

Manual Técnico

ULTRA R-46

Tubería de PVC Doble Pared

LIMEX
TECHNOLOGY

Su Mejor Opción en
Sistemas Integrales
Herméticos para
Conducción de Agua

Durman.

an OAliaxis company

Ventajas

Alta resistencia: Al contar con rigidez de 46 psi en todos los diámetros, (rigidez superior en un 64 % sobre la tubería de PVC Serie 20), la tubería ULTRA R-46 de Durman se puede usar en zonas de alta carga vehicular y a mayores profundidades.

Hermeticidad total: Por su sistema de unión, ya sea tubo a tubo o con los accesorios de descarga domiciliaría, permite obtener una red de atarjeas completamente hermética.

Desempeño hidráulico: La tubería ULTRA R-46 de Durman cuenta con mayores áreas hidráulicas y un coeficiente de rugosidad igual a 0.009, lo que permite conducir mayor caudal en diámetros nominales comunes, alcanzando hasta un 12% de caudal adicional que los sistemas tradicionales.

Vida útil mínima de 50 años: Debido a la calidad de la tubería ULTRA R-46, el sistema no se corroe, no se oxida, resiste el ataque de químicos, resiste la abrasión y no reduce su diámetro interior por efecto de la dureza del agua.

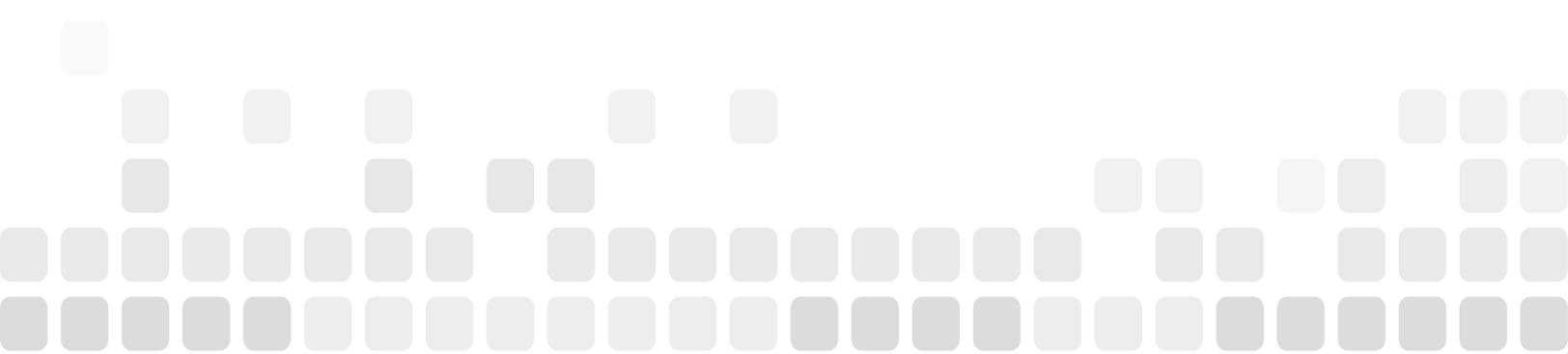
Alto rendimiento de instalación: Por el peso de la tubería y su maniobrabilidad el rendimiento de instalación es alto, reduciendo los tiempos de ejecución de obra.

Presentación: Color Blanco en tramos de 6.00 m



Manual Técnico

**ULTRA
R-406**



Manual Técnico Ultra R-46

Índice

	Pág
Introducción	7
1. Descripción del producto	9
2. Aplicaciones	9
3. Normatividad	9
4. Parámetros estructurales	11
5. Geometría	11
6. Cargas sobre la tubería	11
6.1 Cálculo de las cargas muertas	
6.2 Cálculo de las cargas vivas	
7. Composición estructural	18
7.1 Deflexión	
8. Parámetros Hidráulicos	22
9. Resistencia Química	24



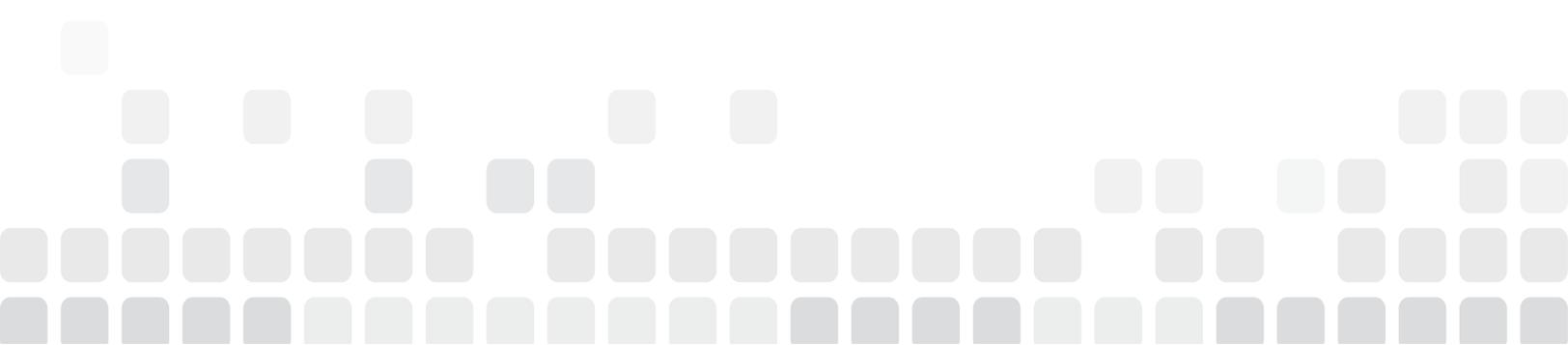
Manual Técnico ULTRA R-46

El presente documento constituye un sumario de las condiciones estructurales e hidráulicas que se deben seguir al emplear la tubería ULTRA R-46 de Durman en sus diversas aplicaciones.

Algunas de las principales fuentes de información son el Manual para Tubería de PVC "Diseño y Construcción" de Uni Bell, asociación mundialmente conocida por su nivel técnico y constante investigación; diversos estudios realizados por Durman; variedad de normas nacionales e internacionales y por supuesto, el conocimiento adquirido en la práctica común.

Para los casos que escapen a las aplicaciones o rangos que en el presente documento se explican, lo óptimo es comunicarse por el sitio web www.durman.com.mx o al departamento Técnico Durman México.





Introducción

Es difícil hoy día encontrarnos en algún sitio donde no haya una tubería, quizás para suministro de agua potable, drenaje sanitario, agrícola, cableado telefónico, gas, oleoductos, túneles subterráneos, líneas de calefacción, etc. Con las ciencias de la ingeniería actuales es posible diseñar conducciones en tubería casi con el mismo grado de precisión con que se diseñan otras estructuras tales como puentes o edificios.

El grado de predicción acerca del comportamiento hidráulico o mecánico de una tubería, es hoy en día muy alto gracias a los métodos de diseño disponibles y a la experiencia acumulada por profesionales que han dedicado mucho esfuerzo a esta materia, ligado con un continuo trabajo de laboratorio.

A inicios de este siglo, el profesor Anson Marston desarrolló un método útil y práctico para calcular la magnitud de las cargas de tierra que inciden sobre una tubería instalada y en servicio. Su teoría es útil para predecir la resistencia que debe tener un conducto cuando se instala en condiciones particulares de servicio.

Más tarde, un discípulo suyo, M.G. Spangler, conjuntamente con su maestro, desarrolló una teoría para el diseño de Tuberías Flexibles. Gracias a ellos y a un sinnúmero de colaboradores a lo largo de nuestro siglo, las tuberías flexibles ocupan hoy día una posición de privilegio en la conducción de masas de variada naturaleza.

En esta obra se tratará el caso de las Tuberías Estructuradas de PVC, del tipo Doble Pared para el transporte de aguas, ULTRA R-46.



1. Descripción del producto:

ULTRA R-46 de Durman es una tubería de PVC estructurada con doble pared de interior liso y corrugada en su exterior que garantiza una rigidez mínima de 46 psi (3.2 Kg/cm²) resultando en la solución más práctica y versátil para la conducción de agua a gravedad y baja presión.

ULTRA R-46 de Durman es fabricada bajo normas NMX, ISO y ASTM específicos para su aplicación en colectores sanitarios, pluviales y aguas procedentes de otros procesos o naturaleza.

Al cumplir con la norma internacional ISO 21138-3, así como con las normas ASTM F949, ASTM F794 y NMX-E-230, se garantiza su idoneidad constructiva y ecológica para el manejo de las aguas sanitarias, mismas que desde hace ya bastantes años son normadas con mayor rigurosidad que las pertenecientes a otras aplicaciones como son las aguas pluviales.

2. Aplicaciones

La tubería ULTRA R-46 de Durman provee soluciones 100% satisfactorias para:

- Sistemas sanitarios
- Sistemas pluviales
- Alcantarillas
- Ductos subterráneos para aplicaciones varias
- Conducciones a gravedad
- Conducciones a baja presión interna

3. Normatividad

Con el objeto de evitar pérdida de agua o la contaminación de los acuíferos y suelos por fugas y/o fallas en las uniones, la CONAGUA

(Comisión Nacional del Agua) emite la Norma Oficial Mexicana NOM-001-CONAGUA-2011, Sistemas de agua potable, toma domiciliaria y alcantarillado sanitario – Hermeticidad - Especificaciones y métodos de prueba. Esta norma oficial es de observancia obligatoria para los responsables del diseño e instalación de los sistemas de alcantarillado sanitario y los fabricantes de los componentes de manufactura nacional y extranjera. Por lo tanto, el Sistema ULTRA R-46 de Durman, desde su origen, se define como ecológico, que lo identifica como sistema hermético para poder cumplir con el delicado uso que representan las aguas residuales, contando así con el certificado que abala su aplicación.

ULTRA R-46 cumple con las siguientes normas de referencia:

Normas nacionales:

NMX-E-230-CNCP-2011

Industria del plástico –Tubos de Poli(Cloruro de Vinilo) (PVC) sin plastificante de pared estructurada anularmente con junta hermética de material elastomérico para drenaje y sistemas de alcantarillado sanitario – serie métrica – Especificaciones y métodos de ensayo.

NMX-E-013-CNCP-2004

Industria del plástico - Resistencia a la presión hidráulica interna sostenida por largo periodo en tubos y conexiones – Método de ensayo.

NMX-E-014-CNCP-2006

Industria del plástico - Resistencia al aplastamiento en tubos y conexiones - Método de ensayo.

NMX-E-021-CNCP-2006

Industria del plástico - Dimensiones en tubos y conexiones - Método de ensayo.

NMX-E-131-CNCP-2005

Industria del plástico - Resistencia al cloruro de metileno de los tubos de poli (Cloruro de Vinilo) (PVC) sin plastificante - Método de ensayo.

NMX-E-208-CNCP-2009

Industria del plástico - Determinación de la rigidez de tubos plásticos - Método de ensayo.

NMX-E-213-CNCP-2004

Industria del plástico - Temperatura de ablandamiento Vicat - Método de ensayo.

NMX-E-214-SCFI-2003

Industria del plástico - Resistencia al impacto en tubos de alcantarillado serie métrica - Método de ensayo.

NMX-E-238-CNCP-2009

Industria del Plástico – Tubos y conexiones de poli (Cloruro de Vinilo) (PVC)-Terminología.

NMX- T-021-SCFI-2009

Industria hulera - Anillos de hule empleados como empaque en los sistemas de tubería - Especificaciones y métodos de ensayo.

Normas Internacionales

ISO 21138-3 Tuberías plásticas para sistemas sin presión de drenaje subterráneo y alcantarillado – Sistema de tuberías de pared estructurada sin plastificante de poli(Cloruro de Vinilo) (PVC-U), polipropileno (PP) y polietileno (PE). Parte 3: Tubería y conexiones de superficie externa corrugada, tipo B

Normas ASTM

F949 Especificación estándar para tubo corrugado alcantarillado y conexiones de poli(Cloruro de Vinilo) (PVC) con interior liso.

F794 Especificación estándar para conexiones y tubo perfilado para alcantarillado a gravedad de poli(Cloruro de Vinilo) (PVC) con diámetro interior controlado.

D618 Práctica para preparación de plásticos para prueba.

D1600 Terminología y abreviatura de términos relacionados con plásticos.

D1784 Especificaciones para compuestos de PVC (Cloruro de Polivinilo) y CPVC (Cloruro de Polivinilo Clorado) rígidos.

D2122 Método de prueba para determinar las dimensiones de tubería y accesorios termoplásticos.

D2152 Método de prueba de la adecuada fusión de tuberías extruidas de PVC y accesorios moldeados de PVC, por inmersión en acetona.

D2321 Práctica para instalación subterránea de tuberías termoplásticas para colectores y otras aplicaciones de flujo por gravedad.

D2412 Método de prueba para la determinación de las características ante carga externas de tuberías plásticas por placas paralelas.

D2444 Método de prueba para la determinación de la resistencia al impacto de tuberías y accesorios termoplásticos por medio de masa cayendo.

D2564 Especificaciones para cementos solventes para sistemas de tuberías de Cloruro de Poli Vinilo (PVC).

D2855 Práctica para la realización de uniones cementadas en tuberías y accesorios de Cloruro de Polivinilo (PVC).

D3212 Especificaciones para uniones para tuberías plásticas para drenaje y colectores usando sellos elastoméricos.

F412 Terminología relacionada con sistemas de tuberías plásticas.

F477 Especificaciones para sellos elastoméricos (empaques) para uniones de tuberías plásticas.

F1057 Práctica para estimar la calidad de tuberías extruidas de cloruro de Polivinilo (PVC) mediante la técnica de reversión térmica.

4. Parámetros Estructurales

- Rigidez anular superior a la mínima requerida por las normas NMX-230-CNCP-2011 e ISO 21138-3.

Las cuales las clasifica para DN ≤ 500 mm: SN 4 y DN > 500 mm: SN 2

- La rigidez anular de ULTRA R-46 es de 46 psi (3.2 Kg/cm²) cumpliendo los requerimientos de las normas ASTM F949 y ASTM F794

- Versatilidad: Se puede usar bajo tránsito vehicular H-20, ferroviario y aeropuertos.

PROPIEDADES	PVC
Resistencia a la tensión, psi	7,000
Valor de HDB a 23° (73°F), psi	4,000
Resistencia a la flexión, psi	14,500
Coefficiente de dilatación, mm/m, °C	0.08

5. Geometría

En base a la norma ISO 21138-3, NMX-E-230, ASTM F949 Y ASTM F794

DIAMETRO NOMINAL		DIAM INTERIOR PROMEDIO		DIAM EXTERIOR PROMEDIO		ESPESOR INTERIOR
in	mm	in	mm	in	mm	mm
4	100	3.950	100.3	4.300	109.2	1.00
6	150	5.909	150.1	6.420	163.1	1.01
8	200	7.881	200.2	8.600	218.4	1.16
10	250	9.846	250.1	10.786	274.0	1.52
12	300	11.715	297.6	12.795	325.0	1.72
15	380	14.338	364.2	15.658	397.7	2.13
18	450	17.552	445.8	19.152	486.5	2.68

En base norma ASTM F949 Y ASTM F794

DIAMETRO NOMINAL		DIAM INTERIOR PROMEDIO		DIAM EXTERIOR PROMEDIO		ESPESOR INTERIOR
in	mm	in	mm	in	mm	mm
24	600	23.469	596.1	25.580	649.7	2.794
30	750	29.469	748.5	32.150	816.6	3.302
36	900	35.475	901.1	38.740	984.0	3.810
42	1050	41.500	1054.1	45.800	1163.3	4.064
48	1200	47.5	1206.5	52.8	1341.1	4.19

6. Cargas sobre la Tubería

Básicamente consiste en definir la magnitud y modo de transmisión de las diferentes solicitudes a las que se verá sometida una tubería instalada en su condición de enterramiento. Para efectos de este modelo se considerarán tanto la carga viva típica, así como las cargas muertas y sus efectos.

En un sentido mecánico estricto, todas las tuberías son flexibles dado que siempre experimentarán una deformación, por mínima que sea, ante la aplicación de una carga, o combinación de estas, distinta de cero. Sin embargo aquí se ha establecido una clasificación en flexibles y rígidas, en función de si están o no en capacidad de interactuar significativamente con el material de entorno.

Aquellos sistemas que se clasifican como estructuralmente flexibles es porque las funciones

esfuerzo-deformación del tubo, en correspondencia con las del material en que se encuentra instalado, permiten una interacción significativa. Las rígidas se definirán entonces por contraposición, no necesariamente absoluta, a esta definición.

Para cada combinación de cargas se puede definir un sistema balanceado entre características del tubo, material circundante y dimensiones de la zanja. Para efectos prácticos y generales basta con definir un solo sistema que cubre la gran mayoría de los casos posibles en campo, sin que esto elimine la posibilidad de buscar alternativas que, para una condición específica, sean más económicas, seguras o prácticas, o bien combinación de estas.

El proceso se inicia con la definición de las cargas y su aplicación, escogiéndose el modelo de distribución de estas, a la vez que se determinan los factores de mayorización cuando hay grados de incertidumbre sobre el valor máximo, o bien determinando las magnitudes y justificando los supuestos que llevan a estas.

6.1 Cálculo de las cargas muertas

Para el análisis y diseño de tuberías enterradas, se conocen como cargas muertas aquellas que corresponden al efecto del prisma de terreno sobre el plano superior de la tubería y a la interacción de este con el material circundante y las condiciones en que se le instaló.

Las tuberías flexibles se caracterizan por poder interactuar de manera significativa con el medio circundante (pared de zanja, encamado y material de entorno, principalmente).

Esto permite una interrelación a nivel casi infinitesimal del tubo y el entorno, lográndose un comportamiento estructural del sistema final

que incluso supera al de tuberías rígidas como el caso de las tuberías de concreto reforzado. Como ya se dijo, estrictamente hablando todas las tuberías son flexibles, en menor o en mayor grado, pero para efectos prácticos se consideran flexibles aquellas que, cuando menos, pueden deformarse anularmente de un 2 a un 3% de su diámetro inicial sin sufrir daños.

Con este rango de deformación se logra que, para la gran mayoría de los suelos, se genere un estado de esfuerzos capaz de sacar provecho de la densidad y calidad que todo material de entorno. Gracias a ese mecanismo es que se logran elementos hechos de materiales de excelentes prestaciones físicas y químicas, con un peso muy favorable para su transporte y colocación.

Incluso, desde hace ya varias décadas la ACPA (American Concrete Pipe Association) ha venido efectuando investigaciones prácticas y desarrollando modelos numéricos en los que analizan el efecto benéfico que puede darse en el comportamiento de las tuberías rígidas de concreto si el entorno de instalación se hace con bien definidas condiciones.

Para las tuberías flexibles las ventajas son más evidentes y numéricamente más significativas, tal y como se demuestra con los teoremas y fórmulas que se presentan.

Los conceptos de diseño se enfocan, para el caso de las tuberías flexibles, en:

- Características del material de pared de zanja
- Características del material que se colocará a los lados de la tubería
- Propiedades mecánicas de la pared del tubo y de su diámetro
- Ancho de zanja
- Cargas vivas y muertas actuando sobre el tubo

La capacidad estructural se cuantifica de acuerdo a lo que el sistema en conjunto aporta, y no solo basándose en lo que el tubo por si solo pueda ofrecer, lo que, al fin y al cabo, solo es un eslabón de la cadena.

Las tuberías flexibles desarrollan en conjunto con el entorno, un estado de esfuerzos que les permite, debidamente diseñadas e instaladas, colocarlas con alturas de relleno que pueden ampliamente superar las que, usualmente, se logran con tuberías de concreto reforzadas según las normativas vigentes.

La figura 1 muestra cómo se da la interacción con el tubo flexible, generando un balance muy conveniente de esfuerzos. Cabe aclarar que el material de relleno colocado por encima del cuadrante superior o corona tiene muy poca influencia sobre el comportamiento estructural del tubo salvo cuando se trata de tuberías muy superficiales sometidas a cargas vivas de importante magnitud, y desde luego también por el efecto del peso volumétrico del terreno.

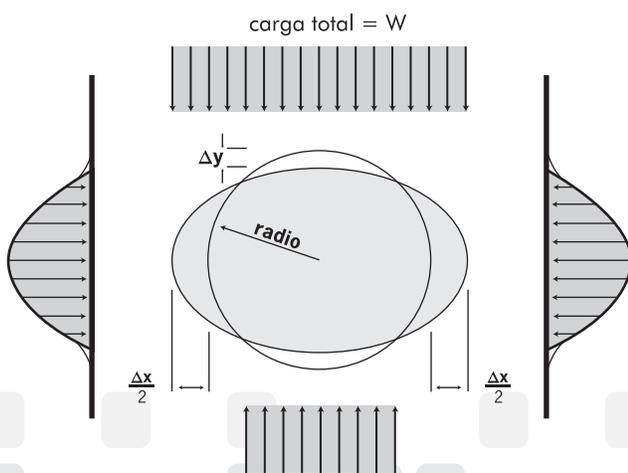


Figura 1. Tubería Flexible enterrada en zanja

La primera solución al problema de las cargas debidas al suelo sobre tubería enterrada fue publicada por el profesor Anson Marston de la Universidad Estatal de Iowa en 1913. Desde entonces la Teoría de Marston ha sido utilizada para determinar la carga sobre tubería enterrada.

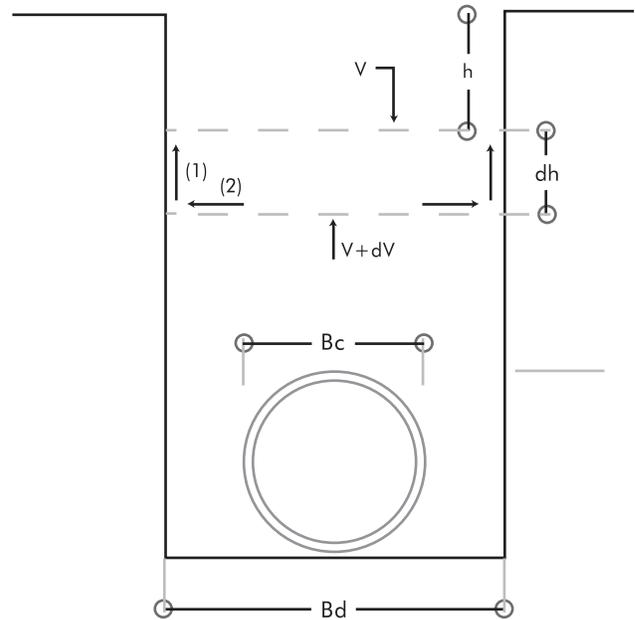


Figura 2. Desarrollo de las cargas en zanja sobre tubería rígida

$$(1) K\mu' \frac{Vdh}{B_d}$$

Fuerza friccionante por asentamiento

$$(2) \frac{KVdh}{B_d}$$

Fuerza contra la pared de la zanja debida a la presión activa lateral

Donde:

V = presión vertical en cualquier plano horizontal, Kg/m

BC = diámetro exterior de la tubería, m

Bd = ancho de la zanja por encima de la tubería, m

h = distancia desde la superficie hasta cualquier plano horizontal del relleno, m

C_d = coeficiente de carga para tubería instalada en zanja

K = coeficiente de empuje activo de Rankine

μ' = coeficiente de fricción entre la pared de la zanja y el relleno

dh = cambio en h

El concepto básico de la teoría es que la carga debida al peso de la columna de suelo por encima de una tubería enterrada es modificada por la respuesta de la tubería.

El peso de la carga del suelo sobre la tubería enterrada no es simplemente el peso de la columna de suelo o prisma que está por encima de ella ($B_c \times \text{peso del suelo} \times h$).

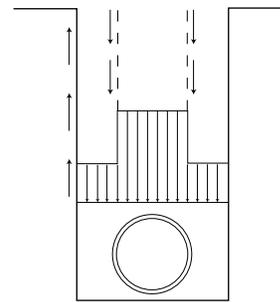
La carga final sobre el tubo en realidad depende del movimiento relativo de las columnas de suelo directamente sobre la tubería y adyacente a esta.

Cuando el suelo entre la tubería y la pared de la zanja (zona del tubo) es más compresible que la tubería, hace que el tubo asuma la carga generada a través del ancho de la zanja. Sin embargo, cuando la tubería tiene la capacidad para deformarse sin agrietamiento, permite que el prisma central de suelo (directamente sobre el tubo) se asiente más que los prismas adyacentes de suelo (entre el tubo y la pared de la zanja).

Este asentamiento produce fuerzas de corte que reducen la carga en un tubo flexible a una cantidad inferior al peso del prisma directamente sobre la tubería. Independientemente de la rigidez del tubo, como el suelo en la zanja se asienta o mueve hacia abajo en mayor magnitud que la pared de la zanja, las fuerzas de fricción que se generan actúan para reducir el peso de la columna de suelo de acuerdo al ancho de la zanja. La teoría de Marston predice y explica estas fuerzas cortantes.

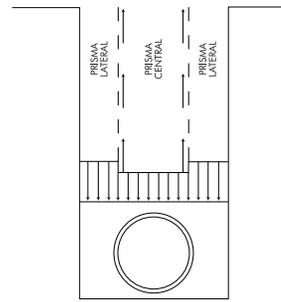
En las figuras 3 y 4 se muestran los dos casos de cargas en zanja:

Figura 3. Fuerzas cortantes sobre tubo rígido



Fuerzas cortantes incrementan la carga

Figura 4. Fuerzas cortantes sobre tubo flexible



Fuerzas cortantes disminuyen la carga

La flexibilidad del tubo asegura que el asentamiento relativo del prisma de suelo por encima del tubo, será mayor que el experimentado por el prisma lateral.

Conductos rígidos, tales como tubos de concreto, caen en la categoría donde el prisma por encima de la tubería impone una carga mayor que el peso del propio prisma.

La falta de flexibilidad en un conducto rígido dicta que el asentamiento relativo del relleno será mayor en los lados de la tubería que el esperado sobre el tubo. Las diferencias inherentes de los dos tipos de tubería se expresan en las siguientes ecuaciones:

Tubo rígido
 $W_c = C_d \gamma B d^2$

Tubo Flexible
 $W_c = C_d \gamma B_d B_c$

Donde:

W_c = carga sobre la tubería, Kg/m

γ = peso volumétrico del suelo, Kg/m³

B_c = diámetro exterior de la tubería, m

B_d = ancho de la zanja por encima de la tubería, m

C_d = coeficiente de carga para tubería instalada en zanja.

El análisis de las dos ecuaciones revela que la relación de la carga sobre un tubo rígido con la carga sobre un tubo flexible es igual a la relación del ancho de la zanja con el diámetro de la tubería, bajo idénticas condiciones de instalación.

$$\frac{(W_c) \text{ rígido}}{(W_c) \text{ flexible}} = \frac{C_d \gamma B_d^2}{C_d \gamma B_d B_c} = \frac{B_d}{B_c}$$

Por lo tanto, si la zanja es de ancho dos veces el diámetro del tubo (tubería de 12" en una zanja de 24" de ancho), la carga impuesta a un tubo rígido será el doble de la carga impuesta a un tubo flexible, como se indica en las ecuaciones de Marston.

Cuando se calculan las cargas sobre una tubería enterrada, el término C_d dependerá de las características particulares de cada instalación. C_d es función del coeficiente de fricción entre el material de relleno y las paredes de la excavación y de la relación entre la altura de relleno H y el ancho de la zanja B_d .

$$C_d = \frac{1 - e^{-2k\mu' H/B_d}}{2k\mu'}$$

Donde:

- e** = base de logaritmo natural
- k** = coeficiente de empuje activo de Rankine
- μ'** = coeficiente de fricción entre el material de relleno y las paredes de la excavación

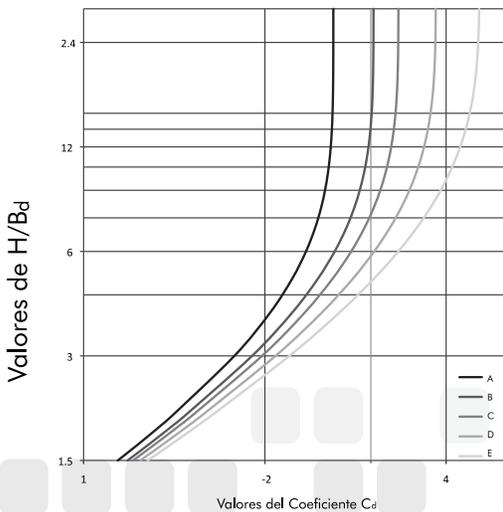
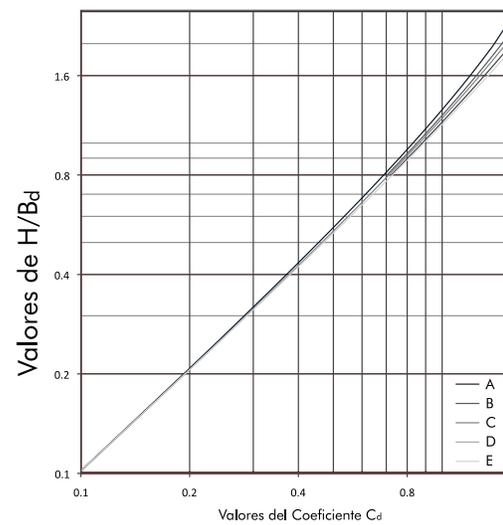
Los valores de $k\mu'$ se encuentran en el rango de 0.110 para arcillas saturadas y 0.1924 para materiales granulares sin cohesión.

Se ha desarrollado un diagrama (figura 5) para varios valores de $k\mu'$ y H/B_d que elimina la necesidad de calcular en la mayoría de los casos el valor de C_d . De acuerdo a la

ecuación de Marston, el ancho de la zanja afecta directamente las cargas impuestas sobre tubos flexibles o rígidos.

Un incremento en el ancho de la zanja incrementará la carga impuesta sobre la tubería pero no de forma indefinida. Habrá un ancho de zanja para una profundidad dada y un diámetro de tubería donde no se verá mayor incremento en la carga. A esto se le llama "ancho de transición" siendo un valor límite para calcular las cargas mediante las ecuaciones de Marston.

Figura 5. Coeficiente de Carga C_d



Cd para k_{μ} y k_{μ}'

A = 0.1924 para materiales granulares sin cohesión

B = 0.165 máximo para arenas y gravas

C = 0.150 máximo para suelo superficial saturado

D = 0.130 ordinario máximo para arcillas

E = 0.110 máximo para arcillas saturadas

Tabla 1. Valores aproximados de la relación de esfuerzos de presión de suelo laterales a verticales y coeficientes de fricción contra las paredes de la zanja como función del tipo de suelo y su peso específico.

Tipo de suelo	γ (kg/m ³)	Coefficiente activo de Rankine	Coefficiente de Fricción (μ)
Suelo suelto	1445	0.33	0.50
Suelo Saturado	1766	0.37	0.40
Arcilla parcialmente compactada	1605	0.33	0.40
Arcilla Saturado	1926	0.37	0.30
Arena seca	1605	0.33	0.50
Arena húmeda	1926	0.33	0.50

Por la experiencia acumulada a lo largo del tiempo por parte de los fabricantes y diseñadores de tuberías flexibles (por ejemplo, metal corrugado), se ha concluido que si la altura de relleno sobre la corona del tubo es inferior al diámetro externo del tubo, entonces el efecto de arco no se produce de manera adecuada y en consecuencia si se justifica calcular la presión de contacto en el tubo, por cargas muertas, como el producto aritmético del volumen sobre la corona del tubo por el diámetro externo de este.

En ciertas condiciones de instalación, sobre todo cuando se espera inestabilidad en el relleno o cambios en su condición a lo largo del tiempo, puede ser conveniente considerar la llamada carga de prisma, representada por la siguiente ecuación:

$$W_c = H\gamma B_c$$

Donde:

W_c = carga sobre la tubería, Kg/m

H = distancia desde la superficie hasta la corona del tubo, m

γ = peso volumétrico del suelo, Kg/m³

B_c = diámetro exterior de la tubería, m

La carga de prisma también puede ser expresada en términos de presión de suelo como se muestra:

$$P = \gamma H = \frac{W_c}{B_c}$$

Donde:

P = presión debida al suelo a una profundidad H, Kg/m²

γ = peso volumétrico del suelo, Kg/m³

H = distancia desde la superficie hasta la corona del tubo, m

W_c = carga sobre la tubería, Kg/m

B_c = diámetro exterior de la tubería, m

Ejemplo: Calcular las cargas muertas sobre una tubería rígida y una flexible mediante la siguiente información:

Diámetro exterior de la tubería (D _o o B _c)	0.30 m
Altura de relleno (H)	5.00 m
Ancho de zanja (B _d)	0.80 m
Coefficiente de Rankine (k)	0.37
Densidad del suelo (γ)	1,766 Kg/m ³
Coefficiente de fricción del suelo (μ')	0.3

Para calcular C_d por medio del nomograma se calcula $k_{\mu}' = 0.37(0.3) = 0.11$ y $H/B_d = 5/0.8 = 6.25$

Con estos valores se obtiene C_d = 3.5

Utilizando la ecuación:

$$C_d = \frac{1 - e^{-2k_{\mu}' H/B_d}}{2 k_{\mu}'} = \frac{1 - e^{-2(0.37)(0.3)(5/0.8)}}{2(0.37)(0.3)} = 3.38$$

Carga sobre tubería rígida (condición en zanja)

$$W_c = 3.38(1,766)0.80^2$$

$$W_c = 3,820 \text{ Kg/m o } 12,733 \text{ Kg/m}^2$$

Carga sobre tubería flexible (condición en zanja):

$$W_c = 3.38(1,766)(0.80)(0.30)$$

$$W_c = 1,433 \text{ Kg/m o } 4,777 \text{ Kg/m}^2$$

Carga sobre tubería flexible (asumiendo carga de prisma):

$$W_c = 1,766(5)(0.3)$$

$$W_c = 2,649 \text{ Kg/m o } 8,830 \text{ Kg/m}^2$$

6.2 Cálculo de las cargas vivas

Las cargas sobre las superficies de las estructuras destinadas al transporte terrestre que pueden ser estáticas (superpuestas) o bien dinámicas provenientes del tráfico de vehículos o ferrocarriles, se denominan cargas vivas, las cuales disminuyen su influencia sobre el desempeño de las tuberías de PVC conforme se incrementa la profundidad de la tubería, al grado de poder ignorarse.

La carga viva de mayor uso es la denominada AASHTO H-20 donde se simula una carga vehicular de 40,000 lbs donde el 80% (32,000 lbs/eje = 14,500 Kg/eje) es distribuido en el eje trasero, dividido en dos cargas de 16,000 lbs (7,250 Kg) por llanta. El 20% restante (8,000 libras) se divide en el eje delantero en dos cargas por rueda de 4,000 lbs.

Del mismo modo, la AREMA (American Railway Engineering Association Manual for Railway Engineering) considera la carga viva Cooper E-80 de ferrocarril simulando el efecto de cuatro ejes de 80,000 lbs (36,300 Kg), a una separación de 5 ft (1.52 m). Cada carga por eje se asume distribuida en un área de 2 x 8 ft.

La superficie de distribución en la carga H-20 se determina por un rectángulo de dimensiones B x L en sentido transversal y longitudinal del vehículo, respectivamente. Los valores de B y L se calculan partiendo del peso por eje y de la presión de inflado de las llantas por las siguientes relaciones experimentales:

$$B = \sqrt{\frac{P}{P_i}} = L = \frac{B}{\sqrt{2}}$$

Donde:

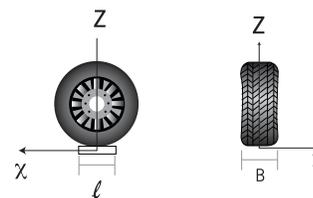
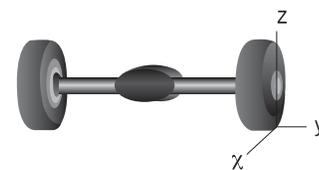
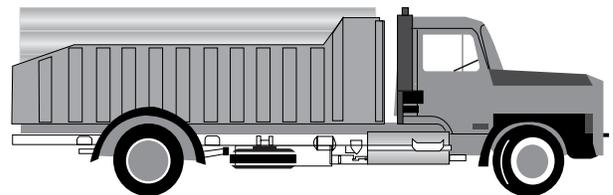
B = ancho de la superficie de apoyo de las llantas, cm

L = largo de la superficie de apoyo de las llantas, cm

P = peso por eje, Kg

P_i = presión de inflado de las llantas, Kg/cm²

Se recomienda una presión de inflado de 120 psi (8.5 Kg/cm²)



Estas variables (B y L) definen el rectángulo equivalente de aplicación de la carga, que, aplicando las ecuaciones ya sean de Boussinesq, Newmark o las simplificadas de AASHTO,

permiten calcular o estimar la presión, vertical en este caso específico, a una profundidad dada.

Para la presión de inflado de las llantas de 120 psi (8.5 Kg/cm²) y una craga por eje de 14,500 Kg/cm², los valores de B y L serán los siguientes:

$$B = \sqrt{\frac{P}{P_f}} = \sqrt{\frac{14,500}{8.5}} = 41.3 \text{ cm}$$

$$L = \frac{P}{\frac{P}{\sqrt{2}}} = \frac{41,3}{\sqrt{2}} = 29.2 \text{ cm}$$

El método más comúnmente usado en diseño de tuberías es el denominado AASHTO (American Association for State and Highway Transportation Officials), el cual asume una atenuación proporcional al cuadrado de la profundidad:

$$W_v = \frac{I_f P / 2}{(B + 1.2H)(L + 1.2H)}$$

Donde:

W_v = presión ejercida a una profundidad dada, Kg/cm²

I_f = Factor de impacto que magnifica el valor nominal de la presión, tabla 2

P = peso por eje, Kg

B = ancho de la superficie de apoyo de las llantas, cm

L = largo de la superficie de apoyo de las llantas, cm

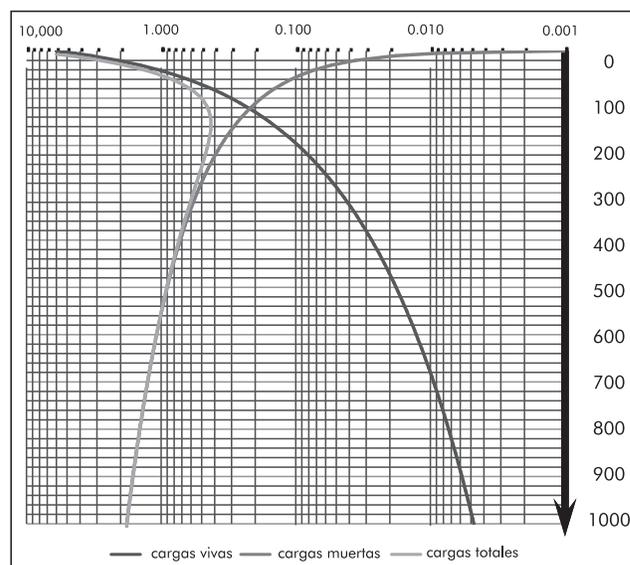
H = profundidad desde el punto de contacto de las llantas hasta el punto en estudio, cm.

Tabla 2. Factor de Impacto

Altura del recubrimiento H (m)	I _f
0.00 < H < 0.30	1.5
0.30 ≤ H ≤ 0.60	1.35
0.60 < H ≤ 1.00	1.15
H > 1.00	1.00

Considerando las cargas vivas tipo H-20 (14,500 Kg/cm²) y cargas muertas de prisma debidas a un suelo con γ = 1800 Kg/m³, la figura 6 muestra el comportamiento de ambas cargas en función de la profundidad, es posible apreciar que después de 3 m de enterramiento a nivel de corona, las cargas vivas pueden ser despreciables.

Figura 6. Distribución de cargas



7. Comportamiento Estructural

Una tubería flexible de PVC deriva su resistencia a las cargas, de su naturaleza a permitir deformaciones. Al deflectarse ante la carga, esto permite que se desarrollen empujes pasivos de suelo en ambos lados del tubo, hacia la línea de centro horizontal (Fig. 1.). Al mismo tiempo la deformación del mismo lo libera de soportar la mayor porción de la carga vertical, la cual es soportada por el suelo de los lados, a través del llamado efecto de arco. Al igual que con cualquier proceso de diseño, con las tuberías flexibles deben establecerse parámetros de aceptación y factores de seguridad, tanto de los productos como de la instalación en general.

Una instalación de calidad es aquella que se diseñó e instaló siguiendo criterios técnicos adecuados, su vida de servicio resultó económica y prestó la seguridad esperada.

En base a un estudio realizado en 1973 por la Universidad Estatal de Utah (Estructural Response to Buried PVC Pipe) se determinó que la rigidez óptima en una tubería plástica enterrada es de 37 psi con respecto a la deflexión que presenta al recibir las cargas. ULTRA R-46 con rigidez de 46 psi bajo una instalación típica en verano de 30 a 32°C, su rigidez se encontrará muy cercana a la óptima.

7.1 Deflexión

Una vez que se conoce la magnitud de la carga aplicada en el plano inmediato superior sobre la corona del tubo, se procede al cálculo de la deflexión.

Para su cálculo se requiere contar con la siguiente información:

- Módulo de reacción pasiva del material de entorno. Se define según tipo de material y grado de densificación o compactación (según aplique). Se le denomina E2.
- Ancho de zanja.
- Diámetro del tubo, en el sentido estricto es el diámetro respecto al eje neutro de la pared del tubo.
- Propiedades mecánicas del tubo.

Este conjunto de variables, son la base para la fórmula de IOWA, desarrollada por M. G. Spangler, quien a su vez partió de lo definido por Anson Marston para tuberías rígidas. Posteriormente Reynold K. Watkins, en 1958, terminó las variables con la adecuada coherencia dimensional.

$$\Delta x = \frac{\Delta L k w_T r^3}{E I + 0.061 E' r^3}$$

Δx = Deflexión diametral de la tubería

ΔL = Factor de relajamiento para termoplásticos (≤ 1.50)

k = Factor de apoyo

W_T = Sumatoria de efectos (cargas) externos

r = radio de la tubería (del centroide del tubo al eje neutro de la pared del tubo)

E = Módulo de elasticidad del material del tubo

I = Momento de inercia (por unidad de longitud) de la pared del tubo

E' = Módulo de reacción del material en el entorno del tubo

El valor k o factor de apoyo depende del grado de confinamiento que el material de entorno dé a la tubería. Si este alcanza hasta la mitad del tubo, el valor será el mínimo, dado que es el óptimo en apoyo estructural. De la tabla 3 y observando la figura 8, se puede interpolar el valor de este factor en función al ángulo θ que este forma respecto al tubo.

Figura 8. Ángulo de encamado

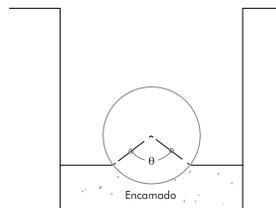


Tabla 3. Constante en función del ángulo de encamado

Ángulo de encamado, grados	k
0	0.110
30	0.108
45	0.105
60	0.102
90	0.096
120	0.090
180	0.083

Para que la magnitud de las deflexiones sea más fácil de interpretar, se le suele presentar en términos de porcentaje de deflexión. Para ello se reacomoda la ecuación dividiendo entre el diámetro a ambos lados y multiplicando por 100%, así mismo el término EI se redefine para representar la rigidez del tubo ($F/\Delta x$), que es proporcional a $E I / r^3$, quedando la fórmula de la siguiente manera:

$$\Delta\% = \frac{\Delta x}{D} 100\% = \frac{100\Delta L k W_T}{0.149 \frac{F}{\Delta x} + 0.061 E'}$$

Donde:

$\Delta\%$ = Porcentaje de deflexión con respecto al diámetro interno (máximo 7.5% a los 30 días según ASTM D3034, X2.1)

ΔL = Factor de relajamiento para termo plásticos (≤ 1.50)

k = Factor de apoyo

W_T = Sumatoria de efectos (cargas) externos

$F/\Delta x$ = Rigidez anular del tubo

E' = Módulo de reacción del material en el entorno del tubo

De acuerdo a la ecuación anterior y considerando una rigidez mínima de 46 psi en la

tubería ULTRA R-46, se presenta la tabla 4, donde se obtienen los porcentajes de deflexión ($\Delta\%$) en función del material de acostillado y las alturas de relleno sobre la corona del tubo.

Los siguientes valores se consideran como constantes:

TIPO DE CARGA VIVA H-20:

14,500 Kg/eje

PESO VOLUMÉTRICO DEL SUELO:

1,800 Kg/m³ (112 lbs/ft³)

FACTOR DE RETARDO DE LA DEFLEXION

(ΔL): 1.00

CONSTANTE DE ENCAMADO (k):

0.10

MÓDULO DE REACCIÓN DEL SUELO

(E'): en función del tipo de material y grado de compactación

Tabla 4. Porcentajes de deflexión ($\Delta\%$) en función del material de acostillado y las alturas de relleno sobre la corona del tubo

Clasificación del material para acostillado según ASTM	Densidad de compactación (Próctor) AASHTO T-99	ALTURA DE RELLENO (m)															
		0.30	0.50	0.60	0.70	0.90	1.00	1.50	2.00	3.00	4.00	5.00	6.00	7.00	8.00	9.00	10.00
Grava angular manufacturada	> 95%	1.50	0.88	0.72	0.53	0.43	0.36	0.32	0.34	0.44	0.56	0.69	0.82	0.95	1.08	1.22	1.35
	85% - 95%	1.50	0.88	0.72	0.53	0.43	0.36	0.32	0.34	0.44	0.56	0.69	0.82	0.95	1.08	1.22	1.35
	< 85%	2.20	1.29	1.06	0.79	0.63	0.53	0.47	0.50	0.65	0.82	1.01	1.21	1.40	1.60	1.79	1.99
	volteo	4.18	2.46	2.02	1.50	1.19	1.01	0.89	0.96	1.23	1.57	1.92	2.29	2.66	3.03	3.41	3.78
Suelos gruesos con menos de 12% de finos: GW, GP, SW, SP	> 95%	1.50	0.88	0.72	0.53	0.43	0.36	0.32	0.34	0.44	0.56	0.69	0.82	0.95	1.08	1.22	1.35
	85% - 95%	2.20	1.29	1.06	0.79	0.63	0.53	0.47	0.50	0.65	0.82	1.01	1.21	1.40	1.60	1.79	1.99
	< 85%	4.18	2.46	2.02	1.50	1.19	1.01	0.89	0.96	1.23	1.57	1.92	2.29	2.66	3.03	3.41	3.78
	volteo	14.89	8.75	7.18	5.33	4.25	3.59	3.18	3.40	4.38	5.58	6.85	8.15	9.47	10.80	12.13	13.47
Suelos finos, LL<50 sin plasticidad a plasticidad media, CL, ML, ML-CL con más de 25% de partículas gruesas. Así como suelos gruesos con más del 12% de finos: GM, GC, SM, SC	> 95%	2.20	1.29	1.06	0.79	0.63	0.53	0.47	0.50	0.65	0.82	1.01	1.21	1.40	1.60	1.79	1.99
	85% - 95%	4.18	2.46	2.02	1.50	1.19	1.01	0.89	0.96	1.23	1.57	1.92	2.29	2.66	3.03	3.41	3.78
	< 85%	9.08	5.34	4.37	3.25	2.59	2.19	1.94	2.07	2.67	3.40	4.18	4.97	5.78	6.59	7.40	8.21
	volteo	21.90	12.87	10.55	7.83	6.24	5.28	4.68	5.00	6.44	8.20	10.07	11.99	13.93	15.88	17.84	19.81
Suelos finos, LL<50 sin plasticidad a plasticidad media, CL, ML, ML-CL con menos de 25% de partículas gruesas	> 95%	4.18	2.46	2.02	1.50	1.19	1.01	0.89	0.96	1.23	1.57	1.92	2.29	2.66	3.03	3.41	3.78
	85% - 95%	9.08	5.34	4.37	3.25	2.59	2.19	1.94	2.07	2.67	3.40	4.18	4.97	5.78	6.59	7.40	8.21
	< 85%	14.89	8.75	7.18	5.33	4.25	3.59	3.18	3.40	4.38	5.58	6.85	8.15	9.47	10.80	12.13	13.47
	volteo	28.64	16.84	13.80	10.24	8.17	6.91	6.12	6.54	8.42	10.73	13.17	15.68	18.22	20.77	23.33	25.90

Para valoración del módulo de reacción del suelo en base al material de acostillado y su grado de compactación, se toma como referencia las tablas 5 y 6.

Tabla 5. Clasificación de materiales para encamado y rellenos

Clase	Tipo	Símbolo del grupo de suelo (de acuerdo a D2487)	Descripción	Porcentaje pasando las mallas No.			Límites de Atterberg		Coeficientes	
				1 1/2" (40 mm)	No. 4 (4.75 mm)	No. 200 (0.075 mm)	LL	PI	Uniformidad C _u	Curvatura C _c
IA	Agregados Manufacturados: graduación abierta, limpios	Ninguno	Angulares, piedra o roca triturada, grava triturada, coral triturado, escoria, cenizas o conchas trituradas; alto contenido de vacíos, contienen poco o ningún material fino.	100%	≤ 10%	< 5%	No plástico			
IB	Agregados procesados, manufacturados; graduados densamente, limpios.	Ninguno	Angulares, roca triturada (u otro material clase 1A) y mezclas piedra/arena con graduaciones seleccionadas para minimizar la migración de suelos adyacentes; contienen poco o ningún material fino (ver A.8)	100%	≤ 50%	< 5%	No plástico			
II	Suelos de grano grueso, limpios	GW	Gravas bien graduadas y mezcla de grava-arena; poco o ningún material fino.	100%	< 50 % de la "Fracción Gruesa"	< 5 %	No plástico	> 4	1 a 3	
		GP	Gravas bien graduadas y mezcla de grava-arena; poco o ningún material fino.					< 4	<1 ó >3	
		SW	Arenas bien graduadas y gravas arenosas; poco o ningún material fino.		> 6			1 a 3		
		SP	Arenas bien graduadas y gravas arenosas; poco o ningún material fino.		< 6			<1 ó >3		
	Suelos de grano grueso, en la frontera entre materiales limpios y con finos	ej. GW-GC, SP-SM.	Arenas y gravas con que se encuentren en la frontera entre materiales limpios y con finos.	Varía	5% a 12%	Los mismos que para GW, GP, SW Y SP				
III	Suelos de grano grueso con finos.	GM	Gravas limosas, mezclas de gravas-arenas-limos.	100%	< 50 % de la "Fracción Gruesa"	12% a 50%		<4 ó <"Línea A"		
		GC	Gravas arcillosas, mezclas de gravas-arenas-arcillas.					<7 y >"Línea A"		
		SM	Arenas limosas, mezclas de arenas-limos.		> 50 % de la "Fracción Gruesa"			<4 ó <"Línea A"		
		SC	Arenas arcillosas, mezclas de arenas-arcillas.		<7 y >"Línea A"					
IVA*	Suelos con grano fino (inorgánicos)	ML	Limos inorgánicos y arenas muy fina polvo de roca, arenas finas limosas o arcillosas, limos con poca plasticidad	100%	100%	>50 %	<50	<4 ó <"Línea A"		
		CL	Arcillas inorgánicas de baja a mediana plasticidad, gravas arcillosas, arenas arcillosas, arcillas limosas, arcillas rebajadas.					<7 y >"Línea A"		
IVB	Suelos de grano fino (inorgánicos)	MH	Limos inorgánicos, arenas finas micáceas o diatomáceas o suelos limosos, limos elásticos	100%	100%	>50 %	>50	<"Línea A"		
		CH	Arcillas inorgánicas de alta plasticidad, arcillas gruesas					>"Línea A"		
V	Suelos Orgánicos	OL	Limos orgánicos y arcillas limosas orgánicas de baja plasticidad.	100%	100%	>50 %	<50	<4 ó <"Línea A"		
		OH	Arcillas orgánicas de media a alta plasticidad, limos orgánicos					<"Línea A"		
	Allamente orgánicos	PT	Turba y otros suelos con alto contenido orgánico.				>50	<"Línea A"		

* El método de prueba D 2487 incluye clasificaciones de frontera y símbolos duales dependiendo del índice plástico y los límites líquidos.

Nota: "la Fracción Gruesa" utilizada en esta tabla se define como el material retenido en la malla No. 200.

Tabla 6. Módulo de reacción del suelo (kg./cm²) según su clasificación

TIPO DE SUELO		MÓDULO DE REACCIÓN DEL SUELO (kg/cm ²)			
Clase de Suelo	Suelo según ASTM D2487	Suelto	Compactación ligera < 85%	Compactación moderna 85% - 95%	Muy Compacto > 95%
V	Suelos orgánicos del tipo OL, OH y suelos que contienen desechos y otros materiales extraños	No se acepta en ningún caso éste material como material de encamado o relleno.			
IVB	Suelos finos LL>50 suelos con media alta plasticidad CH, MH, CH-MH	No existe información, consulte con un mecánico de suelos o utilice E2 = 0			
IVA	Suelos finos LL< 50 sin plasticidad a media plasticidad, CL, ML - CL con menos de 25% de partículas gruesas	3.5	14	28	70
IVA - III	Idem anterior pero con más de 25% de partículas gruesas	7	28	70	140
III	Suelos gruesos con más de 12 % de finos GM, GC, SM, SC	7	28	70	140
II	Suelos gruesos con menos de 12% de finos GW, GP, SW,SP	14	70	140	210
IA - IB	Piedra quebrada	70	210	210	210

8. Parámetros Hidráulicos

Coeficiente de rugosidad n de Manning:

0.009 a 0.010*

Coeficiente C de Hazen & Williams:

150

Presión interna de trabajo:

2.5 Kg/cm² (36 psi)

Velocidad mínima recomendada:

0.60 m/s para condición de tubo lleno

Velocidad máxima recomendada:

5.00 m/s**

* Con ULTRA R-46 así como con cualquier otro tipo de tubería, el coeficiente de rugosidad para conducciones de aguas sanitarias deberá revisarse por ser un flujo con gran densidad de sólidos en arrastre y suspensión, por consiguiente y de forma conservadora, se recomienda un número de Manning de 0.01.

** En casos especiales con pendiente alta, se recomienda una velocidad máxima de diseño de 8.00 m/s aplicando solo en tramos

cortos y que el sistema cuente con algún medio de retención de sólidos como pueden ser los desarenadores.

- Para la evaluación del gasto a superficie libre se utiliza normalmente la ecuación de Manning siendo la siguiente:

$$Q = \frac{AR_h^{2/3}}{n} \sqrt{S}$$

Donde:

Q = gasto o caudal, m³/s

A = área hidráulica, m²

R_h = radio hidráulico, m (relación entre el área hidráulica y el perímetro mojado)

R_h = d_i/4 (para condición a tubo lleno)

n = coeficiente de rugosidad

S = pendiente de la tubería, m/m

Para conocer la velocidad del flujo, se emplea la ecuación de la continuidad Q = VA donde

- V** será la velocidad en m/s.

COMPORTAMIENTO HIDRÁULICO A TUBO LLENO																												
PENDIENTE (m/m)	DN 4"		DN 6"		DN 8"		DN 10"		DN 12"		DN 15"		DN 18"		DN 24"		DN 30"		DN 36"		DN 42"							
	DI 100.3 mm	Q (l/s)	DI 150.1 mm	Q (l/s)	DI 200.2 mm	Q (l/s)	DI 250.1 mm	Q (l/s)	DI 297.6 mm	Q (l/s)	DI 364.2 mm	Q (l/s)	DI 445.8 mm	Q (l/s)	DI 596.1 mm	Q (l/s)	DI 748.5 mm	Q (l/s)	DI 901.1 mm	Q (l/s)	DI 1054.1 mm	Q (l/s)	V (m/s)					
0.0001																												
0.0002																												
0.0003																												
0.0004																												
0.0005																												
0.0006																												
0.0007																												
0.0008																												
0.0009																												
0.001	2.38	0.30	6.97	0.39	15.02	0.48	27.19	0.55	43.23	0.62	74.08	0.71	127.01	0.81	275.63	0.99	505.81	1.15	829.60	1.30	1260.36	1.44						
0.002	3.36	0.43	9.86	0.56	21.24	0.67	38.46	0.78	61.14	0.88	104.77	1.01	179.62	1.15	389.80	1.40	715.32	1.63	1173.23	1.84	1782.41	2.04						
0.003	4.12	0.52	12.07	0.68	26.02	0.83	47.10	0.96	74.88	1.08	128.31	1.23	219.99	1.41	477.40	1.71	876.09	1.99	1436.91	2.25	2183.00	2.50						
0.004	4.76	0.60	13.94	0.79	30.04	0.95	54.38	1.11	86.47	1.24	148.16	1.42	254.03	1.63	551.26	1.98	1011.62	2.30	1659.20	2.60	2520.71	2.89						
0.005	5.32	0.67	15.58	0.88	33.59	1.07	60.80	1.24	96.68	1.39	165.65	1.59	284.01	1.82	616.33	2.21	1131.02	2.57	1855.05	2.91	2818.24	3.23						
0.006	5.83	0.74	17.07	0.96	36.79	1.17	66.61	1.36	105.90	1.52	181.46	1.74	311.12	1.99	675.15	2.42	1238.97	2.82	2032.10	3.19	3087.23	3.54						
0.007	6.29	0.80	18.44	1.04	39.74	1.26	71.94	1.46	114.39	1.64	196.00	1.88	336.05	2.15	729.25	2.61	1338.24	3.04	2194.92	3.44	3334.59	3.82						
0.008	6.73	0.85	19.71	1.11	42.49	1.35	76.91	1.57	122.29	1.76	209.54	2.01	359.25	2.30	779.60	2.79	1430.64	3.25	2346.47	3.68	3564.83	4.08						
0.009	7.14	0.90	20.91	1.18	45.06	1.43	81.58	1.66	129.70	1.86	222.25	2.13	381.04	2.44	826.89	2.96	1517.43	3.45	2488.81	3.90	3781.07	4.33						
0.01	7.52	0.95	22.04	1.25	47.50	1.51	85.99	1.75	136.72	1.97	234.27	2.25	401.65	2.57	871.62	3.12	1599.51	3.64	2623.43	4.11	3985.60	4.57						
0.02	10.64	1.35	31.17	1.76	67.18	2.13	121.61	2.48	193.35	2.78	331.31	3.18	568.02	3.64	1232.65	4.42	2282.05	5.14	3710.09	5.82	5636.48	6.46						
0.03	13.03	1.65	38.17	2.16	82.28	2.61	148.94	3.03	236.80	3.40	405.77	3.89	695.68	4.46	1509.69	5.41	2770.43	6.30	4543.92	7.13	6903.25	7.91						
0.04	15.04	1.90	44.07	2.49	95.00	3.02	171.98	3.50	273.44	3.93	468.54	4.50	803.30	5.15	1743.24	6.25	3199.02	7.27										
0.05	16.82	2.13	49.28	2.78	106.22	3.37	192.28	3.91	305.71	4.39	523.84	5.03	898.12	5.75	1949.00	6.98												
0.06	18.42	2.33	53.98	3.05	116.36	3.70	210.63	4.29	334.89	4.81	573.84	5.51	983.84	6.30	2135.02	7.65												
0.07	19.90	2.52	58.31	3.29	125.68	3.99	227.51	4.63	361.73	5.20	619.82	5.95	1062.67	6.81														
0.08	21.27	2.69	62.33	3.52	134.36	4.27	243.21	4.95	386.70	5.56	662.61	6.36	1136.04	7.28														
0.09	22.56	2.86	66.11	3.74	142.51	4.53	257.97	5.25	410.16	5.90	702.81	6.75	1204.95	7.72														
0.1	23.78	3.01	69.69	3.94	150.21	4.77	271.92	5.54	432.34	6.22	740.82	7.11																
0.11	24.94	3.16	73.09	4.13	157.55	5.00	285.19	5.81	453.45	6.52	776.98	7.46																
0.12	26.05	3.30	76.34	4.31	164.55	5.23	297.88	6.06	473.61	6.81	811.53	7.79																
0.13	27.12	3.43	79.46	4.49	171.27	5.44	310.04	6.31	492.95	7.09																		
0.14	28.14	3.56	82.46	4.66	177.74	5.65	321.74	6.55	511.56	7.35																		
0.15	29.13	3.69	85.35	4.82	183.97	5.84	333.04	6.78	529.51	7.61																		

Tabla 7. Comportamiento hidráulico según la ecuación de Manning para un coeficiente de rugosidad de 0.009

9. Resistencia Química

La resistencia de la tubería de PVC a la acción de las diferentes productos químicos, es muy alta, se puede afirmar que se trata de un producto inalterable químicamente y de una gran durabilidad. La tubería de PVC, es inmune al ataque de los suelos sulfatados y corrosivos, en consecuencia no precisa de protecciones catódicas o cualquier otro tipo de revestimiento. Es ideal para la conducción de aguas sanitarias e industriales no viéndose afectada por la presencia de ácido sulfúrico, el cual ataca fuertemente al concreto y al acero.

TABLA.8 Se muestran las recomendaciones de uso de la tubería Ultra R-46 para algunas sustancias:

SUSTANCIA	PVC 23°	PVC 60°	SUSTANCIA	PVC 23°	PVC 60°	SUSTANCIA	PVC 23°	PVC 60°	SUSTANCIA	PVC 23°	PVC 60°
ACEITE CRUDO RANCIO	E	E	AGUA SALADA	E	E	CROMATO DE POTASIO	E	E	ORINA	E	E
ACEITE DE CASTOR	E	E	ALCOHOL ALILICO AL 96%	E	NR	DEXTRINA	E	E	OXICLORURO DE ALUMINIO	E	E
ACEITE DE LINAZA	E	E	ALCOHOL AMILICO	E	NR	DEXTROSA	E	E	OXIDO DE ETILENO	NR	NR
ACEITE DE SEMILLA AL GONDON	E	E	ALCOHOL BUTILICO	E	E	DICLORURO DE ETILENO	NR	NR	OXIDO NITROSO	E	E
ACEITES MINERALES	E	NR	ALCOHOL ETILICO	E	E	DICLOR. DE PROPILENO	NR	NR	OXIGENO	E	E
ACEITES Y GRASAS	E	E	ALCOHOL METILICO	E	E	DICROMATO POTASIO	E	E	OZONO	E	E
ACETALDEHIDO	NR	NR	ALCOHOL PROPILICO	E	E	DICROMATO SODIO	E	E	PENTOXIDO DE FOSFORO	E	U
ACETATO DE AMILO	NR	NR	ALUMBRE	E	E	DIMETILAMINA	E	E	PERBORATO DE POTASIO	E	E
ACETATO DE BUTILO	E	NR	ALUMBRE DE CROMO	E	E	DIOX. DE AZUFRE HUM.	E	NR	PERMANG. DE POTASIO 10%	E	E
ACETATO DE ETILO	NR	NR	ALUMBRE-CROMO	E	U	DIOX. DE AZUFRE SECO	E	E	PERMANG. DE POTASIO 25%	E	NR
ACETATO DE PLOMO	E	E	AMONIACO (GAS-SECO)	E	E	DIOX. DE CARBONO (SECO)	E	E	PEROXIDO DE HIDROG. 90%	E	E
ACETATO DE SODIO	E	E	AMONIACO	NR	NR	DIOX. CARB. (SOL. ACUOSA)	E	E	PEROXIDO DE SODIO	E	E
ACETILENO	E	E	ANHIDRICO ACETICO	NR	NR	ETERES	NR	NR	POTASA CAUSTICA	E	E
ACETONA	NR	NR	ANILINA	NR	NR	ETER ETILICO	NR	NR	PROPANO	E	E
ACIDO ACETICO AL 80%	E	E	AZUFRE	E	E	ETILENO GLICOL	E	E	PULPA Y JUGOS DE FRUTAS	E	E
ACIDO ADIPICO	E	E	BAÑO COAGUL. RAYON	E	E	FENOL	E	NR	SALMUERA ACIDA	E	U
ACIDO ARISULFONICO	E	E	BENCENO	NR	NR	FERRICIANURO POTASIO	E	E	SOSA CAUSTICA	E	E
ACIDO ARSENICO AL 80%	E	E	BENZOATO DE SODIO	E	E	FERRICIANURO SODIO	E	E	SOLUBLES DE PESCADO	E	E
ACIDO BENZOICO	E	E	BICARB. DE POTASIO	E	E	FERROCIANURO POTASIO	E	E	SOL. ACUOSA ACIDOS MINA	E	E
ACIDO BORICO	E	E	BICARB. DE SODIO	E	E	FERROCIANURO SODIO	E	E	SOLVENTE DE STODDARD	NR	NR
ACIDO BROMICO	E	E	BISULFATO DE SODIO	E	E	FLUOR GASEOSO (HUM.)	E	E	SOLV. DE ACETATO CRUDOS	NR	NR
ACIDO BURITICO	E	NR	BISULFITO DE CALCIO	E	E	FLUOR GASEOSO (SECO)	E	NR	SOLV. DE ACETATO PUROS	NR	NR
ACIDO CARBONICO	E	E	BISULFITO DE SODIO	E	E	FLUORURO DE ALUMINIO	E	E	SULFATO DE ALUMINIO	E	E
ACIDO CITRICO	E	E	BISULFURO CARBONO	NR	NR	FLUORURO DE AMONIO 25%	E	NR	SULFATO DE AMONIO	E	E
ACIDO CLORACETICO	E	E	BLANQUEADOR AL 12%	E	E	FLUORURO DE COBRE	E	R	SULFATO DE BARIO	E	E
ACIDO CLORHIDRICO 30%	E	E	BORATO DE POTASIO	E	E	FLUORURO DE POTASIO	E	E	SULFATO DE CALCIO	E	E
ACIDO CLORHIDRICO CONC.	E	E	BORAX	E	E	FLUORURO DE SODIO	E	E	SULFATO DE COBRE	E	E
ACIDO CLOROSULFONICO	R	NR	BROMO DE POTASIO	E	E	FORMALDEHIDO	E	E	SULFATO DE MAGNESIO	E	E
ACIDO CRESILICO AL 50%	E	E	BROMO-AGUA	E	E	FOSFATO AMONIO (NEUTRO)	E	E	SULFATO DE NIQUEL	E	E
ACIDO CROMICO AL 10%	E	E	BROMO LIQUIDO	NR	NR	FOSFATO TRISODICO	E	E	SULFATO DE POTASIO	E	E
ACIDO CROMICO AL 50%	NR	NR	BROMURO DE ETILENO	NR	NR	FOSFORO AMARILLO	E	B	SULFATO DE SODIO	E	E
ACIDO DIGLICOLICO	E	E	BROMURO DE POTASIO	E	E	FREON 11	E	E	SULFATO DE ZINC	E	E
ACIDO ESTEARICO	E	E	BROMURO DE SODIO	E	E	FREON 12	E	E	SULFATO FERRICO	E	E
ACIDO FLUORHIDRICO 48%	E	NR	BUTADIENO	E	E	FRUCTUOSA	E	E	SULFATO FERROSO	E	E
ACIDO FLUORHIDRICO 50%	E	NR	BUTANO	B	B	FURFURAL	NR	NR	SULFATO METILICO	E	NR
ACIDO FLUORHIDRICO 70%	NR	NR	BUTANOL (SECUND.)	E	NR	GAS DE COQUE	NR	NR	SULFATO DE SODIO	E	E
ACIDO FLUORBORICO	E	E	BUTANOL (PRIMARIO)	E	E	GASOLINA REFINADA	E	E	SULFURO DE AMONIO	E	E
ACIDO FLUORSILICICO 25%	E	E	CARBONATOS	E	E	GLICERINA	E	E	SULFURO DE BARIO	E	E
ACIDO FORMICO	E	NR	CELO SOLVE	E	NR	GLUCOSA	E	E	SULFURO DE HIDROG. HUM.	E	E
ACIDO FOSFORICO AL 85%	E	E	CERVEZA	E	E	GLYCOL	E	E	SULFURO DE HIDROG. SECO	E	E
ACIDO GALICO	E	E	CIANUROS	E	E	HEPTANO	E	E	SULFURO DE SODIO	E	E
ACIDO HIDROCIANICO	E	E	CICLOHEXANOL	NR	NR	HEXANO	E	B	TIOSULFATO DE SODIO	E	E
ACIDO HIDROCLOROSO	E	E	CLORATO DE CALCIO	E	E	HEXANOL TERCARIO	E	E	TETRACL. DE CARBONO	E	NR
ACIDO HIDROFLUORSILICICO	E	E	CLORATO DE POTASIO	E	E	HIDROCLORITO DE COBRE	E	E	TETRACL. DE TITANIO	NR	NR
ACIDO LACTICO AL 28%	E	E	CLORATO DE SODIO	E	E	HIDROCLORITO DE SODIO	E	U	TIOCIANATO DE AMONIO	E	E
ACIDO MALEICO	E	E	CLORH. DE ANILINA	NR	NR	HIDROCLORURO ANILINA	NR	NR	TOLUENO	NR	NR
ACIDO MALICO	E	E	CLOROBENCENO	NR	NR	HIDROGENO	E	E	TREMENTINA	E	E
ACIDO MURIATICO	E	E	CLOROFORMO	NR	NR	HIDROQUINONA	E	E	TRICLORURO DE ANTIMONIO	E	E
ACIDO NITRICO AL 60%	E	E	CLORO GAS HUMEDO	NR	NR	HIDROXIDOS	E	E	TRICLORURO DE FOSFORO	NR	NR
ACIDO OLEICO	E	E	CLORO GAS SECO	NR	NR	JABONES	E	E	TRITANOLAMINA	E	NR
ACIDO OXALICO	E	E	CLORO LIQ. BAJO PRESION	NR	NR	KEROSENO	E	E	TRIMETIL PROPANO	E	E
ACIDO PALMITICO 10%	E	E	CLORO LIQUIDO - (SECO)	NR	NR	LECHE	E	E	TRIOXIDO DE AZUFRE	E	E
ACIDO PALMITICO 70%	E	NR	CLORURO DE ALIJO	NR	NR	LICOR BLANCO	E	E	UREA	E	E
ACIDO PERCLORICO 10%	E	E	CLORURO DE ALUMINIO	E	E	LICOR DE SULFITO	E	E	VINAGRE	E	E
ACIDO PERCLORICO 70%	E	NR	CLORURO DE AMILO	NR	NR	LICOR NEGRO	E	E	VINOS	E	E
ACIDO PICRICO	NR	NR	CLORURO DE AMONIO	E	E	LICOR VERDE	E	E	WHISKEY	E	E
ACIDO SELENICO	E	E	CLORURO DE BARIO	E	E	LICORES	E	E	YODO	E	E
ACIDO SILICICO	E	E	CLORURO DE COBRE	E	E	LICORES AZUCAR REMOL.	E	E	XILENO O XILOL	E	E
ACIDO SULFURICO AL 80%	E	E	CLORURO DE COBRE	E	E	LICORES CAÑA DE AZUCAR	E	E			
ACIDO SULFURICO AL 90%	E	NR	CLORURO DE ETILO	NR	NR	LICORES CURTIEMPRE	E	E			
ACIDO SULFURICO AL 95%	E	NR	CLORURO DE MAGNESIO	E	E	MANTECA DE CERDO	E	E			
ACIDO TANICO	E	E	CLORURO DE MERCURIO	E	E	MELASAS	E	E			
ACIDO TARTARICO	E	E	CLORURO DE METILENO	NR	NR	MERCURIO	E	E			
ACIDOS GRASOS	E	E	CLORURO DE POTASIO	E	E	METAFOSFATO DE AMONIO	E	E			
ACIDOS MIXTOS	E	E	CLORURO DE SODIO	E	E	METIL ETIL CETONA	NR	NR			
ACRILATO DE ETILO	NR	NR	CLORURO DE ZINC	E	E	MONOXIDO DE CARBONO	E	E			
AGUA DE CLORO	E	E	CLORURO ESTANNICO	E	E	NAFTA	E	E			
AGUA DE MAR	E	E	CLORURO ESTANNOSO	E	E	NAFTALENO	NR	NR			
AGUA DESMINERALIZADA	E	E	CLORURO FERRICO	E	E	NICOTINA	E	E			
AGUA DESTILADA	E	E	CLORURO FERROSO	E	E	NITRATOS	E	E			
AGUA REGIA	R	R	CLORURO METILICO	NR	NR	NITROBENCENO	NR	NR			
			CRESOL	E	NR	OLEUM (AC. SULF. FUMANTE)	NR	NR			

E EXCELENTE
B BUENO
R REGULAR
NR NO RECOMENDABLE
U INF. INCOMPLETA



Aplicaciones

Sistema Integral de PVC con tubería de doble pared, para las siguientes aplicaciones:

Conduccion Sanitaria

- * Redes de atarjeas
- * Sub colectores
- * Colectores

Conducción Pluvial

- * Subcolectores
- * Colectores
- * Emisores

Conducciones uso agrícola (baja presión)

- * Entubado de canales

Alcantarillas (pasos carreteros)

