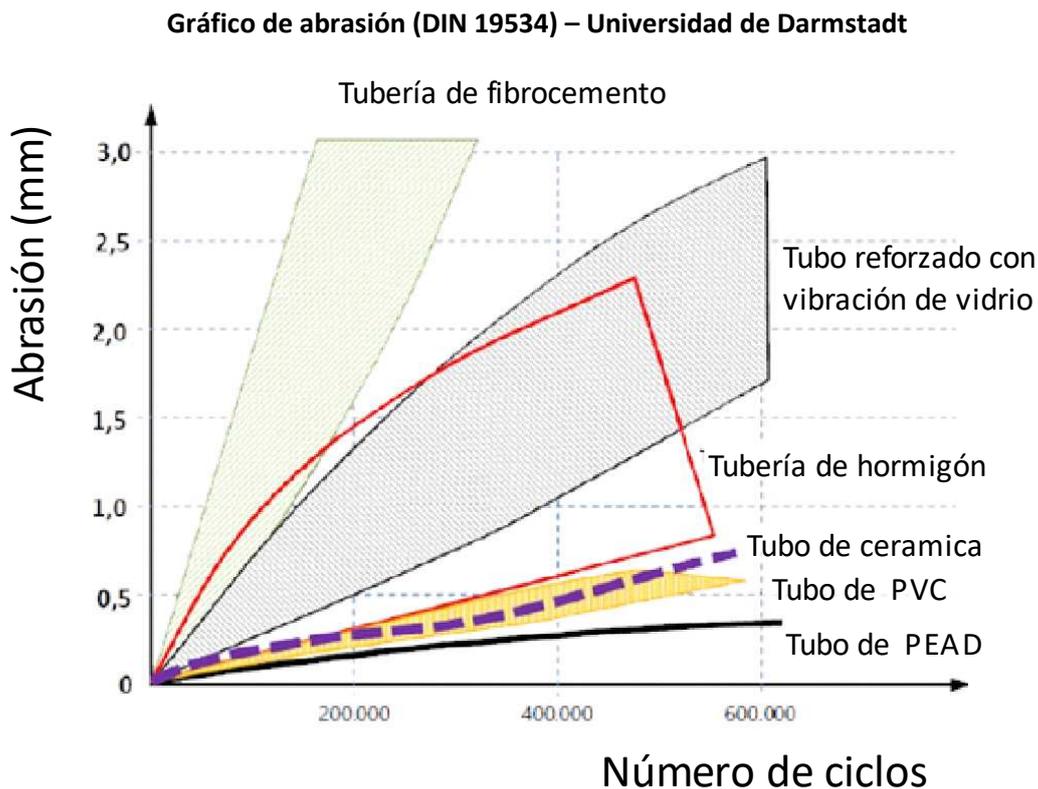


Figura 3 - Gráfico de abrasión (DIN 19534) - Universidad de Darmstadt

2.1.5. Otras características

El HDPE es un material dúctil con excelente resistencia al alargamiento a la rotura, lo que permite que los tubos fabricados con este material se deformen con el eventual movimiento/acomodación del suelo, sin romperse ni agrietarse.

El HDPE utilizado en la fabricación del tubo KANAWEHOLITE tiene valores típicos de resistencia al alargamiento a la rotura superiores al 350% y un módulo elástico en torno a los 800 MPa.

2.1.6. Temperatura de funcionamiento

La tubería KANAWEHOLITE está diseñada y dimensionada para funcionar bajo tierra y no presurizada. Debido a estas condiciones y a la baja conductividad térmica del HDPE, se espera que la superficie externa del tubo esté a una temperatura más baja que la temperatura máxima del fluido en su interior.

Los límites de temperatura de funcionamiento pueden variar entre 0 y 40°C, permitiéndose de forma esporádica trabajar a temperaturas máximas de hasta 60°C. La referencia a la temperatura siempre debe considerarse para el fluido y no para el tubo.

Como todos los plásticos, el HDPE también sufre influencia en sus propiedades bajo el efecto de la temperatura. Un aumento de temperatura reduce la rigidez del material y una disminución de la temperatura aumenta su rigidez. Aún así, no se esperan implicaciones para el manejo e instalación de tuberías corrugadas ya que, a medida que la tubería se enfría a la temperatura ambiente del suelo, regresan las características de rigidez originales.

2.2 Tubo KANAWEHOLITE

KANAWEHOLITE se fabrica en las dimensiones y clases de rigidez que se muestran en la Figura 4 y la Tabla 2.

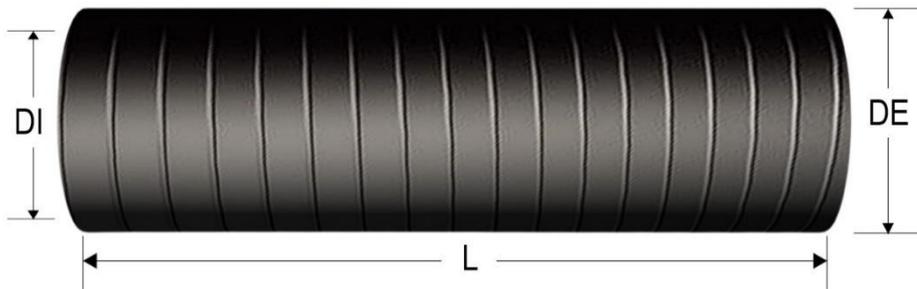


Figura 4 - Tubo KANAWEHOLITE

	Clase de rigidez (kN/m ² o kPa)			
	SN2	SN4		
Serie DN/DI (mm) Diámetro interno	Diámetro externo DE (mm)		Longitud de la barra (m)	
800	-	888	6	12
1200	-	1325	6	12
1500	1625	1655	6	12
1800	1955	-	6	12
2000	2170	2216	6	12
2500	2716	2764	6	12
3000	3250	3320	6	12

Tabla 2- Tabla de medidas do Tubo KANAWEHOLITE

Para los diámetros DN800, DN1200 y DN1500, KANAWEHOLITE se puede suministrar con extremos de unión roscables. En este caso se debe prestar atención a la longitud útil detallada en la Tabla 3.

DN/DI (mm)	Lance (m)	Comprimento útil das barras para juntas rosqueáveis (m)	
		SN2	SN4
800	6	5,7	5,7
	12	11,7	11,7
1200	6	5,7	5,6
	12	11,7	11,6
1500	6	5,6	5,5
	12	11,6	11,5

Tabela 3- Comprimento útil do Tubo KANAWEHOLITE para Juntas Rosqueáveis

2.2.2 Clase de rigidez o rigidez nominal del anillo del tubo

Los tubos de pared estructurada se clasifican según su rigidez anular, que se determina de acuerdo con la norma ISO 9969.

El término “SN” (Nominal Ring Stiffness) indica la rigidez nominal del anillo del tubo, es decir, la rigidez mínima que presenta el tubo, siendo los valores “SN” presentados en kN/m² (o kPa).

El tubo KANAWEHOLITE se fabrica en las clases de rigidez SN2 y SN4, compatibles con los niveles de deflexión bajo las condiciones de validación ambas abordadas en el punto 3.1.3..

2.3 Accesorios

Kanaflex proporciona, bajo pedido, una amplia gama de accesorios que tienen como objetivo brindar flexibilidad y versatilidad para necesidades específicas de conexión en sistemas tubulares.

Los accesorios se fabrican a partir de tramos del propio tubo, mediante un proceso de soldadura, asegurando estanqueidad y alta resistencia en las uniones.

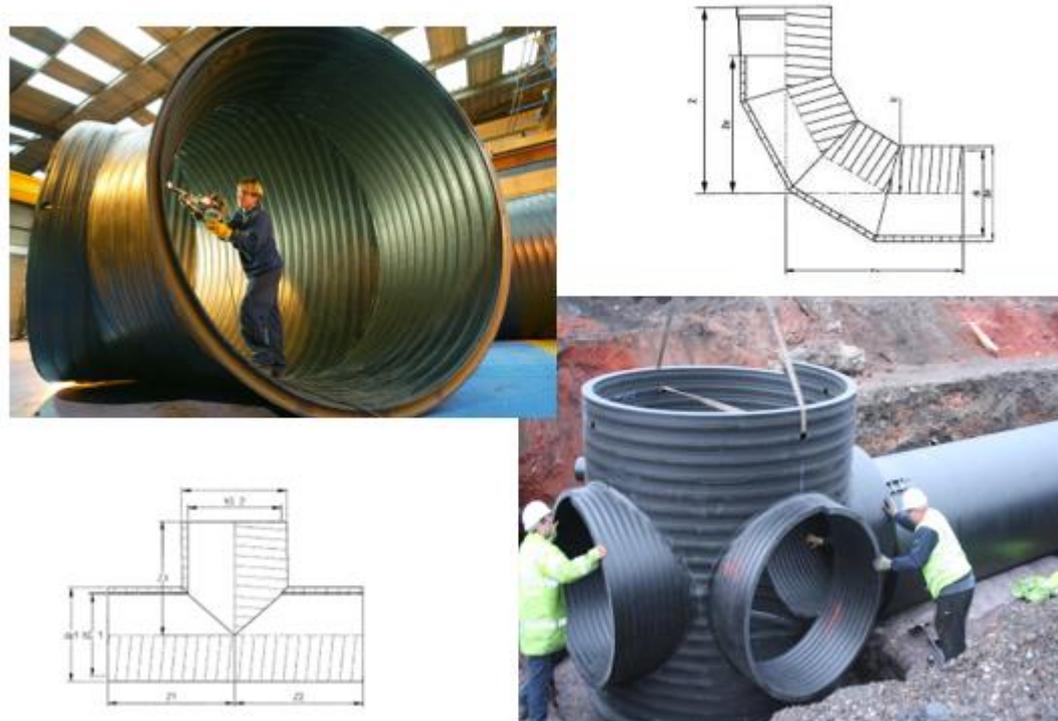


Figura 5 – Accesorios

3. Dimensionamiento

La información de tamaño contenida en este artículo son pautas basadas en estándares técnicos actuales y literatura técnica académica.

La información y fórmulas presentadas en el punto 3.1 tienen como objetivo comprender los parámetros tomados en consideración para el comportamiento mecánico del tubo KANAWEHOLITE, así como las condiciones bajo las cuales interactúa con el suelo circundante para que su deflexión vertical durante y después de la instalación se mantenga dentro de límites establecidos en las normas y en la etapa de diseño.

Las informaciones y fórmulas presentadas en el ítem 3.2 permiten calcular el rendimiento hidráulico de las tuberías KANAWEHOLITE.

3.1 Dimensionamiento mecánico e influencia de cargas externas

El estudio de las cargas externas que actúan sobre tuberías enterradas fue desarrollado inicialmente teórica y experimentalmente por A. Marston. El concepto básico del estudio es que la carga debida al peso de la columna de terraplén sobre la tubería instalada enterrada en una zanja se modifica por el efecto arco a través del cual parte de este peso se transfiere a los prismas laterales adyacentes, lo que resultará en la carga sobre la tubería puede ser menor que el peso de la columna de suelo que actúa sobre esta última. Para el desarrollo del estudio fue necesario establecer algunas definiciones esenciales como Rigidez de la Tubería y Condiciones de Instalación.

3.1.1. Clasificación de rigidez del tubo

En cuanto al grado de rigidez, los tubos se pueden clasificar en rígidos, semirrígidos o no rígidos según las deformaciones horizontales o verticales que pueden alcanzar las secciones transversales sin sufrir daños permanentes, según la Tabla 4.

Clasificación de tubos	% Deflexión sin presentar daño estructural	Ejemplos
Duro	Desviación < 0,1 %	Hormigón, cerámica
Semi rígido	0,1 % ≤ Desviación ≤ 3,0 %	Hierro fundido
No rígido	Desviación > 3,0 %	PEAD, Acero, hierro dúctil

Tabla 4 - Clasificación de tuberías según su deflexión.

Esta clasificación fue posteriormente modificada por Merlin G. Spangler (Universidad de Iowa) quien redujo los tipos de tuberías a rígidas y no rígidas.

Según este concepto mecánico, la tubería KANAWEHOLITE se clasifica como tubería no rígida. El concepto de tubo no rígido no se refiere a la dirección longitudinal de la barra, sino a su sección transversal.

3.1.2. Condiciones de instalación e interacción entre la tubería y el suelo

En cuanto a las condiciones de instalación, las tuberías enterradas se pueden colocar dentro de una zanja o en un terreno que servirá de base para un vertedero. La Figura 8 ilustra las tres condiciones básicas de instalación. Las tuberías no rígidas están diseñadas para su instalación en terreno firme, por lo que son ideales para su instalación en una zanja abierta en terreno natural estable.

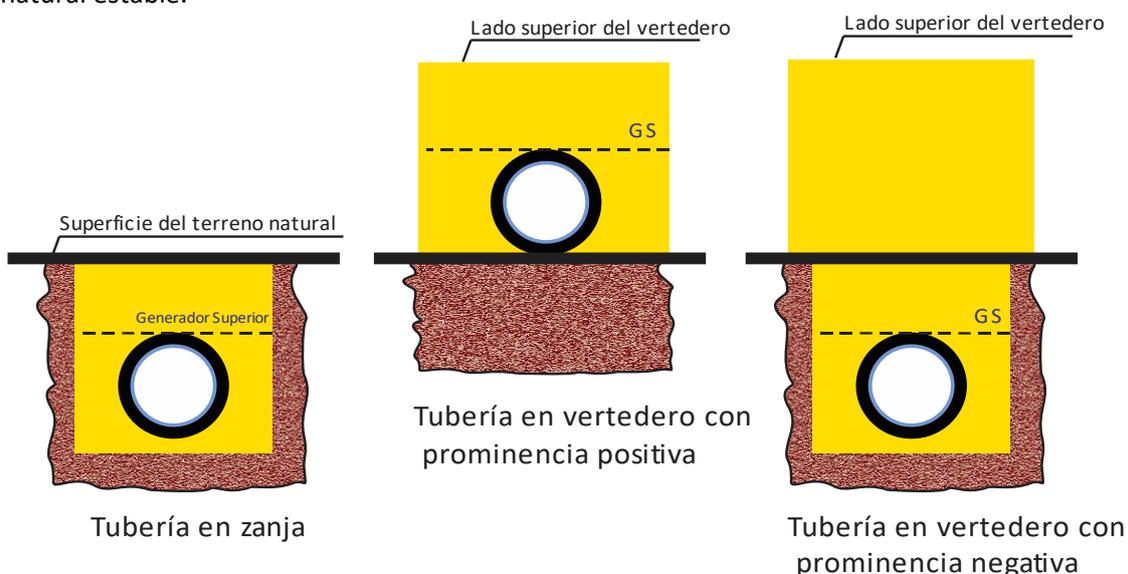


Figura 8 - Condiciones para instalar tuberías en una zanja o terraplén

La instalación de tuberías en una zanja implica que la tubería se coloque en una zanja relativamente estrecha, excavada en suelo pasivo y no perturbado, que posteriormente se llena con material para envolver tuberías.

El concepto de zanja relativamente estrecha se puede establecer si la relación del ancho de la zanja varía de 1,5 a 2,0 veces el diámetro externo de la tubería. Cuando el ancho de la zanja excede estos límites, básicamente comienza a existir la condición de terraplén y se debe tener especial cuidado al instalar una tubería no rígida.

La instalación de una tubería en un terreno que sirve de base a un vertedero implica dos subdivisiones:

- El tendido de la tubería sobre el terreno natural que recibe el vertedero, pero que tiene su generatriz superior situada por encima del nivel del suelo, como se ilustra en la figura anterior, para “tubería en vertedero con saliente positivo”. Si es necesario instalar una tubería no rígida en un terraplén en terreno natural, previamente se deberá realizar el terraplén y compactación adecuada, antes de poder abrir la zanja y tender la tubería.
- El tendido de la tubería en el terreno que recibe el terraplén, pero que tiene su generatriz superior ubicada por debajo del nivel natural del terreno, como se ilustra para “tubería en terraplén con saliente negativo”.

Los estudios desarrollados por Spangler dieron como resultado la siguiente proposición: “las redes de tuberías enterradas derivan su capacidad de carga de la resistencia inherente de cada tubería a las cargas verticales externas y de la presión lateral del terraplén (envoltura) en los lados de la tubería, que provoca tensiones sobre los anillos del tubo en dirección opuesta a la producida por la carga vertical”.

Para tuberías no rígidas se ha probado y utilizado el límite de ancho de zanja igual a $2xDE$, lo que ofrece buenas condiciones para la construcción/tendido, y se desconocen problemas en el uso de la valoración antes mencionada, cuando la tubería se instala de acuerdo con las demás recomendaciones. en este manual.

Como referencia ilustrativa de aplicación se pueden citar las alcantarillas de carretera, que se dividen básicamente en dos tipos: alcantarillas de reja y alcantarillas de gruta.

***La boca de registro de Greide** constituye una aplicación clásica de “tubería en zanja” o “tubería en terraplén con saliente negativo”. Está destinado al transporte de agua ocasional (canalones y barrancos) donde la entrada del agua se realiza normalmente a través de cajas de recogida y se utiliza para permitir la transposición del caudal de agua captada por los dispositivos de drenaje superficial, en particular los canalones. También puede recoger caudales de vaguadas naturales o barrancos interceptados por la carretera en tramos de corte.

***La boca de acceso de Grotta** constituye una aplicación clásica de “tubería en terraplén con saliente positivo”. Se instala apoyado sobre un fondo de vaguada y está destinado a aguas permanentes. En el caso de obras mayores, corresponde a cursos de agua permanentes de arroyos y canales existentes, y en consecuencia, de gran responsabilidad.

***Barranco** – flujo de grandes concentraciones de agua por las laderas. Constituye una depresión en el suelo producida por la labor erosiva de estas aguas de escorrentía. Los barrancos suelen clasificarse como de menor escala que los barrancos, valles y cañones.

***Thalweg** – camino por donde pasan aguas de manantial. Línea sinuosa en el fondo de un valle, resultante de la intersección de los planos de dos vertientes y en la que se concentran las aguas que descienden de ellas.

El tubo KANAWEHOLITE se beneficia de su capacidad de deformarse o modificarse bajo la acción de cargas, sin presentar daños estructurales, como se ilustra en la Figura 9.

Esta deformación se conoce como deflexión, la cual permite que el tubo se adapte a la forma de la carcasa exterior, transfiriendo la mayor parte de la carga vertical recibida a la carcasa.

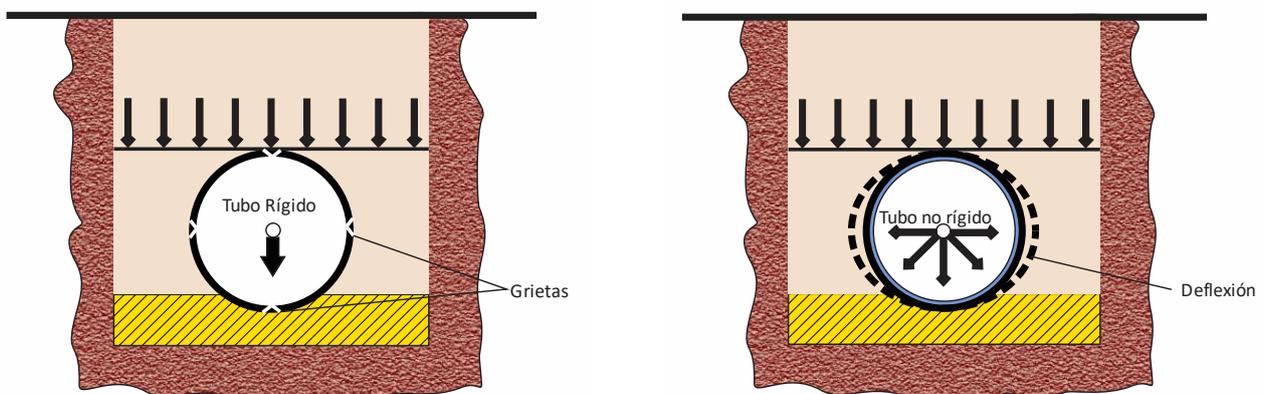


Figura 9 – Comportamiento de diferentes tipos de tubos bajo carga vertical.

Tanto las tuberías rígidas como las no rígidas requieren un suelo adecuado, aunque la interacción de la tubería con el suelo es diferente en cada caso.

En el caso de una tubería rígida, la carga superior se transfiere al fondo de la zanja (base o cuna). En el tubo no rígido, la carga se distribuye por el suelo circundante, por lo que el tubo interactúa con el suelo.

La Figura 10 ilustra la interacción suelo/tubería y la transferencia de carga en ambos tipos de tuberías:

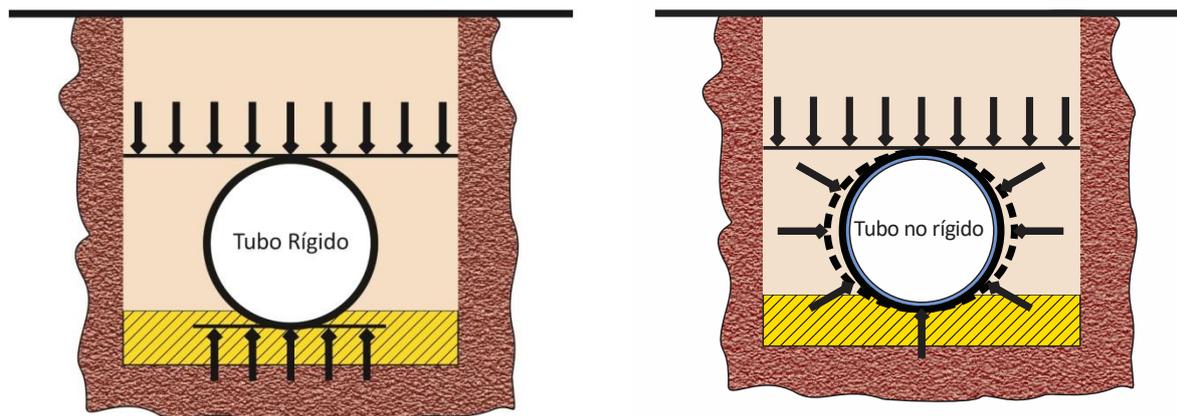


Figura 10 - Transferencia de carga a la base del tubo e interacción suelo-tubo (tubo con el suelo circundante).

Un tubo rígido casi siempre es muchas veces más rígido que el suelo circundante, lo que lleva a la necesidad de soportar cargas de suelo mucho mayores que la carga del prisma sobre el tubo.

Por otro lado, una tubería no rígida no es tan rígida como el suelo circundante, lo que obliga a la movilización del suelo circundante lateral para soportar el peso del tráfico y las cargas del suelo.

3.1.3. Diseño estructural de tubos

Para especificar la clase de rigidez aplicable a un sistema de tuberías no rígidas enterradas, los diseñadores primero deben establecer las deflexiones permitidas para las tuberías, según su experiencia y/o referencias normativas.

La práctica en el mercado brasileño es adoptar una deflexión vertical inicial máxima del 5%, sin embargo, la norma ABNT NBR ISO 21138-1 recomienda límites de deflexión como se muestra en la Tabla 5. Principalmente por razones de preservar la estanqueidad de las juntas, los valores calculados de deflexión vertical no debe exceder estos límites.

Clase de rigidez	Deflexión vertical promedio inicial	Deflexión vertical promedio a largo plazo
SN2	5%	8%
SN4	8%	10%

Tabela 5 - Límites de deflexión de recomendados

Un estudio intensivo de registros/observaciones de deflexión vertical de tuberías no rígidas instaladas en diferentes condiciones, durante más de 25 años, dio como resultado la experiencia presentada en el Cuadro de Diseño en la Figura 11.

Para las tres condiciones de compactación de la envolvente durante la instalación, se puede estimar el orden de magnitud de la deflexión vertical y se puede elegir la clase de rigidez del tubo a utilizar. Las condiciones de validación de la estimación se detallan en la Tabla 6.



Subtitular :

I - Buena compactación / II - Compactación moderada / III - Sin compactación (no recomendado)

Figura 11 - Cuadro de Diseño

El Cuadro de Diseño sirve como referencia informativa para el diseñador y no pretende reemplazar el cálculo de la deflexión vertical, ni limitar las condiciones a las que se pueden someter los tubos.

Parámetro	Condiciones de validación
Altura de relleno (*)	0,8 a 6,0 m medido desde la generatriz superior del tubo.
Cargas de tráfico	Considerado existente.
Calidad de instalación	<p>“Bien” Compactación (I) En la zanja, el relleno de tierra granular alrededor de la tubería se coloca cuidadosamente en capas de no más de 30 cm, y cada capa se compacta antes de recibir la siguiente. A partir de la generatriz superior, el tubo debe quedar recubierto por una capa de al menos 15 cm, también compactada, que se considera parte integrante de la envoltura del tubo. La capa de relleno final, sobre la envoltura de la tubería, se rellena con material de envoltura o tierra nativa y luego se compacta. Los valores típicos de densidad Proctor deben estar por encima del 94%.</p> <p>“Moderada” Compactación (II) En la zanja, el suelo granular que llena la envoltura de la tubería se coloca cuidadosamente en capas de no más de 50 cm, y cada capa se compacta antes de recibir la siguiente. A partir de la generatriz superior, el tubo debe quedar recubierto por una capa de al menos 15 cm, también compactada, que también se considera parte integrante de la envoltura del tubo. La capa de relleno final, sobre la capa de envoltura de tuberías, se rellena</p>
La categoría de compactación "Buena", "Moderada" o "No" debe reflejar una mano de obra en la que el diseñador puede confiar.	
(Las capas de relleno de zanjas se detallan en la Figura 26).	

	<p>con material de envoltura o tierra nativa y luego se compacta. Los valores típicos de densidad Proctor deben permanecer en el rango del 87% al 94%.</p>
	<p>No Compactación (III) Los pilotes/láminas de apuntalamiento lateral deberán retirarse antes de la compactación, de acuerdo con las recomendaciones de la Norma EN 1610:1997. Sin embargo, si los pilotes/láminas se retiran después de la compactación, se debe considerar que el nivel de compactación "Bueno" o "Moderado" se reducirá al grado de No Compactación (III).</p>

Tabela 6 - Condiciones de validación del gráfico de diseño

(*) Nota: La altura de relleno podrá ser inferior a 0,8m en instalaciones donde la carga de tráfico sea de vehículos ligeros, así como donde no exista un nivel freático elevado que pueda generar flotabilidad en la tubería enterrada. Para situaciones como ésta, recomendamos utilizar Clase de Rigidez SN4.

Asimismo, las alturas de relleno pueden ser superiores a 6,0 m, teniendo en cuenta el cuidado en el cálculo de la flecha vertical.

La Figura 12 detalla, en sección transversal, las principales partes/etapas de una instalación típica de una red subterránea con tubería tendida en una zanja con paredes verticales, en suelo nativo (o relleno sanitario compactado). La terminología de las piezas indicadas en el dibujo es la utilizada en el texto de este manual.

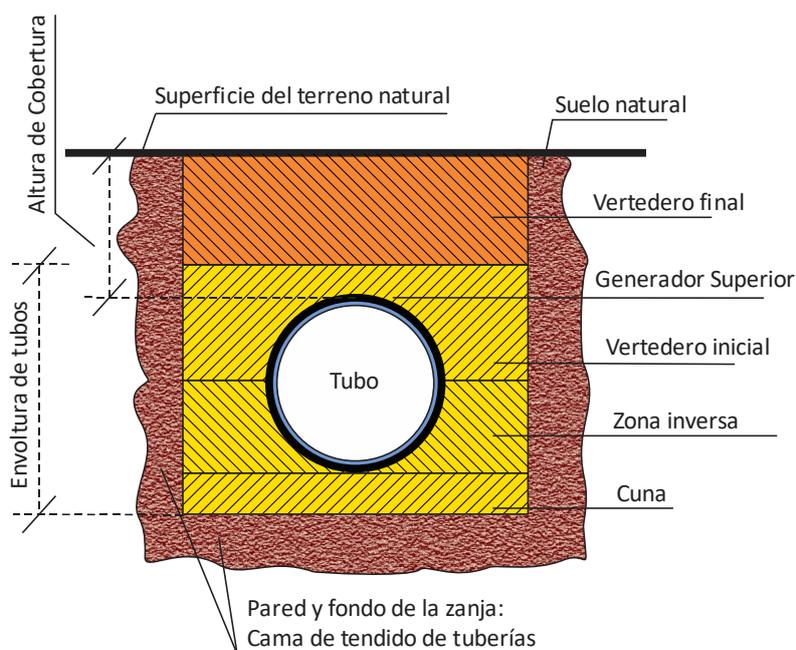


Figura 12 – Tubería de zanja: definición de las partes integrales de una instalación típica

Suelo nativo es el espacio de suelo compuesto de material firme, compacto, consistente, sin fallas, donde se abrirá la zanja para instalar la tubería. El lecho de tendido de tuberías comprende las paredes y el fondo de la zanja. En el caso de instalar una tubería en un vertedero en suelo nativo, primero se debe compactar adecuadamente el vertedero y luego se debe abrir una zanja para instalar la tubería.

Envoltura es el nombre que se le da al material compactado adyacente a la tubería, que incluye la zona inversa, el relleno inicial y la capa inmediatamente superior a la generatriz superior. La envoltura, en la instalación de tuberías no rígidas, juega un papel estructural de gran importancia, donde la capacidad de soportar las cargas impuestas depende de un adecuado soporte lateral.

La cuna es la capa que soporta la tubería dentro de la zanja. En el caso de tuberías no rígidas, la capa cuna debe realizarse con material granular no compactado, preferiblemente arena, para acomodar la corrugación. Se puede utilizar cero o una grava (DN>400) o suelo arcilloso siempre y cuando no aparezca agua/nivel freático en el fondo de la zanja. Si existe riesgo de presencia de agua en la zanja, no se recomienda el uso de arcilla, debido a la posibilidad de pérdida de consistencia del suelo y de la respectiva interacción tubería-soporte.

La zona inversa, relleno inicial y capa compactada inmediatamente encima de la generatriz superior son regiones de la envoltura que requieren una ejecución muy cuidada para que el sistema tubular no rígido enterrado presente el comportamiento deseado.

La altura de cobertura es el espesor total de las capas compactadas del suelo de cobertura, desde la generatriz superior de la tubería en la zanja hasta la superficie del terreno natural, o hasta la superficie del vertedero, si el vertido se produce por encima del nivel del suelo. superficie natural después de instalar las tuberías.

3.1.4. Estructura de suelo/tubo (Marston-Spangler)

El Dr. Spangler y Marston, de la Universidad de Iowa/EE.UU., analizaron el rendimiento de una estructura de tubo/suelo no rígida para predecir matemáticamente la deflexión vertical del tubo en respuesta a la carga (tráfico y suelo), terraplén (compactación y tipo del suelo) y la tubería (material de fabricación y geometría).

La ecuación resultante de este estudio se conoció como ecuación de Spangler o fórmula de Iowa:

$$\text{Deflexión} = \text{Carga(s) sobre la tubería} / (\text{Rigidez de la tubería} + \text{Rigidez del suelo})$$

Después de la instalación, con el tiempo se produce un asentamiento del suelo circundante (envoltura de la tubería) debido a la carga externa y a la forma en que se coloca la tubería.

La experiencia demuestra que la deflexión vertical máxima tiende a alcanzarse entre 1 y 3 años después de la instalación, dependiendo de la envoltura y los materiales de relleno finales, la

calidad del trabajos de compactación del suelo y cargas externas. Debido a esto, el cálculo de la deflexión vertical presentado en este manual solo considera las propiedades a corto plazo (inicial) del producto.

La Figura 13 ilustra el comportamiento de la deflexión vertical del tubo durante la instalación y después de la instalación, considerando la influencia de la carga de tráfico.

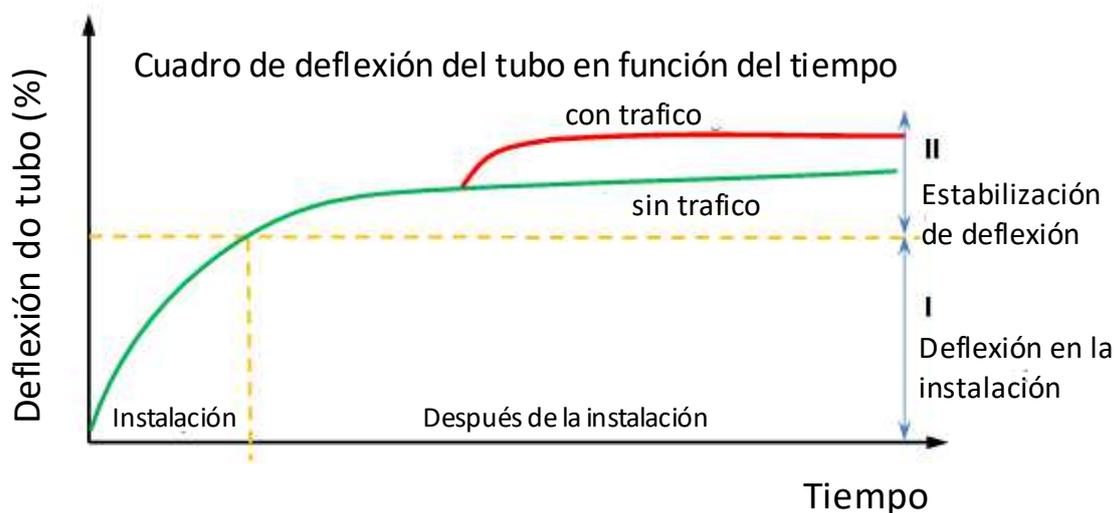


Figura 13 - Gráfico de deflexión de la tubería en el momento de la instalación y después de la instalación.

Las investigaciones indican que la deflexión adicional, hasta que el sistema alcance su estabilización, puede variar de 1,5 a 2 veces la deflexión resultante de la instalación. Esta variación establece el factor de autocompactación a considerar al calcular la deflexión vertical y se detalla en el ítem 3.1.5.5.

3.1.5. Cálculo de la deflexión vertical de la tubería - ΔD_v

La ecuación de Spangler fue modificada basándose en estudios realizados por varios investigadores, incluidos los Dres. Barnard y Watkins, quienes simplificaron la ecuación original y establecieron la fórmula de Iowa modificada:

$$\Delta D_v = b_1 \cdot (C \cdot P_s + P_t) / (8 \cdot SN + 0,061 \cdot E_R)$$

- ΔD_v = deflexión vertical, [%]
- b_1 = factor de distribución de carga
- C = factor de autocompactación
- P_s = carga de suelo, [kN]
- P_t = carga de tráfico, [kN]
- SN = rigidez del anillo de tubo, [kN/m²]
- E_R = módulo de rigidez de solo, [kN/m²]

Los estudios demuestran que la carga vertical que actúa sobre una tubería no rígida colocada en una zanja es menor que el peso del material de cobertura. Las fórmulas que se presentan a continuación permiten calcular las variables que componen la fórmula de Iowa modificada, con

base en la norma alemana ATV-DVWK-A127 considerando tubería instalada en una zanja con paredes verticales.

La rigidez anular del tubo (SN) se aborda en el ítem 2.2.2.

3.1.5.1. Carga del suelo (carga estática) - P_s

La carga del suelo que actúa sobre la tubería se puede calcular según la teoría del Silo, donde se considera un factor de corrección de la carga del suelo provocada por el autosostenimiento del terreno.

$$P_s = SC \cdot \gamma \cdot H$$

P_s = carga vertical del suelo, [kN/m²].
 γ = peso específico del material de relleno, [kN/m³].
 H = profundidad de la zanja hasta el generador superior do tubo (m)
 SC = coeficiente de corrección de carga del suelo (-)

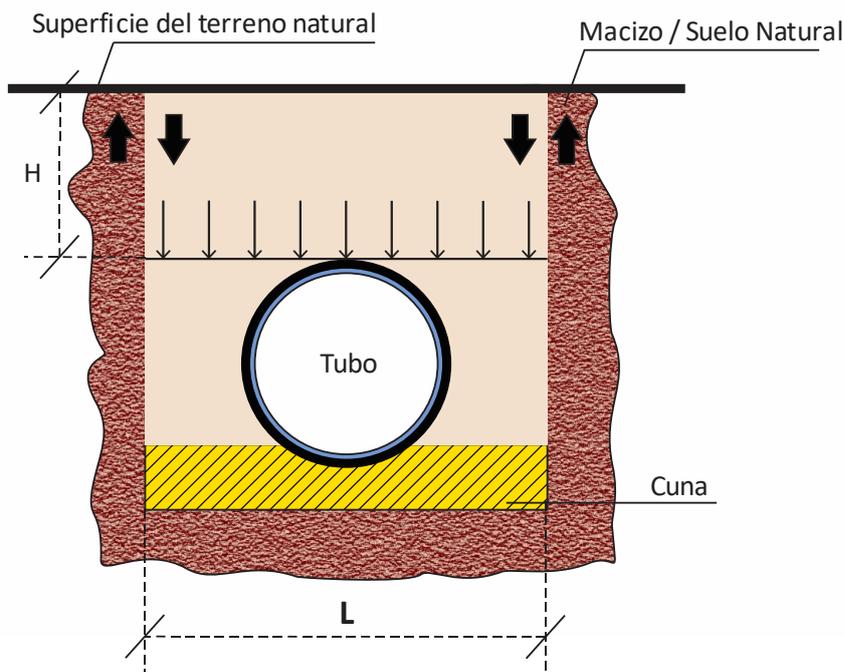


Figura 14 - Carga de tierra actuante

3.1.5.2. Coeficiente de corrección de carga del suelo - SC

El coeficiente de corrección de carga del suelo, para zanjas con paredes verticales o aproximadamente verticales, se calcula según la siguiente fórmula:

$$SC = (1 - e^{-2 \cdot K_1 \cdot \text{tg}(\delta) \cdot H/L}) / (2 \cdot K_1 \cdot \text{tg}(\delta) \cdot H/L)$$

SC = coeficiente de corrección de carga suelo.

δ = ángulo de fricción efectivo entre el suelo relleno y la pared de la zanja (radianes).

K_1 = relación entre esfuerzos horizontales y Líneas verticales existentes en el material relleno de zanjas.

H = Profundidad de la zanja hasta el generador parte superior del tubo (m)

L = ancho de zanja (m).

Nota: Quando $\delta = 0$, considerar SC = 1.

Las condiciones en las que se realiza el envoltorio, concretamente el grado de compactación y las propiedades del material de envoltorio, son de fundamental importancia para el buen comportamiento de la tubería en relación a las cargas a las que será sometida.

Los parámetros “ δ ” y “ K_1 ”, dependiendo de la calidad de ejecución de la envoltura, se indican en la Tabla 7.

Condiciones de cobertura		K_1	δ
C1	Envoltura y relleno final compactado en capas contra la pared de la zanja en suelo natural, con control de densidad Proctor (Dp).	0,5	$\delta = \Psi$
C2	Envoltura y relleno final compactado en capas contra la pared de la zanja en suelo natural, sin comprobar la densidad Proctor (Dp).	0,5	$\delta = 2/3\Psi$
C3	Envoltura y terraplén final en zanjas apuntaladas verticalmente sin compactación.	0,5	$\delta = 1/3\Psi$
C4	Zanjas construidas verticalmente, sostenidas por tablas de madera u otro tipo de equipo de contención.	0,5	$\delta = 0$

Nota: Ψ - ángulo de fricción interna del material de envoltura

Tabla 7 – Parámetros “ δ ” e “ K_1 ” para condiciones de recubrimiento

Algunos tipos de suelos utilizables en la envoltura y sus respectivos valores de peso específico y ángulo de fricción interna se indican en la Tabla 8.

Tipos de suelo	γ peso específico (KN/m ³)	Ψ Ángulo de fricción interna (°)
SUELOS NO COHESIVOS		
Grava	21	35,0
Grava + arena	21	35,0

Arena densa	20	35,0
Arena semidensa	20	32,5
Arena suelta	19	30,0
SUELOS COHESIVOS		
Arcilla arenosa rígida	22	22,5
Arcilla arenosa blanda	21	22,5
Arcilla semisólida	21	15,0
Arcilla rígida	20	15,0

Tabela 8 - Tipos de suelos utilizables en envolventes – Peso específico y ángulo de fricción

Los tipos de suelo más adecuados para su uso en carcasas de tuberías no rígidas son arena, piedra triturada de grano pequeño o una mezcla de grava/grava/arena entre suelos no cohesivos. Se debe tener especial cuidado al utilizar suelos no cohesivos en tuberías con baja altura de recubrimiento, sin capa impermeable de acabado de piso en la superficie y riesgo de elevación del nivel freático o entrada/infiltración de agua de lluvia u otras aguas a través de la superficie en la zanja, lo que podría provocar empuje. Los suelos cohesivos, principalmente arcillosos, son aplicables en zanjas donde no existe riesgo de presencia de agua, lo que puede provocar la pérdida de plasticidad del material de envoltura/cobertura, con la consecuente pérdida de la capacidad de soporte lateral del suelo.

3.1.5.3. Módulo de Rigidez del Material de Envolvente y Relleno Final - E_R

La medida de la calidad de compactación del suelo está dada por la “Densidad Proctor” (D_p), que representa la relación entre la densidad del material de envoltura de la tubería y la del suelo natural.

Se recomienda utilizar un grado de compactación Proctor de al menos el 95%, tanto para suelos cohesivos como no cohesivos.

Otra composición de grupos de suelos, clasificados según DIN 18196, se presenta en la Tabla 9.

Grupo	Tipo de suelo
1	Suelos no cohesivos
2	Suelos poco cohesivos
3	Suelos cohesivos con mezclas (arena y grava cohesivas)
4	Suelos cohesivos

Tabela 9 - Composición de los grupos de suelos

Los módulos de rigidez del material de relleno (E_R), en función de su grado de compactación (Densidad Proctor - D_p), para los diferentes grupos de suelos clasificados según la Tabla 9, se indican en la Tabla 10.

Grupos de suelos	E_R - Módulo de rigidez de la envolvente y material de relleno final (KN/m ² ou KPa)					
	Dp = 85%	Dp = 90%	Dp = 92%	Dp = 95%	Dp = 97%	Dp = 100%
1	2.000	6.000	9.000	16.000	23.000	40.000
2	1.200	3.000	4.000	8.000	11.000	20.000
3	800	2.000	3.000	5.000	8.000	13.000
4	600	1.500	2.000	4.000	6.000	10.000

Tabela 10 - Módulo de rigidez de la envolvente y material de relleno final, en función de la densidad de Proctor

3.1.5.4. Carga de tráfico (carga dinámica) - P_t

La carga de tráfico producida en la superficie del terreno se transmite bajo tierra. El aumento de la tensión vertical, relacionado con la carga del tráfico, que actúa en el plano tangencial a la generatriz superior del tubo se puede determinar mediante la siguiente ecuación.

Cuanto menos profunda sea la zanja, mayor será la carga del tráfico. La ecuación no es aplicable para valores de $H < 0,5$ m.

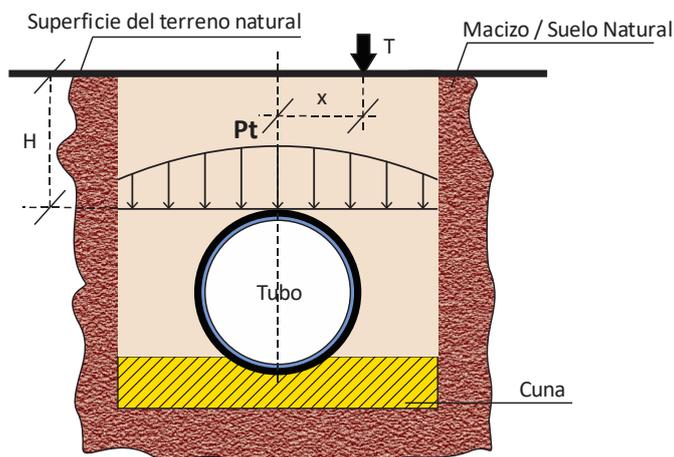


Figura 15 - Carga de tráfico

$$P_t = (3.T) / \{2 \cdot \pi \cdot H^2 \cdot [1 + (x^2/H^2)]^{5/2}\}$$

P_t = carga de tráfico [kN/m²].
 T = carga de tráfico esperada [kN].
 H = Profundidad de la zanja hasta el generador parte superior del tubo [m].
 x = distancia relativa al eje del tubo, donde el la carga de tráfico afectará [m].

Los valores de carga de tráfico esperada (T) se pueden considerar según la Tabla11.

Tipo de tráfico	Carga de tráfico total esperada (kN)	Carga de tráfico esperó a Roda (kN)
Pesado	600	100
Promedio	300	50
Liviano	120	40 en las ruedas traseras 20 en las ruedas delanteras

Tabela 11 - Carga de tráfico esperada (T)

3.1.5.5. Factores de autocompactación y distribución de carga en la cuna

El factor de autocompactación (C) se utiliza para corregir la deflexión vertical del tubo hasta que el suelo alcance la condición de estabilización de acomodación en el tiempo. Se debe adoptar el valor de 1,5 para compactaciones moderadas y el valor de 2,0 para compactaciones moderadas con baja altura de cobertura.

La forma en que se fabrica la cuna influye directamente en la deflexión vertical que sufre el tubo después de la instalación. El factor de distribución de carga en la cuna (b1) es un coeficiente de apoyo del tubo, aplicable al cálculo de la deflexión vertical (ver ecuación en el ítem 3.1.5.) y está relacionado con el ángulo “a” formado por el alojamiento del tubo en la cuna de la capa como se muestra en la Figura 16.

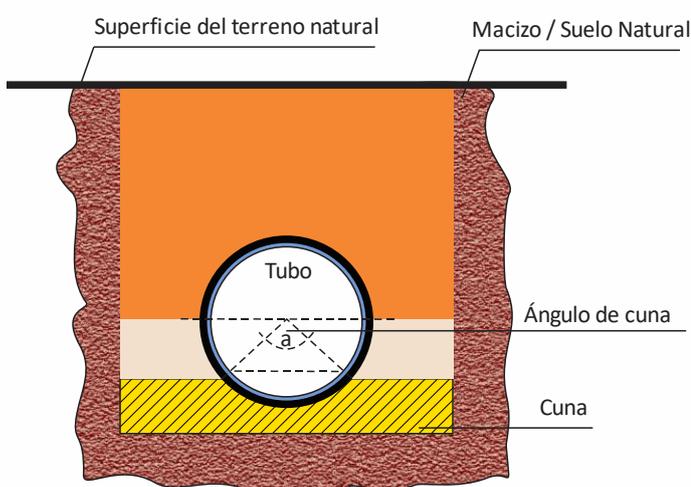


Figura 16 – Ángulo de cuna

Ángulo de cuna (a)	Factor de distribución de carga (b1)
0°	0,110
30°	0,108
45°	0,105
60°	0,102
90°	0,096
120°	0,090
180°	0,083

Tabela 12 – Ángulo de cuna

3.2 Dimensionamiento Hidráulico

3.2.1 Conductos Libres

Los tubos y canales funcionan como conductos libres cuando reina la presión atmosférica sobre la superficie del líquido que fluye. Los canales se consideran conductos libres abiertos, y las tuberías para uso en drenaje o efluentes cloacales/industriales, en esta condición de presión, se consideran conductos libres cerrados.

En un sistema de tuberías para transportar fluidos por gravedad, el flujo de líquido generalmente no es uniforme (variado). Sin embargo, se postula la hipótesis de un flujo uniforme con el fin de simplificar el análisis hidráulico del sistema.

Para efectos de cálculos hidráulicos se deben considerar las variables de la Figura 17.

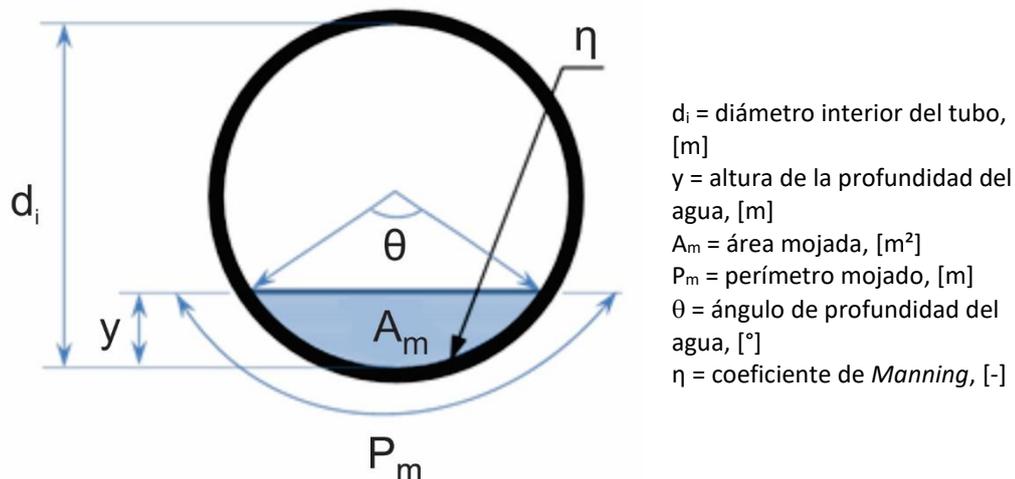


Figura 17 - Variables para el dimensionamiento hidráulico

Los principales parámetros de interés para dimensionar conductos libres cerrados son la velocidad del flujo en su interior y el caudal (volumen de líquido circulado por unidad de tiempo). Estos parámetros se calculan, para cada diámetro interno del tubo, en función de la altura del calado admitido en su interior, el coeficiente de rugosidad del tubo, el diámetro interno y la pendiente establecida para el tubo en su dirección longitudinal, según las ecuaciones presentadas. más adelante en este manual.

La máxima velocidad de flujo, dentro de un conducto libre cerrado, se produce cuando la altura del calado del agua es del orden del 81,3% del diámetro interno ($y/d_i = 0,813$). El caudal máximo se produce cuando la altura del calado es de alrededor del 93,8% del diámetro interno ($y/d_i = 0,938$).

La selección del diámetro de la tubería generalmente se realiza en función del caudal deseado, teniendo en cuenta las limitaciones de diseño en cuanto a la pendiente.

Cuando se selecciona una tubería de acuerdo con este criterio, es importante asegurar que se produzca una velocidad mínima de flujo dentro de la tubería, para evitar la deposición de materia sólida en la parte interna inferior de la tubería, lo que podría causar retrasos o compromisos. Transporte de flujo normal.

Es importante considerar, además del caudal mínimo para cualquier tramo de la red, la velocidad de caudal mínima y máxima permitida para la red.

El valor de caudal mínimo a considerar en el proyecto, según lo establecido en la Norma ABNT NBR 9690, es de 1,5 l/s. Los valores considerados en la práctica para la velocidad mínima del flujo son generalmente de 0,60 m/s para aguas residuales sanitarias y de 0,75 m/s para aguas pluviales. El valor máximo de velocidad de flujo en proyectos de redes de captación de aguas residuales y pluviales es del orden de 5m/s para tuberías de hormigón y de 8m/s para tuberías metálicas con paredes onduladas. Para las tuberías de PEAD, que son más resistentes a la abrasión (ver figura 3), la velocidad habitual es de hasta 8m/s, pudiendo considerarse

velocidades superiores a criterio del proyectista, en cuyo caso cabe advertir que aguas arriba (y /o en la mitad del recorrido) se deberá prever una caja de sedimentación/dispositivo de retención de sólidos, así como detallar y construir una estructura adecuada en la salida para que no haya erosión en el cuerpo receptor.

En algunos proyectos, el concepto de considerar la velocidad mínima ha sido sustituido por el criterio de calcular el esfuerzo de tracción, o arrastre, que puede definirse como la componente tangencial del peso del líquido sobre la porción de área correspondiente al radio hidráulico, que actúa sobre el material allí sedimentado favoreciendo su arrastre. La fórmula para calcular la tensión de tracción se presenta en el punto 3.2.1.1.7. de este Manual.

Para tuberías de plástico con paredes internas lisas, el valor mínimo de tensión de tracción generalmente utilizado es de 0,60 Pa en redes de alcantarillado y de 1,00 Pa en redes de aguas pluviales.

3.2.1.1. Dimensionamiento Hidráulico de Conductos Libres

3.2.1.1.1 Ángulo de la hoja de agua

El ángulo de profundidad del agua (θ) se calcula para un tubo con diámetro interno d_i y profundidad de agua y , aplicando la fórmula:

$$\theta = 2 \cdot \arccos[1 - (2 \cdot y/d_i)]$$

θ = ángulo de profundidad del agua (rad)
 y = altura de la profundidad del agua (m)
 d_i = diámetro interior del tubo (m)

3.2.1.1.2 Área mojada (A_m)

Una vez obtenido el ángulo de profundidad del agua, se calcula el área mojada (A_m) aplicando la fórmula:

$$A_m = (\theta - \text{sen}\theta) \cdot d_i^2/8$$

A_m = área mojada (m^2)
 θ = ángulo de profundidad del agua (rad)
 d_i = diámetro interior del tubo (m)

3.2.1.1.3. Radio hidráulico (R_h)

También en función del ángulo de la profundidad del agua, el radio hidráulico (R_h) se calcula aplicando la fórmula:

$$R_h = (1 - \text{sen}\theta / \theta) \cdot d_i/4$$

R_h = radio hidráulico (m)
 θ = ángulo de profundidad del agua (rad)
 d_i = diámetro interior del tubo (m)

3.2.1.1.4. Pendiente (i)

La pendiente de la instalación deberá seguir la topografía del terreno o ser definida por el proyectista de la red de tuberías. La minimización de pendientes adoptada reduce la profundidad de las zanjas y los costos de excavación.

3.2.1.1.5. Velocidad de flujo (V)

La ecuación más utilizada para calcular la velocidad del flujo en conductos libres es la fórmula de Manning.

$$V = (1/\eta) \cdot R_h^{2/3} \cdot i^{1/2}$$

V = velocidad de flujo (m/s)
 R_h = radio hidráulico (m)
 i = pendiente de la tubería (m/m)
 η = coeficiente de Manning (-)

Uno de los parámetros más importantes de esta ecuación es el coeficiente de Manning (η). Cuanto menor sea su valor, mayor será la velocidad del flujo dentro del tubo, para una pendiente determinada.

El coeficiente de Manning varía según el tipo de tubo y el material utilizado en su fabricación. A efectos prácticos y de cálculo, los tubos de PE de paredes lisas tienen un valor de η=0,010.

3.2.1.1.6. Tasa de flujo (Q)

El caudal, en un tubo que funciona como conducto libre, para líquidos no viscosos, se calcula multiplicando el área mojada por la velocidad del flujo, según la fórmula.

$$Q = A_m \cdot (1/\eta) \cdot R_h^{2/3} \cdot i^{1/2}$$

Q = tasa de flujo (m³/s)
 A_m = área mojada (m²)
 R_h = radio hidráulico (m)
 i = pendiente de la tubería (m/m)
 η = coeficiente de Manning (-)

3.2.1.1.7. Esfuerzo trativo

Esfuerzo Trativo (σ_t) se calcula mediante la fórmula:

$$\sigma_t = \gamma_l \cdot R_h \cdot i$$

σ_t = esfuerzo trativo (Pa)
 γ_l = peso específico del líquido (N/m³)
 R_h = radio hidráulico (m)
 i = pendiente de la tubería (m/m)

3.2.1.1.8. Consideraciones generales para el dimensionamiento hidráulico

Al dimensionar tuberías para redes en las que se definan los caudales de diseño inicial y final, se deben dimensionar para el caudal final, debiendo comprobarse los valores de velocidades máximas y mínimas del flujo así como los esfuerzos de tracción si son dentro de los límites

establecidos tanto en la condición final como en la condición de flujo inicial definida para la red. Se recomienda que, siempre que sea posible, se verifique el flujo final del tubo con una profundidad de agua igual al 81,3% de su diámetro interno, condición que permite evaluar la velocidad máxima del flujo dentro y fuera del sistema.

3.2.1.1.9. Tabla de tasa de flujo y velocidad

VELOCIDADE DE FLUXO E VAZÃO MÁXIMA TUBO KANAWEHOLITE PARA DIFERENTES DECLIVIDADES

DN mm	y/d	Área Molhada m ²	Declividade (m/m) Raio Hidráulico m	0,10%		0,20%		0,30%		0,40%		0,50%	
				V m/s	Q l/s								
800	0,938	0,4897	0,232	1,19	584,77	1,69	826,99	2,07	1.012,85	2,39	1.169,54	2,67	1.307,58
1200		1,1019	0,348	1,56	1.724,09	2,21	2.438,23	2,71	2.986,21	3,13	3.448,18	3,50	3.855,18
1500		1,7217	0,435	1,82	3.125,98	2,57	4.420,81	3,14	5.414,36	3,63	6.251,97	4,06	6.989,91
1800		2,4793	0,522	2,05	5.083,20	2,90	7.188,72	3,55	8.804,35	4,10	10.166,39	4,58	11.366,37
2000		3,0608	0,580	2,20	6.732,20	3,11	9.520,76	3,81	11.660,51	4,40	13.464,39	4,92	15.053,65
2500		4,7825	0,725	2,55	12.206,28	3,61	17.262,29	4,42	21.141,90	5,10	24.412,57	5,71	27.294,08
3000		6,8868	0,870	2,88	19.848,76	4,08	28.070,39	4,99	34.379,07	5,76	39.697,53	6,44	44.383,18

Velocidade de Fluxo e Vazão Máxima para diferentes declividades (parte 1/2).

DN mm	y/d	Área Molhada m ²	Declividade (m/m) Raio Hidráulico m	1,00%		2,00%		3,00%		4,00%		5,00%	
				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
800	0,938	0,4897	0,232	3,78	1.849,20	5,34	2.615,16	6,54	3.202,90	7,55	3.698,40	8,44	4.134,93
1200		1,1019	0,348	4,95	5.452,05	7,00	7.710,37	8,57	9.443,23	9,90	10.904,11	11,06	12.191,16
1500		1,7217	0,435	5,74	9.885,23	8,12	13.979,83	9,94	17.121,72	11,48	19.770,46	12,84	22.104,05
1800		2,4793	0,522	6,48	16.074,47	9,17	22.732,74	11,23	27.841,81	12,97	32.148,95	14,50	35.943,62
2000		3,0608	0,580	6,96	21.289,07	9,84	30.107,30	12,05	36.873,76	13,91	42.578,15	15,55	47.603,81
2500		4,7825	0,725	8,07	38.599,66	11,41	54.588,16	13,98	66.856,57	16,14	77.199,31	18,05	86.311,46
3000		6,8868	0,870	9,11	62.767,30	12,89	88.766,36	15,79	108.716,15	18,23	125.534,60	20,38	140.351,95

Velocidade de Fluxo e Vazão Máxima para diferentes declividades (parte 2/2).

Tabela 12 e 13 - Velocidad de flujo y caudal máximo según DN y pendiente de la red

Advertencia: El flujo máximo ocurre cuando y/di = 0,938 y la velocidad máxima ocurre cuando y/di = 0,813.

4. Instalación

Considerando que las tuberías no rígidas para instalaciones enterradas se diseñan teniendo en cuenta el lecho (suelo nativo o vertedero compactado) y la envolvente, la tubería y el material de tendido forman en conjunto un sistema tubería-suelo adecuado para dar soporte a la instalación. Por lo que es importante que en el proceso constructivo de la red de tuberías enterradas, definido en la etapa de diseño del sistema tubular, exista un proyecto de cimentación o geotécnico.

Las recomendaciones de cálculo estructural de este manual se basan en la instalación de tuberías no rígidas en zanjas con paredes verticales abiertas en terreno natural estable. Para su aplicación en rellenos sanitarios, la instalación de la tubería debe ocurrir después de la etapa de compactación del suelo con movimiento de tierras y posterior apertura de la zanja, como se comentó anteriormente.

Debido a la dilatación térmica característica de la tubería de PEAD, se recomienda instalarla a una temperatura ambiente no superior a los 30°C, sin exposición directa de la tubería al sol.

4.1. Consideraciones generales sobre el suelo y las propiedades geotécnicas

Es muy importante el conocimiento de las propiedades geotécnicas del suelo nativo, en el lecho, en la envolvente y en las zonas de relleno final, en relación con la ubicación y condiciones de excavación, así como la posibilidad de utilizar suelo local en la envolvente de la tubería. El análisis del suelo nativo, cuando se realiza en la etapa de diseño, también permite identificar cambios estacionales en el suelo, como la presencia de agua.

4.1.1. Apertura de zanjas y relleno de suelo

El material nativo o relleno compactado donde se abrirá la zanja debe confinar adecuadamente la envoltura de la tubería y las capas de cobertura (cuna, zona de reverso, relleno inicial y relleno final), a fin de brindarle el soporte necesario para una instalación que presente las condiciones adecuadas. condiciones de comportamiento a lo largo de su vida útil.

En los casos en que los suelos nativos no cuenten con materiales adecuados para crear la cuna y la envoltura de tuberías, existe la necesidad de importar material.

La caracterización del suelo comprende básicamente el conocimiento de tres factores:

- a) **Aspectos de su estructura trifásica**, es decir, las proporciones de partículas sólidas, agua y aire presentes en los poros. En su estado más general, el suelo es un elemento compuesto por partículas sólidas que al organizarse forman una matriz porosa cuyos huecos pueden llenarse con agua y/o aire. Cuando todos los huecos están llenos de agua, el suelo se llama "saturado"; cuando están llenos sólo de aire se llama "suelo seco". En la condición intermedia, el suelo se llama "insaturado".
- b) **Los aspectos de la curva granulométrica**, que se obtiene separando el suelo en varias fracciones, en función del tamaño de las partículas. La clasificación de los suelos según el tamaño de las partículas se divide en grava (grava y grava/grava), arena, limo y arcilla, tomando como referencia la norma ABNT NBR 6502.
Las clases Pedregulho y Arena forman suelos gruesos, también llamados suelos no cohesivos. Los suelos limosos y arcillosos tienen partículas de muy pequeño diámetro, invisibles a simple vista y también se denominan suelos cohesivos.
- c) **Índices de consistencia** que establecen límites de consistencia, que son niveles de humedad a los que el material del suelo pasa de un estado físico a otro. En el caso de las arcillas, las partículas, por su forma geométrica y constitución química, tienen una gran afección por el agua, lo que influye mucho en la consistencia del suelo. Los límites de consistencia, o límites de Atterberg, varían desde el sólido al líquido, pasando por el estado de plasticidad, dependiendo del contenido de humedad. La determinación del límite de liquidez está normalizada por la ABNT NBR 6459 y el límite de plasticidad por la ABNT NBR 7180.

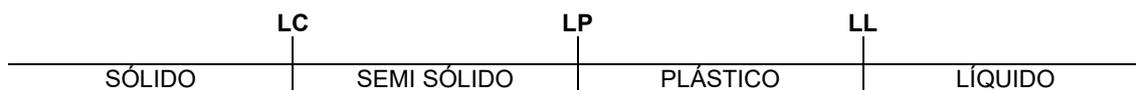


Figura 18 - Límites de consistencia del suelo o de Atterberg.

Al cavar zanjas, el suelo debe tener un cierto nivel de material fino y con buena plasticidad para eliminar la necesidad de apuntalamiento. Los materiales libres de finos y suelos arcillosos de menor consistencia casi siempre requieren algún tipo de pared de contención.

Los estudios geotécnicos destinados a la ejecución de estructuras enterradas implican normalmente la investigación del subsuelo con el fin de permitir un conocimiento adecuado de la composición del terreno, así como del nivel del nivel freático. Hay varias formas de investigar el subsuelo; las más comunes para proyectos de tuberías enterradas son los estudios con barrena y los estudios de reconocimiento simples.

El estudio de reconocimiento simple (SPT - Standard Penetration Test) es una actividad que, además de permitir determinar la estratigrafía del terreno, junto con la posición del nivel del agua, permite obtener el índice de resistencia a la penetración del suelo. La resistencia del suelo o recuento de golpes (prueba SPT) es un indicador de referencia para evaluar la firmeza y consistencia del suelo nativo.

4.1.2. Suelos para uso en la envoltura de tuberías

Los suelos de terraplén que son esencialmente granulares proporcionan una rigidez relativamente alta con un esfuerzo de compactación mínimo; Los suelos granulares compactados tienen poca tendencia a desplazarse o consolidarse con el tiempo. Los suelos no cohesivos son menos sensibles a la humedad, tanto en el momento de la colocación como durante el uso prolongado.

Si las partículas son principalmente arcilla, los suelos son más sensibles a la humedad, lo que reduce la rigidez y hace que el suelo se mueva con el tiempo. En este caso es necesario un mayor esfuerzo de compactación para conseguir la densidad requerida. Considerando suelos con un límite máximo de liquidez (LL) del 40%, se deben eliminar de la aplicación para envolver suelos altamente sensibles a la humedad y plásticos.

Los suelos granulares como grava, grava y arena son fáciles de utilizar como revestimientos y rellenos y son muy fiables. Tienen baja sensibilidad a la humedad y el vertedero se puede compactar fácilmente mediante un compactador de placa vibratoria, en capas de 20 a 30 cm. En zanjas con presencia de agua donde se utilicen suelos combinados con grava, se deberá utilizar un geotextil con función filtrante/separadora para evitar la migración de partículas y posterior pérdida de soporte de la tubería.

Los suelos tipo arena limosa son aceptables como material de envoltura/relleno para la instalación de tuberías. En el caso de zanjas abiertas en suelo arenoso limoso, se puede reutilizar directamente como material de relleno en la zona de tuberías. Hay que tener precaución con estos suelos, ya que pueden ser sensibles a la humedad. Puede ser necesario controlar la humedad al compactar el suelo para lograr la densidad deseada con una energía de compactación razonable.

Los suelos de tipo arena/arcilla limosa y limo/arcillosa son materiales aceptables para envoltura/relleno; sin embargo, su rigidez relativamente baja dificulta su uso en instalaciones más profundas que pueden saturarse, impidiendo una compactación adecuada en lugares donde hay agua estancada. . Se debe tener especial cuidado al colocar y compactar el relleno debajo de la tubería.

Se puede utilizar tierra cohesiva en el área de la envoltura de la tubería con las siguientes precauciones:

- Se debe controlar el contenido de humedad durante la colocación y compactación. El suelo arcilloso no debe estar mojado durante la compactación de las capas al aplicarlo sobre la envoltura y/o relleno. El proceso de densificación debe aplicarse cuando se utilicen materiales como arena o grava en polvo;
- No debe utilizarse en instalaciones con cimientos inestables o con presencia de agua en la zanja;
- Se requerirá un esfuerzo adicional para colocar y compactar el relleno en la zona inversa;
- Se deben realizar pruebas de compactación periódicamente durante la instalación para garantizar que se haya logrado la compactación relativa adecuada;
- Se debe tener cuidado de no provocar un aumento en el diámetro vertical del tubo debido a un esfuerzo excesivo de compactación lateral.

4.1.3. Compactación de suelos para uso en envolturas y rellenos finales

En general, el grado mínimo de compresión especificado para las capas es el 94% de la energía Proctor normal.

En suelos con mayor fracción de finos, la compactación de la envoltura se debe realizar con tomas portátiles (manuales o mecánicas). En suelos granulares la compactación es más eficiente si se realiza mediante equipos con placa vibratoria.

4. 2. Procedimiento de instalación

4.2.1. Apertura y preparación de zanjas

Al instalar tuberías enterradas, las paredes de la zanja deben ser preferentemente verticales y su ancho puede ser determinado por el diámetro de la tubería KANAWEHOLITE a instalar, la calidad del suelo local, los materiales de relleno, los niveles de carga y compactación. La altura de la capa envolvente sobre la generatriz superior del tubo, Figura 27, se recomienda al menos 30 cm y, por encima de eso, la altura de la capa de relleno final no debe ser inferior a 30 cm hasta el nivel superficial del terreno natural, o el nivel superior de la capa de piso/recubrimiento asfáltico. En situaciones donde exista tránsito constante de vehículos y/o relleno sanitario por encima del nivel superior de la zanja, la altura de las capas de relleno podrá variar, calculándose en función del límite de deflexión vertical permitido en el proyecto para las tuberías, como se comenta en los ítems. 3.1.4 y 3.1.5.

4.2.2. Excavación de zanja

La excavación de la zanja deberá seguir las especificaciones constructivas de la obra. Si la excavación es mecanizada total o parcialmente, se deben definir previamente los tipos de equipos a utilizar en esta etapa teniendo en cuenta el tipo y volumen de material a excavar, la profundidad y ancho de la excavación, la necesidad de muro apuntalamiento, la forma en que se apoya la tubería, el espacio disponible entre la tubería instalada y las paredes de la zanja para realizar una adecuada compactación, el tipo de apuntalamiento y su remoción, entre otros factores.

El uso de retroexcavadoras o zanjadoras es muy ventajoso, excepto cuando rocas u otras interferencias impidan su uso.

Al iniciar la excavación de la zanja, los escombros resultantes de la rotura del pavimento deben retirarse del borde de la zanja, para evitar un mal uso en la etapa posterior de ejecución del enrollamiento de la tubería. Durante la excavación se deberá colocar material libre de piedras o escombros fuera de los límites de la zanja, a fin de evitar posibles derrumbes hacia la zanja.

4.2.3. Ancho de zanja

El ancho de la zanja debe calcularse para permitir los servicios de instalación de tuberías y compactación del suelo adyacente. El espacio entre la tubería y las paredes laterales de la zanja debe ser mayor que el ancho del equipo de compactación necesario (placas vibratorias, casquillos manuales o mecánicos).

El ancho de zanja sugerido para instalar tuberías KANAWEHOLITE, a menos que se especifique lo contrario en el proyecto, se indica a continuación:

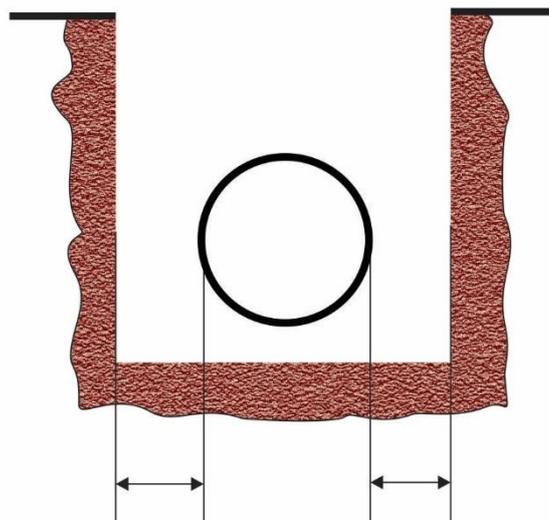


Figura 19 - Determinación del ancho de la zanja

Diámetro nominal del tubo	Espaciado lateral recomendado
Até DN1.800	DE/2
> DN1.800	900 mm

Tabela 14 – Distancia entre la tubería y el lado de la zanja

4.2.4. Profundidad de la zanja

La excavación de la zanja deberá exceder la profundidad de proyecto en al menos 15 cm, para permitir la colocación de la capa de lecho nivelador, sobre la cual se colocará la tubería.

El fondo de la zanja sobre la que se colocará la capa cuna debe ser uniforme, libre de piedras u otros objetos que puedan causar esfuerzos o daños a las tuberías a instalar, cumpliendo siempre con la pendiente prevista en el proyecto.

En algunas situaciones, puede ser necesario reemplazar parcialmente la tierra en el fondo de la zanja con un material de mejor calidad o incluso una base de concreto, y la capa de lecho siempre debe colocarse sobre esta base.

4.2.5. Alineación y pendiente

El control del talud de fondo y alineaciones en la zanja se debe realizar con cuidado, siguiendo lo establecido en proyecto, especialmente en instalaciones que funcionen por gravedad.

4.2.6. Zanjas con apuntalamiento

Las zanjas que requieren apuntalamiento requieren atención especial y también deben ser supervisadas por el ingeniero responsable. Las tablas de apuntalamiento de metal o madera, dispuestas para evitar que el material contenido se escape hacia la zanja, se pueden reutilizar o retirar del sitio después de rellenar la zanja. En el caso de reutilizar los tablonces, se debe

asegurar que el vertedero no sufra daños durante su retirada, debiendo rellenarse los huecos que queden compactándolos adecuadamente.

4.2.7. Anclaje de tuberías - Instalación de tuberías bajo agua subterránea

Como ya se discutió en el punto 4.1.1, en su estado más general, el suelo es un elemento compuesto por partículas sólidas que, al organizarse, forman una matriz porosa cuyos huecos pueden llenarse con agua y/o aire. Cuando todos los huecos están llenos de agua, el suelo se llama "saturado"; cuando están llenos sólo de aire se llama "suelo seco". En la condición intermedia, el suelo se denomina "insaturado".

Las zanjas excavadas debajo del nivel del agua del suelo requieren operaciones para bajar el nivel freático para mantener la estabilidad de la excavación. Se debe utilizar un sistema adecuado con bombas de succión para bajar el nivel del agua. El nivel del agua debe mantenerse por debajo del nivel de excavación hasta que el material de relleno alcance una altura igual o mayor que el nivel freático original para que la zanja se mantenga estable. Durante el descenso del nivel del agua se deben adoptar medidas preventivas para evitar el transporte de finos y la creación de huecos en el suelo.

Las tuberías total o parcialmente sumergidas están sometidas a flotabilidad (fuerza de flotabilidad o FF) y en este caso se debe tener cuidado para evitar que la tubería se mueva o flote, con riesgo de rotura de la junta y comprometa la instalación. En tales situaciones se recomienda el uso de sacos de lastre, coberturas de grava o anclajes. Una tubería flota cuando la flotabilidad sobre ella es mayor que las fuerzas que la anclan (tirar/empujar hacia abajo).

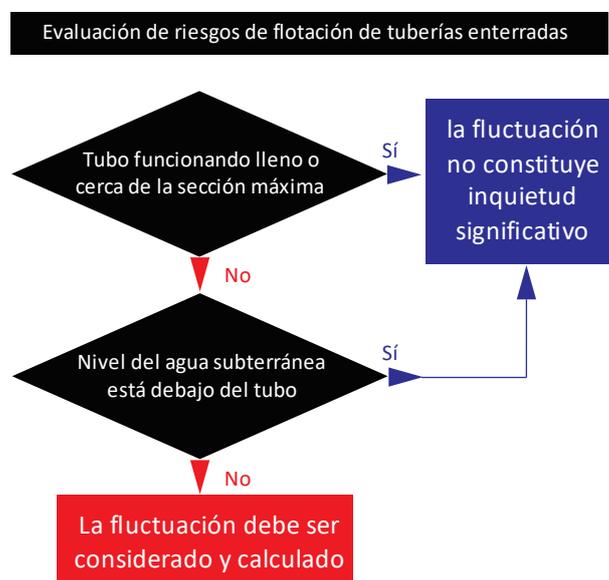


Figura 20 - Diagrama de flujo de evaluación de riesgos de flotación para tuberías enterradas

Las fuerzas de anclaje, a diferencia de la fluctuación del tubo, cuya suma puede denominarse Flotabilidad Negativa (EN), son las referidas al peso del suelo seco (PSE), peso del suelo saturado (PSS), peso del tubo (PT) y peso del fluido dentro del tubo (P_{FLU}).

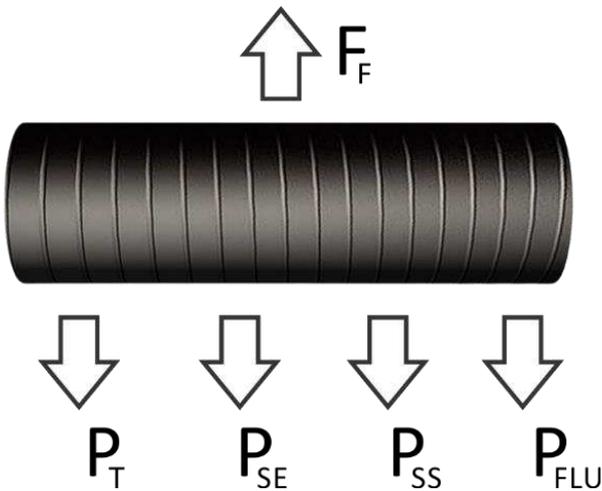


Figura 21 - Fuerzas que actúan sobre tuberías sumergidas o suelos saturados

Por motivos de seguridad en el cálculo, se recomienda considerar el tubo vacío, es decir, $P_{FLU} = 0$, al calcular las fuerzas de anclaje (E_N).

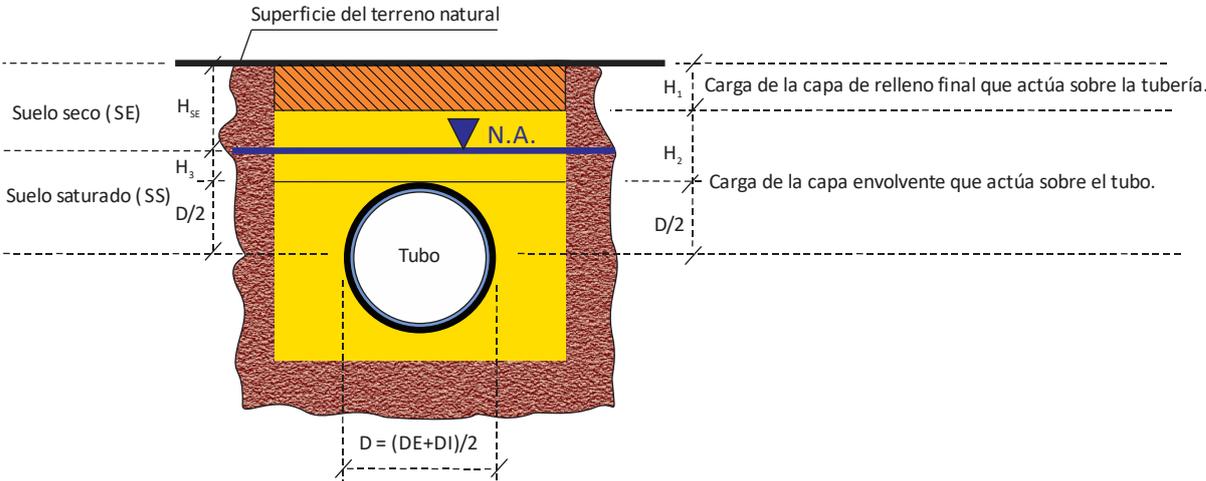


Figura 22 – Corte transversal ilustrativo de una acequia con presencia de agua

Para que la tubería no flote se debe mantener la siguiente condición: $F_F < E_N$.

DN	RESULTANTE (N/mL): Empuje – Peso del tubo	
	SN2	SN4
800	-	5.595
1200	-	12.518
1500	19.074	19.544
1800	27.540	-
2000	33.965	34.899
2500	53.120	54.406
3000	76.281	78.424

Nota: Aceleración de gravedad considerada = 10m/s^2 y densidad del agua subterránea = 1000kg/m^3

Tabela 15 - Fuerza de flotabilidad y peso del tubo KANAWEHOLITE

4.2.8. Anclaje de tuberías: instalación en una zanja sujeta a niveles freáticos altos

Es posible que sea necesario anclar tuberías o conexiones, evitando el movimiento, cuando hay un nivel freático aumentando en la zanja.

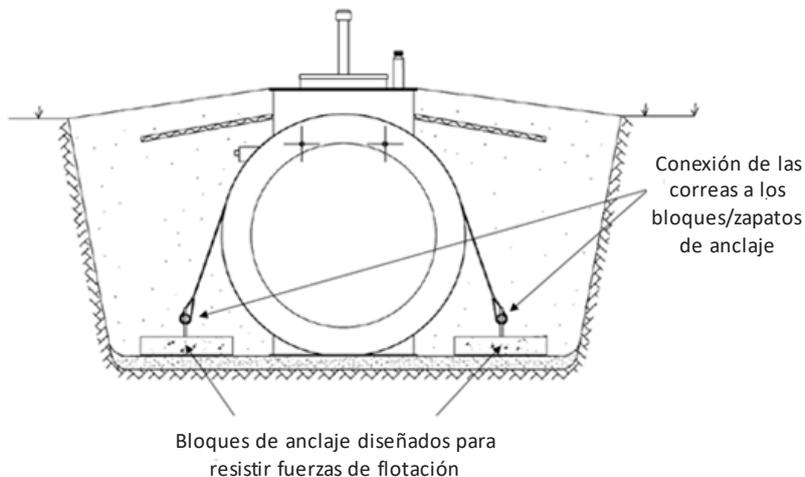


Figura 23 - Sección de zanja con KANAWEHOLITE anclado

Para evitar que la tubería flote debido a la flotabilidad del nivel freático muy por encima del fondo de la zanja, es necesario antes de la instalación dimensionar los soportes de bloqueo de la tubería, se debe calcular el peso/empuje, el número y el espacio entre las placas de anclaje para cada uno específico. estructura a instalar. Al iniciar la instalación, los bloques o zapatas de anclaje deben fijarse lateralmente a la tubería KANAWEHOLITE, en el fondo de la zanja.



Figura 24 - Fijar y soportar la base de la tubería en el fondo de la zanja, con bloques/zapatos y correas de anclaje.

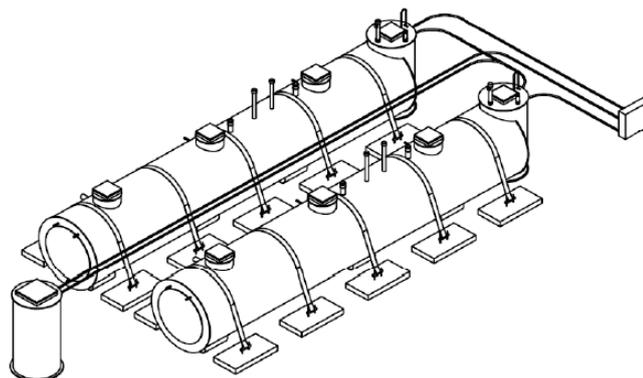


Figura 25 - Ilustración del espaciado de las placas de anclaje a lo largo de dos tanques de retención

Cada par de bloques/zapatas de anclaje debe estar conectado mediante una correa de anclaje a lo largo de toda la tubería, amarrando, tensando y manteniendo la estructura firmemente fijada a los bloques/zapatas de anclaje.

Si es necesario hormigonar accesorios, durante este proceso estarán sujetos a altos esfuerzos de flotabilidad/flotabilidad. Por lo tanto, para restringir el movimiento que podrían causar tales esfuerzos, el tubo/accesorio se puede atar a una base de anclaje como se ilustra en la figura 23. Las ataduras se pueden realizar con correa plana de poliéster, de ancho mínimo de 3 cm, lo suficientemente fuerte como para resistir las fuerzas de flotación, espaciadas como máximo cada 2 m. Las correas deben apretarse lo suficiente para evitar que floten, sin apretarlas excesivamente, lo que podría causar una deflexión adicional del tubo/accesorio.

El uso de bolsas de lastre es otra forma de evitar el movimiento de las tuberías durante los períodos de curado del concreto.

4.2.9. Envoltura de tubo: recomendaciones de construcción

El material utilizado en la envolvente deberá estar libre de fragmentos de roca. Se deben evitar suelos con alta plasticidad o alto contenido de materia orgánica. Asimismo, también se debe evitar en la envolvente el uso de materiales sujetos a erosión, que pueden ser transportados fácilmente por líquidos derivados de posibles fallos en las juntas, que podrían provocar la apertura de huecos y poner en riesgo la estructura.

Los procesos ejecutivos para envolver el tubo se describen a continuación, según la Figura 26.

4.2.9.1. Capa base

La primera capa de tendido en el fondo de la zanja, la cuna, es el soporte de la tubería y tiene la función de proporcionar una distribución uniforme de tensiones en las zonas inferiores del perímetro de la tubería. La cuna también tiene la función de regularizar la ubicación del soporte en el fondo del tubo, evitando superficies irregulares y materiales cortantes a lo largo de toda la instalación. El material recomendado para la capa de lecho es arena sin compactar, pudiendo utilizarse también material arcilloso, siempre y cuando no aparezca agua o agua subterránea en el fondo de la zanja.

En los casos en que el fondo de la zanja tenga suelo inestable, es necesario un procedimiento de estabilización para el tendido de las tuberías, como por ejemplo la construcción de una

cimentación para reducir posibles diferencias en el asentamiento del fondo de la zanja. Esta cimentación se puede realizar con polvo de piedra o grava, según la gravedad de las condiciones del suelo en el fondo de la zanja, pero sin tener un espesor inferior a 15 cm.

El soporte debe empotrarse en el foso debajo de cada ubicación de unión de tubería para mantener la alineación en la parte inferior de la tubería. El espesor de la cuna debe ser de 15 cm para su apoyo sobre suelo o roca. Lo ideal es que el pesebre tenga una compresibilidad igual a la del relleno compactado de las capas de relleno en las zonas de relleno inverso e inicial, para que el sistema se deforme uniformemente durante el proceso constructivo. Una vez nivelada la cuna, se puede esponjar su zona central, hasta una profundidad de 5 cm, para colocar los tubos KANAWEHOLITE.

4.2.9.2. Capa de zona de relleno inicial y inversa

La zona inversa, al ser un lugar de difícil acceso, debe recibir especial atención durante el llenado y compactación. La disposición del material en la zona inversa de la tubería se debe realizar con pala y compactación con casquillo portátil (manual o mecánico). La compactación debe realizarse con cuidado para asegurar el completo contacto del material con la tubería, evitando así futuras deflexiones excesivas en la tubería.

En las zonas de relleno posterior e inicial hasta la generatriz superior de la tubería, se deben colocar y compactar capas uniformes simultáneamente en ambos lados de la tubería. En ningún caso se deberá realizar la compactación a diferentes cotas en los laterales de la tubería. Para el relleno lateral, la compactación generalmente progresa mejor cuando el relleno se compacta primero a lo largo de la pared de la zanja y luego hacia la tubería. El número de aplicaciones repetidas del equipo de compactación, a un ritmo de movimiento constante, aumentará la compactación relativa. Si se cambia el equipo, el número de pasadas para lograr la compactación relativa especificada puede verse afectado. Debido a sus características, los vibradores de placa más pesados y anchos se compactan más profundamente y en mayor medida que los más livianos y estrechos. Asimismo, los compactadores de impacto más pequeños y livianos tienen una profundidad efectiva menor que los más grandes y pesados.

4.2.9.3. Compactación de capas

Las profundidades de instalación máxima y mínima permitidas estarán determinadas por la selección del material y el nivel de compactación del relleno en la zona de la tubería. Cuanto más firme sea el suelo, más profunda se puede instalar la tubería, teniendo en cuenta una deflexión limitada en el diseño.

En el punto 4.1.2 se presenta un enfoque más detallado de los tipos de suelo y niveles de compactación.

Se recomienda precaución durante la actividad de compactación, ya que el equipo puede generar fuerzas dinámicas capaces de dañar o desalinear las tuberías durante la instalación. Nunca se deben realizar golpes directos a las tuberías, debiendo tenerse cuidado de que la forma o alineación de las tuberías no se vea modificada por una compactación excesiva.

Para ajustar el método de instalación de tuberías a una condición óptima con un determinado tipo de terraplén, se deben realizar algunas observaciones en la fase de instalación de los primeros tramos de tubería, correlacionando la compactación relativa resultante en función del

tipo de suelo, método de colocación y compactación del suelo en las áreas de zanja y áreas de llenado laterales de las tuberías, altura de las capas de relleno utilizadas, contenido de humedad y número de pasadas. Estas observaciones permiten adquirir una buena sensibilidad para definir los esfuerzos necesarios durante la instalación.

Verificar el aumento del diámetro vertical de la tubería constituye una referencia razonable para evaluar el esfuerzo de compactación utilizado durante la instalación cuando se debe colocar y compactar adecuadamente el relleno en el área de la zanja de la tubería. Niveles excesivos de compactación lateral pueden resultar en un aumento vertical no deseado del diámetro. Si se presenta esta situación, se deben revisar los niveles de compactación lateral antes de proceder con la instalación.

La compactación sobre la parte superior de la tubería debe garantizar que haya suficiente material para no impactar la tubería. Se debe considerar al menos 30 cm de cobertura por encima de la generatriz superior de la tubería cuando se utiliza un compactador de placa vibratoria operado manualmente.

4.3. Instalación de tuberías

Antes de comenzar a tender una tubería, se debe comprobar que las tuberías y los materiales a utilizar no presentan defectos. Los tubos deben limpiarse cuidadosamente después del transporte o cualquier manipulación. La tubería debe colocarse con cuidado, respetando pendientes y alineaciones.

4.3.1. Posicionamiento de tuberías en la zanja

Los tubos deberán acomodarse con ayuda de equipos mecánicos mediante correas de nailon fijadas al menos en tres puntos del tubo. También se pueden utilizar equipos mecánicos para facilitar las uniones.

Si se mueve equipo pesado de construcción alrededor de la zanja, se debe mantener una distancia mínima de 2 m del eje de lanzamiento de la tubería, para evitar daños durante la fase de instalación.

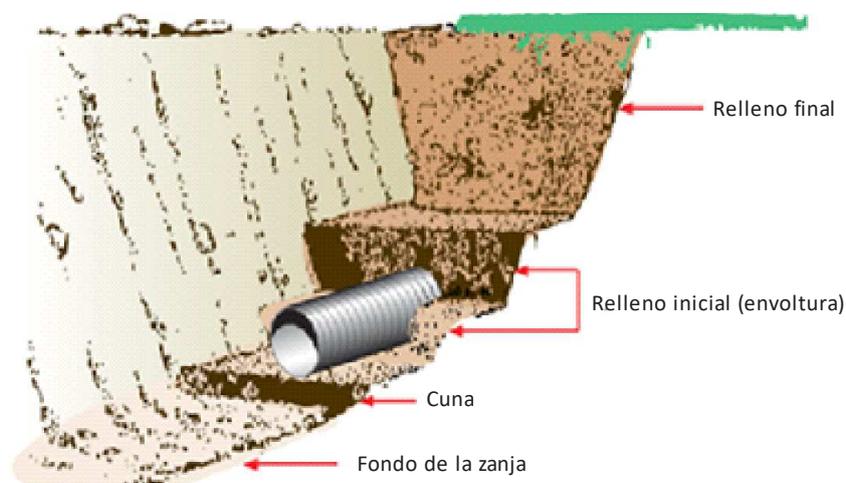


Figura 26 – Modelo de instalación

4.3.2. Tuberías paralelas en zanja

Cuando se instalan dos tuberías paralelas en la misma zanja, el espacio recomendado entre ellas se muestra en la Tabla 16:

Díámetro nominal del tubo	Separación recomendada E entre tubos
Até DN1.800	DE/2
> DN1.800	900 mm

Tabela 16 – Separación E, recomendada entre tubos paralelos.

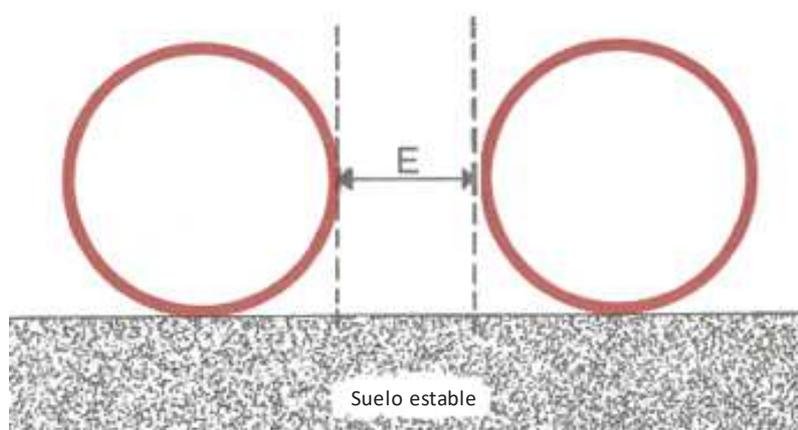


Figura 27 – Separación entre tubos paralelos.

Si es necesario instalar más de dos tuberías paralelas en la red, se recomienda cavar diferentes zanjas separadas 1,0 m, ocupando hasta 2 tuberías por zanja. Esta recomendación tiene como objetivo limitar el ancho de la zanja a la condición de interacción tubería-suelo para no comprometer los límites de deflexión vertical de las tuberías como se analiza en este manual. Si es necesario instalar tuberías de diferentes diámetros en una misma zanja, se recomienda colocar la parte inferior de las mismas al mismo nivel. Si esto no es posible, se deberá utilizar material de envoltura adecuado para rellenar el espacio desde el fondo de la zanja hasta el nivel de formación del soporte de la parte más baja del tubo más alto. Este material, así como el material entre tuberías, debe compactarse para asegurar las condiciones de interacción tubería-suelo.

4.3.3. Instalación de tuberías en terrenos con importante pendiente

El ángulo en el que los taludes pueden presentar inestabilidad depende de la calidad del suelo, ya que el riesgo de condiciones inestables para la instalación aumenta significativamente con el ángulo del talud. En general, las tuberías enterradas no deben instalarse en pendientes superiores a 15 grados, ni en zonas donde la rampa sea inestable.

Para instalaciones enterradas, las tuberías podrán instalarse en pendientes superiores a 15 grados en circunstancias especiales, siempre que:

- La estabilidad a largo plazo de la instalación se puede garantizar con un diseño geotécnico adecuado;
- Las tuberías se entierran utilizando una envoltura de material granular cohesivo, con alta resistencia al corte o la resistencia al corte puede asegurarse por otros medios. Las

capas envolventes y de relleno final deben compactarse con al menos un 94% de Proctor Normal;

- Las tuberías deben instalarse en alineación recta y con la menor separación posible entre tuberías;
- La instalación tiene un drenaje adecuado para evitar el colapso del material y garantizar la resistencia del suelo al corte..

La estabilidad individual de cada tubo debe ser monitoreada durante toda la fase de instalación, principalmente controlando la holgura en cada unión de los tubos.

4.3.4. Tubos salientes o con generador superior sobre el nivel del terreno natural

Como se discutió en el ítem **3.1.2.**, constituye una condición especial de instalación que no se considera tipo “en zanja”. Como ejemplo se pueden citar las alcantarillas de ferrocarriles y carreteras. Se deben tener en cuenta dos precauciones especiales a la hora de decidirse por este tipo de aplicación: las paredes laterales no siempre brindan la condición de estabilidad que presentan las paredes laterales de una zanja excavada en suelo natural, y puede ser necesario construir un gavión. Estructura de soporte u otra que presente un comportamiento equivalente a los muros de una zanja excavada. En la mayoría de los casos no hay cajas de terminación en los extremos del tramo de tubería. Pueden existir riesgos de crecimiento de vegetación y quemaduras en el sitio de instalación y deben considerarse al especificar los tipos de acabados finales en estos casos.

4.3.5. Deflexión angular

Se aceptan pequeñas deflexiones angulares ya que los tubos KANAWEHOLITE son longitudinalmente flexibles. Sin embargo, la práctica habitual en redes de alcantarillado y drenaje es instalar la tubería en línea recta.

4.4. Recomposición del pavimento

El recubrimiento de la tubería se debe realizar en capas de 30 cm de espesor, compactadas, formando un nivel mínimo de 80 cm por encima del generador superior de la tubería, con material libre de piedras u objetos cortantes y cortantes con bordes cortantes. El resto del recubrimiento se podrá realizar con material granular procedente del propio yacimiento excavado, compactado en capas de 30 cm de espesor. Si el material excavado no alcanza el grado de compactación requerido de 94% Proctor Normal, reemplazar el material de la capa final de relleno por otro de mejor calidad.

Se debe proporcionar un acabado en la salida de la tubería como una pared de ala y un dissipador de energía, protegiendo la red contra vandalismo, incendio o alta velocidad de fluido.

4.5. Llegada y salida en passage box o PV

Finalizar la llegada o salida del tubo en la Passage Box o PV se debe realizar introduciendo al menos 20 cm del tubo más allá de la pared de la caja. Se recomienda adoptar al menos el ancho

de dos perfiles de tubo en la pared lateral de la caja. La pared exterior de la caja debe reforzarse con una capa de hormigón de 20 cm.



Figura 28 – Llegada y salida en passage box o PV

5. Unión de tubos y accesorios

5.1. Juntas de soldadura por extrusión

Las uniones soldadas y fundidas deben ser realizadas por personal cualificado y de acuerdo con las instrucciones del fabricante.

La soldadura por extrusión se utiliza en tuberías cuando se aplican a redes de gravedad, donde se requiere estanqueidad y resistencia a la tracción de las uniones. La soldadura debe ser realizada desde el interior o el exterior de la tubería, o desde ambos lados, por operadores debidamente capacitados.



Figura 29 - Soldadura manual por extrusión



Figura 30- Soldadura por máquina de soldar interna



Figura 31 - Soldadura mediante soldadora externa

Para obtener más detalles, consulte el manual de instrucciones de la máquina de soldar que utilizará.

5.1.2. Proceso de soldadura por extrusión

Los extremos de los tubos deben prepararse previamente, cortando el tubo siguiendo el perfil en espiral helicoidal de la pared del tubo. Al ser este perfil hueco, su punta queda abierta, siendo necesario tapanla soldando una placa de PE, de manera que cubra completamente la abertura, como se muestra en la figura siguiente. Es importante que los “puntos de referencia de soldadura” de ambos tubos (a unir mediante soldadura) se corten exactamente en el mismo ángulo de 90°. De esta forma, será posible soldar perfectamente ambos extremos de los tubos, lo que permitirá una soldadura resistente.

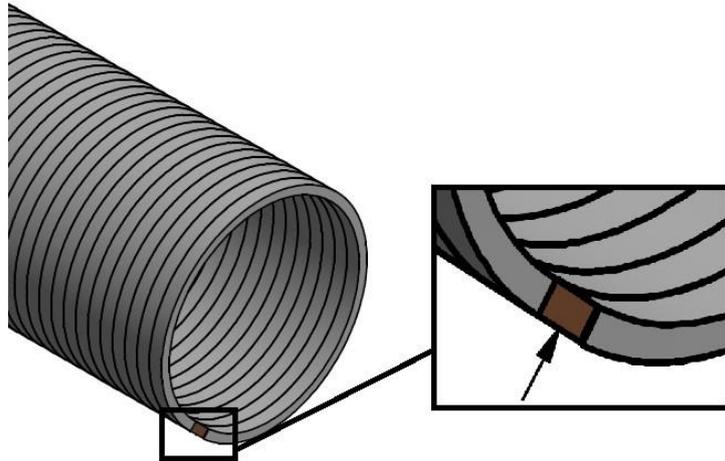


Figura 32 - Extremo del tubo KANAWEHOLITE amortiguado

Taponar el perfil con la lámina de PE actúa como barrera para evitar que el material de soldadura fundido se escape y fluya hacia el perfil de otro tubo, lo que podría provocar una pérdida de presión. Esto puede resultar en una soldadura débil en el "punto de referencia de soldadura".

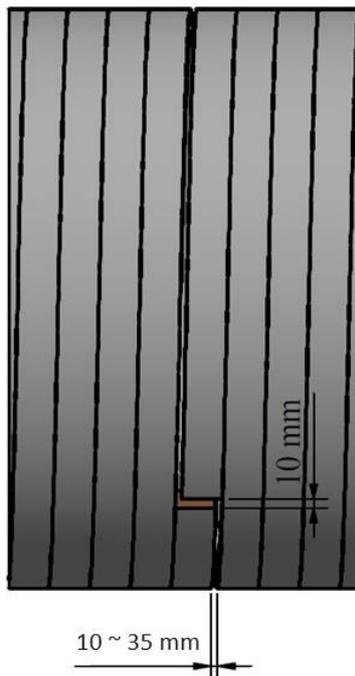


Figura 33 - Colocación de los extremos de los tubos KANAWEHOLITE antes de soldarlos

Cuando los extremos de las tuberías se unen mediante soldadura, hay un espacio uniforme de aproximadamente 10 ~ 35 mm entre los extremos de las tuberías. Esto incluye la abertura en el “punto de referencia de soldadura”.

Antes de soldar, coloque los tubos en un soporte tipo V, como se muestra en la Figura 34. Luego gire el “punto de referencia de soldadura” del primer tubo a la posición de las 4 en punto (135°), como se muestra en la Figura 33. Luego unir los tubos de forma que los “puntos de referencia de soldadura” bloqueen el conjunto. Es imprescindible que la distancia entre los extremos del tubo sea equidistante.

Los bordes deben limpiarse con un disolvente adecuado, como acetona, y exentos de suciedad o grasa.



Figura 34 - Asegure los tubos en un soporte tipo V

Para una alineación exacta antes de recibir la soldadura, la correa metálica se posiciona y fija sobre los extremos de las superficies exteriores de los tubos, como se muestra en la Figura 35. La soldadura debe iniciarse en la superficie interior del tubo.

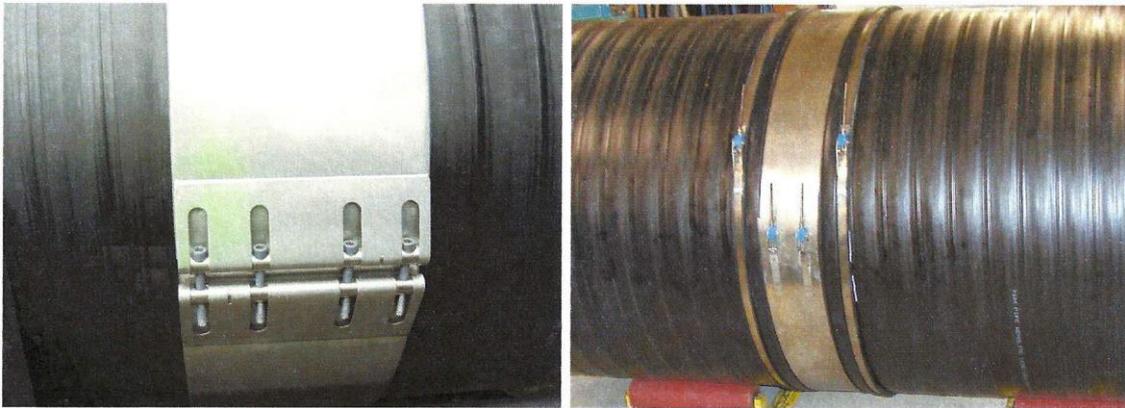


Figura 35 - Cubre los huecos con la correa de metal

La dirección de soldadura (como se muestra en las Figuras 36 y 37) comienza aproximadamente a las 8 en punto desde el extremo del tubo, que está opuesto al "punto de referencia de soldadura" (en el otro lado del tubo en la posición de las 4 horas), Como se mencionó previamente. Alternativamente, el proceso de soldadura se puede iniciar aproximadamente 200 mm a 300 mm antes del "punto de referencia de soldadura".

Vista E (lado izquierdo)



Figura 36 - Dirección de soldadura dentro del tubo en la posición de las 4 en punto

Vista D (lado derecho)



Figura 37 - Dirección de soldadura dentro del tubo en la posición de las 8 en punto

Una alineación cuidadosa de los tubos KANAWEHOLITE dará como resultado una fusión de soldadura perfectamente simétrica, distribuida y uniforme, como se demuestra en la fotografía de la sección del "punto de referencia de soldadura" de la junta en la Figura 38.



Figura 38 - Dirección de soldadura en la superficie interior del tubo

5.2. Juntas roscadas (no estancas)



Figura 39– Juntas roscadas

- Alinear los tubos vertical y horizontalmente.

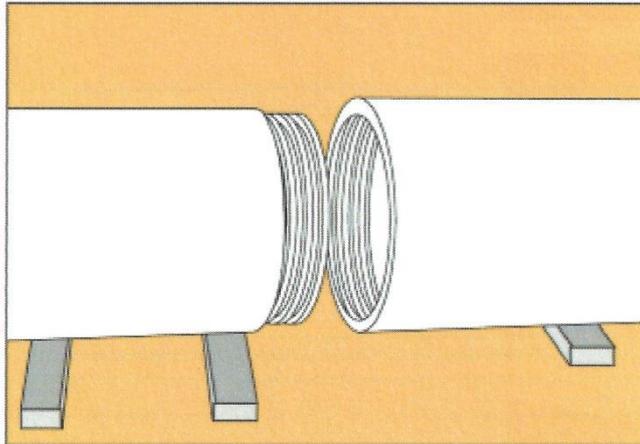


Figura 40

- Asegúrese de que las tuberías estén libres de suciedad, arena, humedad, polvo, etc.

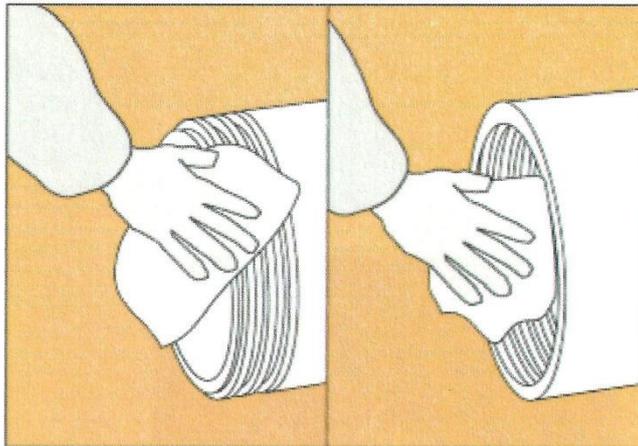


Figura 41

- Enrosque los lados "macho" y "hembra" de la tubería.

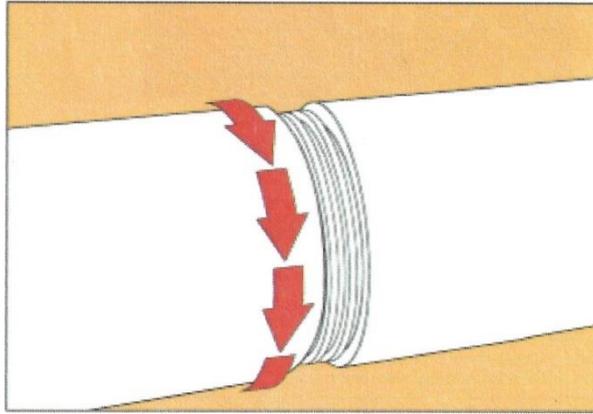


Figura 42

- Los tubos se pueden roscar mediante una palanca o una correa de soporte. Si es necesario, se puede utilizar una excavadora para ayudar a roscar las tuberías. Para facilitar la rotación, los tubos se pueden colocar sobre tablas o soportes de rodamiento.

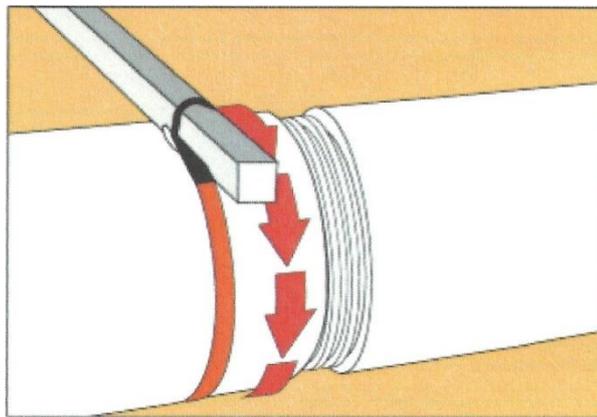


Figura 43

- El conjunto es resistente a la arena. Si se requiere que sea impermeable, la unión se puede soldar mediante soldadura por extrusión desde el interior o el exterior, o en ambos lados de la tubería. La junta también se puede impermeabilizar utilizando una junta reductora de calor o una junta con funda de goma.

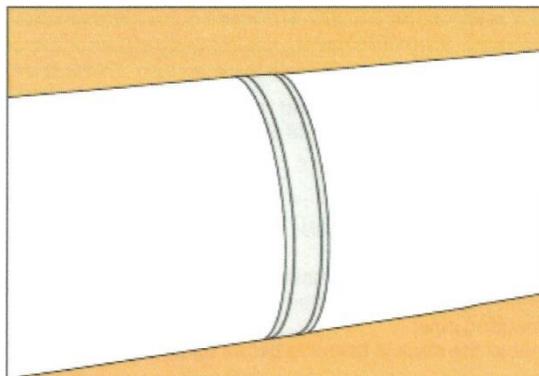


Figura 44



Figura 45 - Tanque de acumulación o retardo construido con tubos KANAWEHOLITE

La escorrentía de aguas pluviales, a través de un sistema de tuberías KANAWEHOLITE, se utiliza para almacenar el agua de lluvia acumulada y prevenir inundaciones. Las tuberías tienen sus uniones conectadas y selladas con correas mecánicas, como se muestra en la figura 45. Además, para aumentar la resistencia, las uniones también se pueden soldar internamente en su sitio, después de posicionar las tuberías.

5.3. Conexión a tuberías existentes

Para conectar tuberías KANAWEHOLITE a una tubería existente o a una tubería de pared estructurada de diferente diseño, se pueden llevar a cabo los mismos procedimientos que para una reparación, cuando se utiliza un accesorio adecuado.

En los casos en que se requiera una conexión tipo silla, se deben seguir las instrucciones del fabricante del accesorio.

5.4. Conexión a estructuras rígidas

Por "estructura" se entiende aquí, por ejemplo, una pared de edificio, cajas de inspección, herrajes, etc. La conexión de una tubería a una estructura KANAWEHOLITE dependerá tanto del tamaño de la tubería como de la estructura en el punto de conexión donde se realizarán las conexiones, para que el conjunto quede correctamente apretado y que no se produzcan daños en la tubería.

Si una tubería KANAWEHOLITE se conecta a una tubería con una estructura diferente, se debe usar una conexión flexible debajo de la tubería KANAWEHOLITE cerca de la tubería existente, o en un área que permita que la tubería de transición se mueva. También se puede considerar la construcción de un refuerzo.

Hay disponibles accesorios especiales para este fin. En tales casos se deben seguir las instrucciones del fabricante.

5.5. Reparar

Se encuentran disponibles acopladores deslizables o especialmente diseñados para realizar reparaciones. Se recomienda que se adopten los siguientes puntos generales, cuando corresponda:

- Se debe identificar y eliminar toda la extensión de la sección dañada;
- Los extremos de la tubería de reemplazo deben cortarse a escuadra y prepararse para encajar a presión;
- Los acoplamientos de reparación de sello flexible deben colocarse en posición sobre los extremos de tubería expuestos. Se debe colocar correctamente el tubo de repuesto sobre la cuna previamente preparada, y los acoples Flex-seal instalados en sus posiciones definitivas;
- Asegúrese de que no haya contacto entre el soporte y las conexiones y que las bocas de los tubos estén limpias;
- Coloque los acoplamientos durante la articulación de manera que queden centrados sobre las juntas;
- Verifique la línea y el nivel de las tuberías recién instaladas;
- Apretar todos los tornillos uniformemente, para que no queden espacios antes del apriete final (entre 20 y 25 Nm);
- Luego se debe reemplazar la cuna para que el nivel de compactación alcance valores cercanos a los inmediatamente adyacentes a la reparación.
- Antes de completar el relleno de la tubería, es necesario volver a apretar los tornillos. Lo ideal es que los acoplamientos Flex-seal se tensen la mañana después de realizar la reparación.

5.6. Pruebas

Cuando sea necesario se podrá realizar una inspección especializada de la instalación, comprobando si se realizó según lo requerido en los pliegos de condiciones. Como parte de la inspección final se podrán realizar pruebas de estanqueidad. Las pruebas de estanqueidad de tuberías KANAWEHOLITE se llevan a cabo con referencia a los requisitos y valores locales, pero normalmente se llevan a cabo de acuerdo con la siguiente norma alternativa:

- **EN 1610 – Construcción de ductos para drenaje de aguas residuales. Cláusula 13 - Pruebas.**

6. Manipulación y transporte

Los vehículos de reparto deberán contar permanentemente con una zona de carga (cubo) limpia, completamente plana y libre de objetos punzantes. Se debe tener cuidado para evitar que los tubos se resbalen o se doblen excesivamente. La carga debe estar bien protegida para el transporte, para evitar roces o abrasión. La carga sólo debe fijarse con correas adecuadas, y en ningún caso se deben utilizar cadenas o cuerdas.

En el caso de tuberías con conexiones integradas, las conexiones no deben estar en contacto entre sí.

Durante el transporte y manipulación de tuberías se deben evitar golpes o contacto con elementos que puedan comprometer su integridad, tales como: objetos cortantes o puntiagudos con bordes cortantes, piedras, etc.

La descarga debe realizarse con cuidado, no permitiendo que los tubos se arrojen directamente al suelo para evitar aplastarlos, romperlos, perforarlos o concentrar cargas en un solo punto, ver Figura 46.



Figura 46 - Cuidados durante el transporte y descarga

La descarga se puede realizar con la ayuda de equipos mediante correas de nailon, fijadas al menos en tres puntos del tubo.

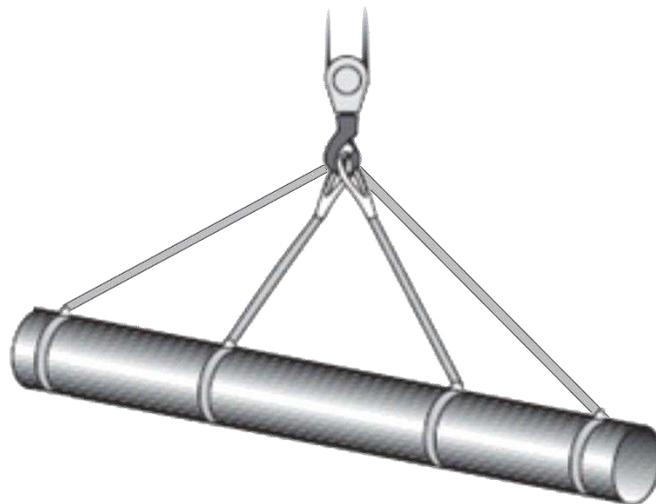


Figura 47 - Descarga y manipulación manual y con correas de nailon

No se recomienda el uso de cualquier otro material para la elevación, como cadenas o cables de acero, ya que pueden dañar las tuberías.

Todos los materiales deben ser inspeccionados cuidadosamente en el momento de la entrega y, en caso de existir algún defecto, deben ser notificados y comunicados inmediatamente. Las pilas de tuberías deben construirse sobre un terreno firme y plano para soportar el peso de las tuberías y del equipo de elevación de manera uniforme.

Por razones de seguridad y comodidad de manipulación, no se recomienda el apilamiento de los tubos KANAWEHOLITE.

7. Almacenamiento

El almacenamiento/almacenamiento de los tubos KANAWEHOLITE debe realizarse apoyado sobre piezas de madera, en lugares con suelo firme y plano, libre de cualquier elemento que pueda dañar el material, tales como: superficies rígidas con bordes cortantes, objetos cortantes o cortantes, piedras, escombros, etc

Evite golpear los extremos de los tubos para evitar cualquier tipo de daño. No arrastre los tubos.



Figura 48 - Alojamiento sobre vigas de madera

Los tubos no deben almacenarse directamente sobre el suelo, para evitar deformaciones. Se deben disponer en forma horizontal, donde la primera capa se debe colocar sobre piezas de madera transversales con un ancho mínimo de 10 cm, espaciadas cada 50 cm como máximo (Figura 48). Se deben colocar estacas verticales espaciadas cada metro para soporte lateral de los tendidos de tubería o utilizar calzos anchos de vigas de madera.

El apilamiento debe limitarse a diámetros de hasta DN1200 mm. Almacenar a una altura máxima de tres metros para facilitar la colocación y retiro de los tubos de la última capa, y no debe exponerse al aire libre por un período mayor a 12 (doce) meses.

Si fuera necesario permanecer más allá del plazo anteriormente estipulado, se recomienda almacenar los tubos y conexiones en lugares cubiertos y ventilados o cubrirlos con lonas para una protección más efectiva, evitando la luz solar directa.

Los tubos suministrados con correas metálicas deben almacenarse de manera que los tornillos de ajuste de las correas sobresalgan para evitar aplastamientos y daños permanentes. No almacenar los tubos cerca de fuentes de calor y evitar el contacto con agentes químicos agresivos como disolventes en general.

8. Aspectos de calidad

8.1. Estándares regulatorios de tubos KANAWEHOLITE

El sistema de tuberías KANAWEHOLITE cumple con los estándares de productos internacionales más estrictos, definidos por la Organización Internacional de Normalización (ISO) y el Comité Europeo de Normalización (CEN).

Las características y requisitos de los productos KANAWEHOLITE se determinan de acuerdo con las siguientes normas:

- EN 13.476 Partes 1 e 3;
- EN 681 Parte 1.

8.2. Identificación de producto

Los tubos KANAWEHOLITE se suministran con etiquetas con la siguiente información:

Kanaflex / KANAWEHOLITE (nombre de la empresa y línea de productos);
Dimensión nominal (DN/ID);
Rigidez del anillo (SN);
Material (PE);
Código de trazabilidad (lote);

8.3. Control de calidad de KANAWEHOLITE

Kanaflex mantiene un riguroso sistema de control de calidad para sus productos KANAWEHOLITE, asegurando el uso de materias primas adecuadas así como cumpliendo con los requisitos de control del proceso de fabricación y rendimiento de sus tubos, conexiones y accesorios.

8.3.1. Control de materias primas



Antes de la producción, las materias primas son evaluadas según el índice de fluidez y prueba de densidad, para asegurar condiciones adecuadas de procesamiento y resistencia mecánica del producto.

Al lado, foto del Plastómetro (equipo para determinar el índice de fluidez de resinas de polietileno, de acuerdo con las normas ISO1133 y NBR9053).

Figura 49 – Control de materias primas

8.3.2. Control de producto en el proceso de fabricación

Durante el proceso de fabricación se evalúan las características dimensionales y mecánicas de cada lote producido para asegurar que el producto cumplirá con el desempeño esperado para su aplicación final.

8.3.3. Inspección final



La inspección final en fábrica incluye comprobar que cada producto cumple los requisitos, de acuerdo con sus códigos, descripciones y marcado.

Se emite un Certificado de Conformidad para cada lote de producto, que contiene la descripción completa del producto, factura, norma reglamentaria y cumplimiento de los principales requisitos evaluados para cada lote de producto.

Figura 50 – Inspección final

9. Bibliografía

Norma ABNT NBR 6502 - Rocas y suelos.

Norma ABNT NBR 6459 - Suelo - Determinación del límite de liquidez.

Norma ABNT NBR 7180 - Suelo - Determinación del límite de plasticidad.

Norma ISO/IEC 7073- Recomendaciones técnicas para la instalación de fosas sépticas y alcantarillados no plásticos (cloruro de vinilo), (PVC-U).

Norma ASTM D-2321 -Standard Practice for Underground Installation of Thermoplastic Pipe for Sewers and Other Gravity-Flow Applications.

Norma ATV-DVWK-A 127 - Static Calculation of Drains and Sewers.

Norma EN 681 - Elastomeric seals - Materials requirements for pipe joint seals used in water and drainage applications - Part 1: Vulcanized rubber.

Norma EN 1046 - Sistemas de tuberías y conductos de plástico - Sistemas externos en edificios para el transporte de agua o aguas residuales - Prácticas para instalar tuberías aéreas o enterradas.

Norma EN 1295-1- Diseño estructural de tuberías enterradas bajo diversas condiciones de carga Parte Requisitos generales.

Norma EN 1610 - Construcción de conductos de drenaje y alcantarillado.

Norma EN 13476-2 - Sistemas de tuberías de plástico para drenaje subterráneo y alcantarillado sin presión. Sistemas de tuberías de pared estructuradas de poli(cloruro de vinilo) no plastificado (PVC-U), polipropileno (PP) y polietileno (PE). Parte 2: Especificaciones y conexiones de tuberías con superficies internas y externas lisas y el sistema, tipo A.

Norma EN/ISO 178 - Plásticos – Determinación de propiedades de flexión.

Norma EN/ISO 9967 - Tubos de plástico – Determinación del índice de deformación.

Norma ISO 1133 - *Plastics - Determination of the melt mass-flow rate (MFR) and the melt volume-flow rate (MVR) of thermoplastics.*

Norma ISO 9969 - *Thermoplastics pipes - Determination of ring stiffness.*

Benedito Bueno, Yuri Costa. Tuberías enterradas – aspectos geotécnicos, Oficina de texto, SP, 2012.

Danieletto, José Roberto. Manual de Tuberías de Polietileno y Polipropileno – Características, Dimensionamiento e Instalación, Linha Aberta Comunicações, 2014.

Martson, A; Anderson, A. *The theory of loads on pipes in ditches and tests of cement and clay tile and sewer pipe. Bulletin 31, Iowa Engineering Experiment Station, 1913.*

Spangler, M. G. *The structural design of flexible pipe culverts. Bulletin 112, Iowa Engineering Experiment Station, 1941.*

Spangler, M. G. *Theory of lods on negative projecting conduits. Proceedings of HRB, 1950.*

Advertencias:

- 1) Kanaflex tiene como principio la mejora continua de los productos que fabrica. Se podrán realizar cambios en este manual técnico, sin previo aviso, con el objetivo de mejorarlo.

Eventuais alterações poderão ser feitas neste manual técnico, sem prévio aviso, objetivando o seu aperfeiçoamento.

- 2) Este manual técnico tiene como objetivo colaborar con los usuarios de KANAWEHOLITE en la ejecución de tuberías subterráneas enterradas. Si tiene alguna pregunta no cubierta en este manual, comuníquese con Kanaflex.
- 3) Kanaflex cuenta y brinda un servicio de asistencia técnica al inicio de la obra. Este servicio tiene como objetivo orientar a los instaladores sobre el procedimiento correcto para instalar la tubería y no puede considerarse una inspección. Nuestros técnicos no interfieren en los procedimientos de ingeniería y diseño, que son responsabilidad de los contratistas, diseñadores e instaladores.

Dudas?

Llamar a +55 11 98693-8574 (Douglas)

Rua José Semião Rodrigues Agostinho, 282

Bairro Quinhau – Embu das Artes/SP

CEP 06833-905 **ISO 9001**

www.kanaflex.com.br mkt@kanaflex.com.br

1ª Edición – Abril /2024